

18 Telaio

Fanno parte del telaio di un autoveicolo:

- sterzo;
- sospensioni;
- molleggio;
- ruote e pneumatici;
- freni.

Questi componenti sono responsabili della dinamica, del comfort e della sicurezza di guida.

18.1 Dinamica di guida

Per dinamica di guida s'intende l'effetto delle forze agenti sul veicolo durante la marcia e dei movimenti del veicolo da esse determinati.

Si distinguono le seguenti forze:

- lungo l'asse longitudinale: forza motrice, forza frenante e forza d'attrito;
- lungo l'asse trasversale: forza centrifuga, forza del vento, forza laterale in curva;
- lungo l'asse verticale: carico sulla ruota, forze derivate da urti e irregolarità del fondo stradale.

Si distinguono i movimenti di seguito elencati:

Movimenti intorno all'asse verticale (fig. 1)

La rotazione del veicolo attorno al proprio asse verticale è detta imbardata. La velocità di imbardata nei veicoli con ESP è misurata con appositi sensori giroscopici.

Movimenti intorno all'asse trasversale (fig. 1)

Questo movimento è conosciuto come beccheggio.

Movimenti intorno all'asse longitudinale (fig. 1)

Il movimento di inclinazione intorno all'asse longitudinale è detto rollio.

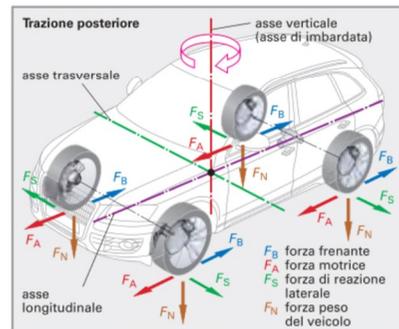


Figura 1: Dinamica di guida del veicolo

Comportamento di guida

Il comportamento di guida è influenzato da:

- posizione del baricentro, dell'asse di marcia, dell'asse di rollio, del centro di rollio;
- tipo di trazione e disposizione del gruppo motore;
- tipo di sospensioni e angoli caratteristici delle ruote;
- molleggio e ammortizzatori;
- sistemi di regolazione, quali per esempio, ABS, ASR, EBD, BAS, ESP, ABC, AAS, Drive Select.

Asse di simmetria. Passa in senso longitudinale attraverso i centri (mezzeria) dell'asse anteriore e dell'asse posteriore (fig. 2).

Asse di spinta o asse di simmetria geometrico. È formato dalla posizione delle ruote posteriori e rappresenta la bisettrice dell'interasse del treno posteriore (fig. 2). Influenza la traiettoria rettilinea del veicolo durante la marcia.

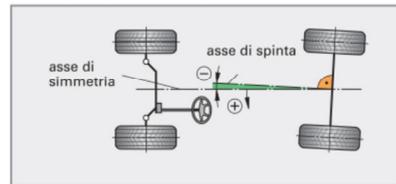


Figura 2: Asse di simmetria, asse di spinta

Deviazione dell'asse (disassamento)

Per deviazione dell'asse (disassamento) s'intende lo spostamento in avanti o indietro delle ruote dello stesso asse.

È l'angolo fra l'asse anteriore (o posteriore) e l'asse longitudinale del veicolo. Se gli assi sono perpendicolari all'asse longitudinale, allora il disassamento è nullo (fig. 3). Si definisce positivo quando la ruota destra è più avanti rispetto alla sinistra.

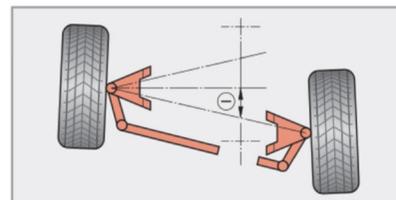


Figura 3: Deviazione asse negativo

Centro di rollio

È dato dal punto (W) posto su una perpendicolare situata sul centro di un asse, attorno al quale la struttura del veicolo si inclina sotto l'influsso di forze laterali.

Asse di rollio

È formato collegando i centri di rollio dell'asse anteriore (W_A) e dell'asse posteriore (W_P). Risulta, in genere, inclinato verso la parte anteriore del veicolo. Più il baricentro S è vicino all'asse di rollio, meno il veicolo si inclina lateralmente in curva (fig. 1).

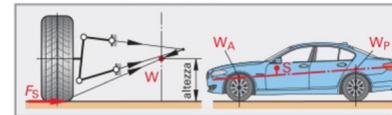


Figura 1: Centro e asse di rollio

Angolo di deriva

L'angolo di deriva α è l'angolo compreso tra la traiettoria impostata dal conducente e la traiettoria di marcia della ruota o del veicolo.

Se su un veicolo in marcia agiscono delle forze perturbatrici laterali (per esempio, forza del vento, forza centrifuga), sulle superfici d'appoggio delle quattro ruote si creeranno delle forze di reazione laterale. Se non interviene nessuna correzione di sterzata, le ruote cambieranno la loro direzione di marcia (fig. 2).

Angolo di imbardata

L'angolo di imbardata è l'angolo formato dalla direzione di marcia del veicolo in corrispondenza del baricentro e l'asse longitudinale del veicolo.

L'angolo di imbardata interessa l'intero veicolo (fig. 2).

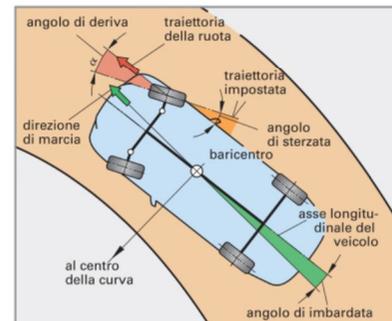


Figura 2: Angolo di deriva α e di imbardata

Tenuta di strada

Per poter valutare la tenuta di strada del veicolo, si eseguono delle manovre di marcia standardizzate come, per esempio, delle curve a raggio costante o degli slalom effettuati a diverse velocità. Fino alla velocità limite di percorrenza di una curva, l'aderenza tra pneumatico e carreggiata è sufficiente a generare le forze laterali necessarie. Se il limite di aderenza dello pneumatico viene superato, si produce uno slittamento trasversale tra il suolo e lo pneumatico. Questo può prodursi sull'asse posteriore, anteriore o su entrambi gli assi. Si distingue tra sottosterzo e sovrasterzo.

• **Sottosterzo.** Se l'angolo di sterzata è maggiore rispetto a quello necessario per percorrere la curva, il veicolo è in sottosterzo e le ruote anteriori vengono spinte verso l'esterno (angolo di deriva delle ruote anteriori maggiore dell'angolo di deriva delle ruote posteriori (fig. 3)).

• **Sovrasterzo.** Se l'angolo di sterzata è minore rispetto a quello necessario per percorrere la curva, il veicolo è in sovrasterzo e la parte posteriore del veicolo derapa (angolo di deriva delle ruote maggiore dell'angolo di deriva delle ruote anteriori, fig. 4).

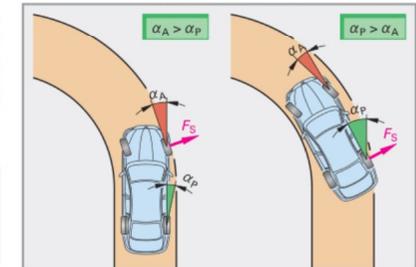


Figura 3: Sottosterzo

Figura 4: Sovrasterzo

• **Comportamento neutro.** Gli angoli di deriva delle ruote anteriori e posteriori sono uguali. Il veicolo deriva uniformemente su tutte le ruote.

In genere, si mira ad avere un comportamento su strada neutro o in leggero sottosterzo. Nei veicoli sportivi si ha, invece, una tendenza al sovrasterzo.

DOMANDE DI RIPASSO

- 1 Come si chiamano i movimenti del veicolo attorno ai tre assi?
- 2 Qual è l'effetto dell'angolo di deriva sul comportamento di guida?
- 3 Spiegate i seguenti concetti: sottosterzo, sovrasterzo, comportamento neutro.

18.2 Fondamenti dello sterzo

I componenti principali dello sterzo di un autoveicolo (fig. 1) sono:

- volante;
- piantone sterzo a regolazione meccanica;
- colonna sterzo;
- scatola sterzo;
- tirante trasversale;
- nocciola.

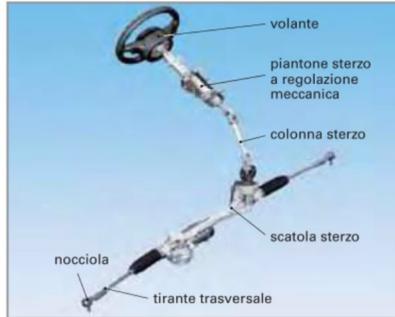


Figura 1: Parti principali dello sterzo

Lo sterzo consente di orientare le ruote anteriori con angoli di sterzata differenti. Esso incrementa altresì la coppia (di forze) generata fisicamente sul volante dal conducente.

Tipologie. Si distinguono le seguenti tipologie:

- sterzo a ralla;
- sterzo con fuso a snodo.

18.2.1 Sterzo a ralla

In questo caso, la sterzata avviene attraverso la rotazione di un asse rigido, in genere l'asse anteriore. Il collegamento mobile tra asse e veicolo è realizzato mediante un perno o un carrello (chiamato anche ralla). Nei veicoli a rimorchio, la forza di sterzata viene trasmessa dal timone.

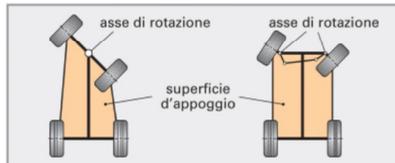


Figura 2: Sterzo a ralla e con fuso a snodo

Caratteristiche. Nello sterzo a ralla (fig. 2), la tendenza al ribaltamento del rimorchio in caso di sterzata estrema e l'instabilità che ne consegue sono maggiori. Il raggio di curvatura è ridotto per effetto del maggiore angolo di sterzata. Ne risulta una buona capacità di manovra.

18.2.2 Sterzo con fuso a snodo

Rispetto allo sterzo a ralla, nello sterzo con fuso a snodo ogni ruota può ruotare attorno a un proprio asse. Quest'ultimo è formato dal collegamento tra il punto di articolazione superiore e inferiore della sospensione o dalla giunzione longitudinale dei fuselli. Viene utilizzato su tutti gli autoveicoli a doppia traccia. Sterzando le ruote attorno all'asse di rotazione, la superficie d'appoggio rimane pressoché uguale.

Rotolamento delle ruote in curva. Se si vuole che entrambe le ruote rotolino in curva senza strisciare lateralmente, ogni ruota deve sterzare secondo il proprio raggio di curvatura.

Visto che nei veicoli a doppia traccia le ruote esterne alla curva percorrono un raggio maggiore rispetto a quelle interne (angolo di sterzata), esse devono girare maggiormente.

Principio di Ackermann. Le ruote devono sterzare in maniera tale che il prolungamento degli assi del perno fuso della ruota interna ed esterna alla curva si incontrino sul prolungamento della mezzeria dell'asse posteriore. Le traiettorie circolari percorse dalle ruote anteriori e posteriori hanno, in tal caso, un centro comune (fig. 3).

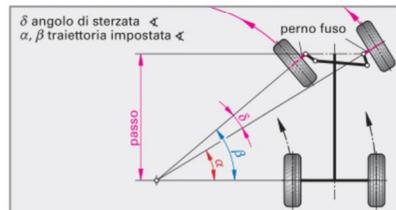


Figura 3: Sterzo con fuso a snodo, angolo di sterzata

Trapezio di direzione

Il trapezio di direzione rende possibile diversi angoli di sterzata delle ruote anteriori.

Quando le ruote anteriori sono in posizione rettilinea, il trapezio è formato dal tirante trasversale, dalle due leve di accoppiamento e dall'asse di collegamento tra i due centri di rotazione (fig. 4).

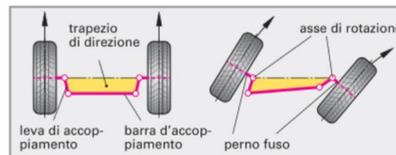


Figura 4: Trapezio di direzione

18.3 Scatola dello sterzo

Compiti

- Trasformare il moto rotatorio del volante in un angolo di sterzata delle ruote.
- Sterzare in modo preciso il veicolo in ogni condizione di guida.

Il rapporto di trasmissione all'interno della scatola dello sterzo deve essere configurato in maniera tale che la forza massima impressa sul volante, in assenza di servosterzo, non superi i 150 N nei veicoli di classe M1 (vetture con 4 ruote). Per la classe N1 (veicoli industriali con 4 ruote adibiti al trasporto merci, peso lordo consentito 3,5 t) tale forza non deve superare i 200 N.

Il rapporto di trasmissione è pari a $\max i = 19$ nelle autovetture e a $i = 36$ nei veicoli industriali.

Attualmente, per le automobili si utilizzano quasi esclusivamente scatole a pignone e cremagliera (fig. 1), mentre nei veicoli industriali si impiegano per lo più scatole sterzo a circolazione di sfere.

Scatola sterzo a cremagliera (meccanico)

Struttura. Un pignone con dentatura elicoidale, alloggiato all'interno della scatola guida, ingrana su un'asta cremagliera. Quest'ultima è posizionata all'interno di apposite guide e, grazie all'ausilio di un pattino spinto da una molla Belleville, si mantiene costantemente a contatto con il pignone, con un certo precarico.

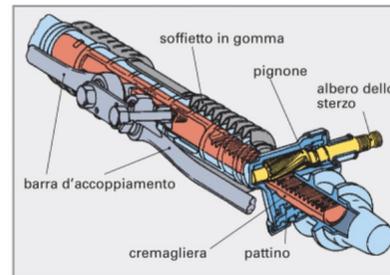


Figura 1: Struttura di uno sterzo a cremagliera (meccanico)

Funzionamento. L'accoppiamento pignone e cremagliera converte il moto rotatorio del volante in un movimento assiale delle barre trasversali.

Tipologie. Le scatole sterzo meccaniche utilizzate possono essere a rapporto costante o variabile (fig. 2). In caso di rapporto costante, il passo dei denti è identico lungo tutta la cremagliera. Il rapporto variabile, invece, è configurato in modo tale da avere una sterzata più diretta nella parte centrale (angolo di sterzata ridotto).

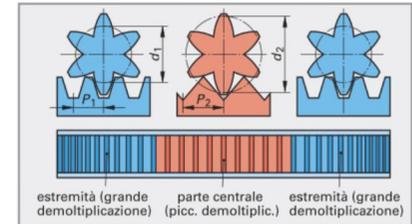


Figura 2: Rapporto variabile

18.4 Servosterzo

Il servosterzo incrementa la forza di sterzata esercitata dal conducente.

Si distinguono i seguenti sistemi:

- servosterzo idraulico, a cremagliera o a circolazione di sfere;
- servosterzo elettroidraulico, Servotronic;
- servosterzo elettrico, Servoelectric, sterzi attivi.

18.4.1 Servosterzo idraulico a cremagliera

Struttura (fig. 3). È costituito da:

- scatola sterzo a cremagliera (meccanica);
- barra di torsione con valvola a cassetto rotante;
- pompa, serbatoio e tubi dell'olio.

Funzionamento. Sterzando il volante, la forza applicata manualmente è trasmessa mediante la barra di torsione al pignone conduttore. La barra di torsione subisce una deformazione elastica che fa ruotare il cassetto rotante rispetto alla bussola di comando che lo contiene. La pressione dell'olio idraulico agisce sul lato destro o sinistro del pistone di lavoro, generando la forza idraulica che permette di ridurre lo sforzo di azionamento sul volante. Essa si somma alla forza muscolare esercitata dal conducente e trasmessa meccanicamente dal pignone alla cremagliera.

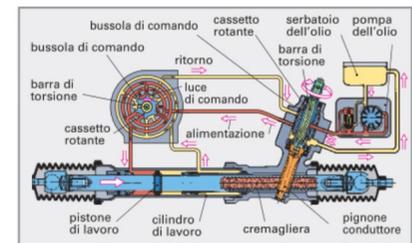


Figura 3: Servosterzo idraulico a cremagliera, sterzata a destra

18.4.2 Servosterzo elettroidraulico (Servotronic)

Il Servotronic è un servosterzo idraulico a cremagliera a comando elettronico, in cui le forze di assistenza alla sterzata sono influenzate esclusivamente dalla velocità di marcia.

Struttura (fig. 1). È costituito da:

- servosterzo idraulico a cremagliera meccanica;
- centralina (ECU) e tachimetro elettronico;
- convertitore elettroidraulico con barra di torsione e valvola a cassetto rotante;
- tubi, pompa e serbatoio dell'olio.

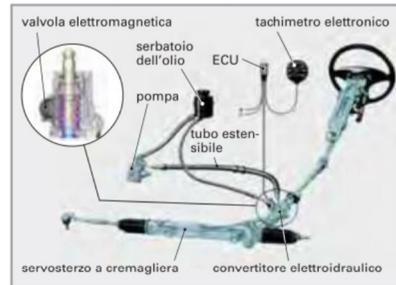


Figura 1: Servotronic

Funzionamento. Il funzionamento idraulico di base del Servotronic è sostanzialmente identico a quello del servosterzo idraulico a cremagliera. Il segnale della velocità trasmesso dal tachimetro elettronico viene analizzato nella centralina (ECU) e convertito in un segnale elettrico, che attiva il convertitore elettroidraulico.

Centralina (ECU) e tachimetro elettronico. La centralina riceve dal tachimetro elettronico il segnale relativo alla velocità del veicolo. In base a essa si regolano il momento di attivazione del volante e la pressione nel sistema sterzante, attivando il convertitore elettroidraulico (fig. 2).

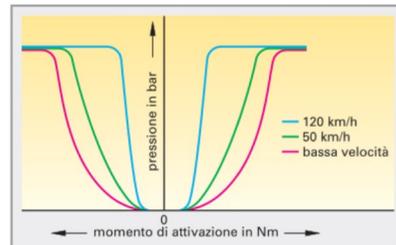


Figura 2: Momento di attivazione e andamento della pressione

Convertitore elettroidraulico. Alle alte velocità, la servoassistenza deve essere ridotta, per garantire maggior precisione di guida. Alle basse velocità, invece, si offre un'assistenza elevata, in modo da consentire ampie sterzate a fronte di un ridotto dispendio di energie da parte del conducente.

Principio di funzionamento della servoassistenza (fig. 3). All'interno della valvola a cassetto rotante, il pistone di retroazione è solidale alla barra di torsione per cui, in fase di sterzata, ruota insieme alla barra di torsione. Gli spigoli pilota si aprono e l'olio entra nella rispettiva camera di lavoro. La pressione dell'olio è controllata da un'elettrovalvola in funzione del potenziamento desiderato. Per indurre lo spostamento della cremagliera, nella camera di lavoro opposta si apre la sezione di scarico, consentendo al liquido idraulico di defluire nel serbatoio dell'olio. Sul pistone della cremagliera agiscono forze differenti.

Principio di funzionamento del ritorno (fig. 3). Nel momento in cui il volante è riportato in posizione dritta, sul pistone della cremagliera non agiscono più forze differenti, per cui il movimento di ritorno delle ruote non è più assistito. Per facilitare il riallineamento delle ruote, sul pistone di retroazione agisce la pressione dell'olio che, comandata dall'elettrovalvola, provoca una torsione della parte inferiore del pistone tramite una sfera e piste di scorrimento oblique.

Principio di funzionamento in caso di traiettoria rettilinea (fig. 3). La sfera e le piste di scorrimento oblique prevengono il movimento relativo tra il pistone di retroazione e la parte inferiore del pistone in fase di compressione.

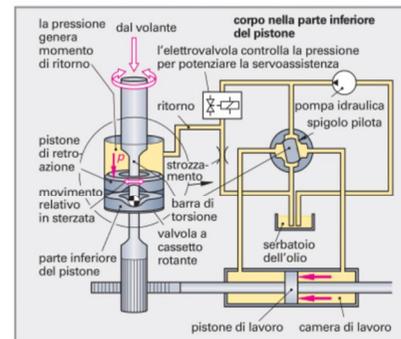


Figura 3: Principio di funzionamento del ritorno e della servoassistenza

Pompa dell'olio. Può essere configurata come pompa rotativa a palette e genera una pressione idraulica massima di 125 bar. La portata è pari a 11-15 cm³ al giro.

Serbatoio dell'olio. Serve a contenere l'olio idraulico che, in questo modo, può essere controllato ed eventualmente corretto di livello.

Tubo flessibile. Serve a minimizzare oscillazioni e picchi di pressione ed eventuali rumori della pompa.

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Controllo visivo

- Livello del liquido nel serbatoio dell'olio.
- Perdite da servopompa, scatola sterzo e tubazioni di raccordo.
- Controllo stato cinghia trapezoidale.
- Controllo tensionamento cinghia trapezoidale.

Per poter valutare l'impianto, si controlla la pressione massima della servopompa mediante un Servotester (fig. 1).



Figura 1: Servotester

Procedura di verifica della pressione della servopompa

Avviare il motore e farlo girare al minimo.

Se necessario, riempire il serbatoio dell'olio ed effettuare lo spurgo dell'impianto, sterzando più volte da destra a sinistra fino alla battuta.

Chiudere la valvola sul Servotester per max. 4 s e leggere il valore della pressione.

Confrontare il valore effettivo con quello nominale.

NOTA: nonostante la servopompa possa avere una pressione nella norma, ciò non significa automaticamente che la portata sotto carico sia sufficiente. Per una valutazione più accurata, occorre effettuare una misurazione della portata.

Procedura per la misurazione della portata

A motore avviato (1.000 giri/min), serrare il rubinetto di chiusura del Servotester finché non si raggiungerà il valore prestabilito dal costruttore per la pressione di prova.

Leggere il valore della portata.

Operazioni di verifica della portata (misurazione costante)

La portata e la pressione di circolazione vengono rilevate nell'intero regime di giri.

Prova di tenuta del pistone di lavoro

- Misurare la perdita d'olio a motore acceso.
- Girare al massimo il volante e tenerlo in posizione per al massimo 3 s.

18.4.3 Servosterzo elettrico (Servoelectric)

Nel sistema Servoelectric (EPS, Electronic Power Steering) la servoassistenza è garantita da un motore elettrico a comando elettronico che si attiva al bisogno. Il motore elettrico, inoltre, può essere utilizzato per compiere sterzate autonome.

Il sistema è montato, in alternativa, sul piantone dello sterzo (utilitarie, classe media), su un secondo pignone sulla tiranteria dello sterzo (classe media) oppure parallelamente all'asse (classe superiore, vetture fuoristrada) (fig. 2).



Figura 2: Servosterzi elettrici (Servoelectric)

Struttura. Il sistema servosterzo su un secondo pignone (fig. 3) è costituito da:

- piantone dello sterzo;
- sensore di coppia;
- centralina;
- motore elettrico con sensore del regime di rotazione del rotore e ingranaggio a vite senza fine;
- scatola sterzo a cremagliera (meccanica).

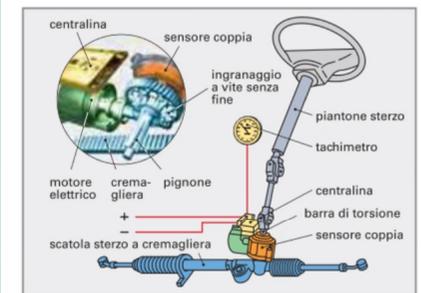


Figura 3: Sistema servosterzo su un secondo pignone

Piantone dello sterzo. Il volante e il piantone dello sterzo servono a trasmettere meccanicamente il movimento di sterzata al pignone della scatola sterzo.

Sensore coppia e posizione sterzo. In base alla deformazione elastica della barra di torsione, calcola la coppia applicata dal conducente sul volante e la posizione dello sterzo.

Sensore indice (integrato facoltativamente nel sensore di coppia). A ogni rotazione completa del volante trasmette un segnale alla centralina. Quest'ultima è così in grado di calcolare l'angolo di sterzata con una risoluzione $< 0,05^\circ$, per esempio, per le funzioni di assistenza al parcheggio e l'intervento dell'ESP.

Centralina. Calcola la servocoppia necessaria e comanda il motore elettrico. È collegata al sistema di gestione del veicolo tramite CAN-bus o FlexRay.

Motore elettrico con sensore del numero di giri del rotore. Interviene fornendo assistenza alla sterzata in modo mirato ed è configurato prevalentemente come motore asincrono. Il numero di giri è comunicato alla centralina tramite l'apposito sensore.

Ingranaggio a vite senza fine. Amplifica la coppia del motore elettrico.

Funzionamento (fig. 1). La coppia di sterzata esercitata dal conducente è rilevata da una barra di torsione munita di sensore di coppia e della velocità di rotazione. La velocità del veicolo è comunicata alla centralina dell'ABS/ESP a quella del sistema di sterzata. I due segnali (la tensione della rete di bordo e la tensione di accensione) sono trasmessi alla centralina del sistema di sterzata, che, in base ai diagrammi caratteristici memorizzati, calcola la servocoppia necessaria e la relativa direzione. Il motore elettrico, collegato al pignone conduttore della cremagliera tramite un ingranaggio a vite senza fine, interviene e assiste la sterzata.

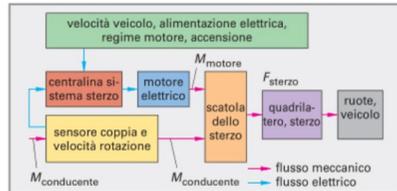


Figura 1: Schema a blocchi Servoelectric

Caratteristiche del sistema

- Ecologico, non utilizzando liquido idraulico.
- Ingombro ridotto, grazie all'assenza della pompa e della relativa tubazione.
- Possibilità di interfacciare altri sistemi (ESP, regolazione adattiva dell'assetto).
- Possibilità di integrare funzioni di sicurezza di guida, come assistente di corsia o di cambio corsia.
- Possibilità di integrare l'assistenza al parcheggio.
- Ritorno automatico dello sterzo (ritorno attivo).
- Assorbimento delle asperità del suolo tramite il motore elettrico.

- Consente di ottenere caratteristiche di sterzata variabili.
- Per evitare i duri finecorsa meccanici, il software provvede alla limitazione dell'angolo di sterzata. L'ammortizzazione è attivata circa 5° prima del finecorsa meccanico, riducendo la servocoppia in funzione dell'angolo e della coppia di sterzata.

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Controllo visivo. Controllare che tutti i cavi siano ben fissati e che non vi sia corrosione sui connettori.

Letture della memoria guasti. Qualora la spia del Servoelectric sia accesa (EPS, fig. 2), consultare la memoria guasti mediante un opportuno strumento di diagnosi.



Figura 2: Spia EPS

La memoria guasti registra le anomalie dei seguenti componenti.

Centralina per elettronica plantone sterzo. Il servosterzo viene disattivato, ma è comunque possibile sterzare il veicolo.

Sensore posizione sterzo e coppia di sterzata. Il segnale assente viene impostato su un valore sostitutivo. Il servosterzo rimane completamente attivo. La funzione "ritorno attivo" viene disattivata.

Motore elettrico con sensore del numero di giri del rotore. In caso di guasto del sensore, si utilizza come segnale sostitutivo la velocità di sterzata. Il servosterzo viene inibito progressivamente, evitando la repentina disattivazione dovuta al guasto del sensore. Una volta sostituiti i componenti che si sono guastati, è necessario procedere a una registrazione di base.

Esempio di registrazione di base dello sterzo. Percorrere un breve tratto rettilineo a una velocità massima di 20 km/h, girare il volante verso destra e sinistra di almeno 15° . Riportare il volante in posizione dritta e fermare il veicolo. Selezionare ed eseguire la registrazione di base con il tester, dopodiché verificare la posizione zero del sensore, il cui valore nominale è compreso tra $-1,5^\circ$ e $+1,5^\circ$. Percorrere, infine, un breve tratto rettilineo a una velocità di 15-20 km/h, cosicché il sensore dell'angolo di sterzata acquisisca la registrazione di base. Osservare le indicazioni della casa costruttrice.

18.4.4 Sterzi attivi

Questi sistemi consentono di intervenire sullo sterzo indipendentemente dalle manovre del conducente, per esempio in situazioni di pericolo. Essi aumentano o diminuiscono automaticamente la sterzata a seconda delle condizioni di guida.

Ne esistono di due tipi. Entrambi assistono la sterzata con un sistema elettroidraulico.

Compiti. Gli sterzi attivi svolgono le seguenti funzioni:

- variazione del rapporto di demoltiplicazione dello sterzo;
- stabilizzazione attiva del veicolo con intervento sulla sterzata.

18.4.4.1 Sterzo attivo con rotismo epicicloidale

Struttura (fig. 1). È costituito da:

- servosterzo idraulico a cremagliera (Servotronic);
- rotismo epicicloidale;
- elettromotore con sensore posizione;
- sensore angolo volante;
- sensore angolo pignone;
- centralina.

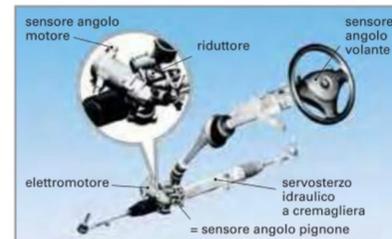


Figura 1: Struttura dello sterzo attivo

Servosterzo idraulico a cremagliera. Come sterzo di base si utilizza il Servotronic. Esso fa sì che alle basse velocità siano necessarie forze di sterzata ridotte, mentre a velocità più sostenute aumenta la forza che dev'essere esercitata sul volante.

Riduttore (fig. 2). È costituito dalla valvola a cassetto rotante, dall'elettromotore con ruota a vite senza fine e dallo sterzo a cremagliera. Tra la valvola e lo sterzo a cremagliera vi è un rotismo epicicloidale.

Rotismo epicicloidale (fig. 2, a destra). È costituito da una corona con superiore dentatura esterna, due portasatelliti e tre satelliti ciascuno. Questi ultimi fungono da collegamento meccanico tra la ruota planetaria superiore e quella inferiore: la ruota superiore è solidale all'alberino della valvola a cas-

setto rotante, quella inferiore al pignone dell'alberino della cremagliera.

Elettromotore con sensore posizione. Il motore elettrico genera il movimento rotatorio. Un sensore angolo motore rileva il senso di rotazione, il numero di giri e la durata del movimento del motore.

Sensore angolo volante. Rileva l'angolazione del volante e ne trasmette il valore alla centralina.

Sensore angolo pignone (sensore angolo di sterzata totale). Dalla somma tra l'angolo del volante e l'angolo del motore si ottiene l'effettiva sterzata delle ruote o l'effettivo angolo di sterzo da trasmettere alla centralina.

Funzionamento. Quando il motore elettrico non è alimentato, la corona è ferma. Girando il volante, la torsione della valvola a cassetto rotante (ruota planetaria superiore) mette in rotazione i satelliti. Questi ultimi, sostenuti dai portasatelliti, trasmettono la forza e la coppia di sterzata alla ruota planetaria inferiore. Così facendo si crea un collegamento meccanico tra ruota planetaria superiore, portasatelliti e ruota planetaria inferiore. La colonna dello sterzo risulta pertanto meccanicamente solidale al pignone dello sterzo.



Figura 2: Riduttore e rotismo epicicloidale

Bassa velocità: sforzo ridotto al volante per un ampio angolo di sterzata

La ruota a vite viene fatta ruotare nel medesimo senso di rotazione del volante. I satelliti iniziano a ruotare attorno alle due ruote planetarie e, in seguito alla differenza del loro numero di denti, generano un lieve movimento rotatorio delle ruote planetarie, che si avvicinano l'una all'altra. Il pignone dello sterzo si allontana ulteriormente, formando un ulteriore angolo (angolo motore) che va ad aggiungersi all'angolo di rotazione impostato al volante.

Alta velocità: sforzo ridotto al volante per un minor angolo di sterzata

Il motore elettrico è alimentato in modo da mettere in moto la ruota a vite nella direzione opposta al senso di rotazione del volante. Al movimento del volante esercitato dal conducente, si contrappone pertanto la forza esercitata dal rotismo epicicloidale. La cremagliera, quindi, si sposta meno rispetto a quanto impostato dal conducente. Gli effetti dell'angolo di sterzata sul senso di rotazione dell'elettromotore, sull'angolo di sterzata delle ruo-

Tabella 1: Effetti dello sterzo attivo su differenti condizioni di marcia

Condizione di marcia	Senso di rotazione servomotore rispetto a movimento di sterzata	Angolo di sterzata in rapporto alla rotazione del volante	Sforzo al volante	Rapporto di sterzata
Bassa velocità (manovra)	stesso senso	maggiore	diminuisce	molto diretto
Velocità in aumento	-	-	-	diretto
Alta velocità	senso contrario	minore	aumenta	indiretto (grande demoltiplicatore)

te, sullo sforzo al volante e sul rapporto di demoltiplicazione dello sterzo sono elencati nella **tab. 1**.

Caratteristiche dello sterzo attivo

- Miglior comfort di guida e di sterzata.
- Incremento della sicurezza, non essendovi il rischio di incrociare le mani al volante.

- Possibilità di stabilizzare la vettura in marcia, per esempio, in caso di repentino cambio di direzione, senza l'intervento dell'ESP.
- In caso di guasto al sistema, il collegamento meccanico garantisce, attraverso l'arresto del motore elettrico, la trasmissione dei movimenti del volante alla scatola dello sterzo.

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Qualora si accenda la spia raffigurata, sul display possono comparire i seguenti messaggi:



Figura 1: Spia EPS

- sterzo attivo disattivato;
- comportamento dello sterzo modificato;
- volante non allineato;
- possibile proseguire la marcia;
- sterzare con cautela.

A quel punto occorre consultare la memoria guasti. Il ciclo di prova dei singoli componenti va svolto come indicato dal software di diagnosi. I componenti difettosi devono essere sostituiti.

Contestualmente o al termine delle seguenti operazioni, è necessario configurare lo sterzo attivo:

- in caso di regolazioni dell'assetto;
- dopo interventi al piantone dello sterzo;
- in caso di sincronizzazione del sensore angolo di sterzata (cfr. a destra);
- dopo la sostituzione o programmazione di:
 - centralina sterzo attivo;
 - modulo di commutazione piantone sterzo;
 - controllo dinamico della stabilità (DSC);
- dopo la sostituzione della scatola sterzo.

Procedura di messa in servizio senza sistema di diagnosi

- Collegare la batteria.
- Avviare il motore. Compare l'avviso Check Control: sterzo attivo disattivato.
- Girare il volante completamente una volta verso sinistra e quindi verso destra. Percorrere un breve tratto a 30-40 km/h.
- Spegner il motore.

Procedura in caso di messa in servizio e regolazione con sistema di diagnosi

- Reglstrazione dell'angolo di sterzo delle ruote su zero (condizione: valore del sensore angolo sterzata e angolo motore plausibile).
- Se necessario, verificare l'allineamento delle ruote su un banco raddrizzatore.
- Resetare l'angolo motore.
- Eseguire la sincronizzazione del sensore angolo di sterzata (facoltativo).
- Cancellare la memoria guasti DSC.
- Sincronizzare l'angolo motore.
- Cancellare la memoria guasti.

In fase di sincronizzazione del sensore angolo di sterzata, nelle centraline sono eseguite le seguenti operazioni:

- il vecchio valore di correzione del sensore angolo di sterzata viene cancellato. Di conseguenza viene registrato il guasto "Sensore angolo di sterzata non sincronizzato";
- viene inserito il nuovo valore di correzione del sensore angolo di sterzata. Sterzando da destra verso sinistra, si effettua la regolazione dell'angolo di sterzata. La memoria guasti viene cancellata;
- i valori di raffronto nel DSC (controllo dinamico della stabilità) e nell'EDC (controllo elettronico degli ammortizzatori) vengono resettati.

18.4.4.2 Sterzo attivo con riduttore armonico (sterzo dinamico)

Lo sterzo dinamico consente di sovrapporre un angolo di sterzata supplementare, rispetto a quello impostato dal conducente. Il comando è di tipo elettromeccanico. In situazioni di pericolo, può intervenire autonomamente per correggere la sterzata.

Struttura (fig. 1). È costituito da:

- servosterzo idraulico a cremagliera;
- rotismo elettromeccanico epicicloideale a sovrapposizione (attuatore con motore elettrico) con blocco meccanico;
- sensore indice, angolo di sterzata e sensore di posizione motore elettrico;
- 2 unità sensori di imbardata e di accelerazione trasversale (unità sensori 1 e 2);
- centralina per sterzo dinamico, ABS, ESP.

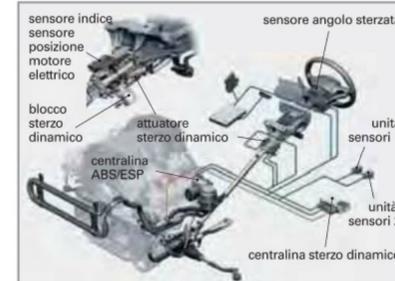


Figura 1: Struttura dello sterzo dinamico

Servosterzo idraulico a cremagliera. Il Servotronic funge da sterzo di base. Esso fa sì che alle basse velocità siano necessarie forze di sterzata ridotte, mentre a velocità più sostenute aumenta la forza che dev'essere esercitata sul volante.

Sterzo attivo con attuatore (fig. 2). L'attuatore è costituito da un riduttore armonico azionato da un motore elettrico. Sull'albero dello sterzo è alloggiato un albero cavo in grado di ruotare all'interno della carcassa dell'attuatore. Il rotore del motore e l'anello interno del cuscinetto sono solidali all'albero cavo. L'anello interno ed esterno del cuscinetto del riduttore armonico sono di tipo eccentrico. Su quello esterno è fissato l'anello flessibile che, essendo elastico, si adatta al profilo ovale del cuscinetto. A causa della sua eccentricità, la dentatura esterna dell'anello flessibile (100 denti) non fa presa con la totalità della sua circonferenza sulla dentatura interna convenzionale ("circolare") della corona (102 denti). Ne conseguono due aree di innesto dei denti simmetriche, posizionate l'una di fronte all'altra (fig. 1, pag. 488).

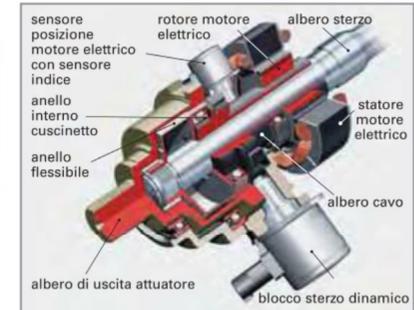


Figura 2: Sterzo attivo con attuatore

Sensore di posizione motore elettrico. Rileva la posizione dell'albero cavo e quindi l'eccentricità del cuscinetto.

Sensore indice. Per inizializzare la sterzata, dopo la segnalazione di un errore, il sensore rileva la posizione centrale della scatola sterzo, emettendo un segnale a ogni rotazione del volante o a ogni rotazione dell'albero di uscita dell'attuatore.

Blocco. Sull'albero cavo azionato dal motore elettrico è fissato un anello, provvisto esternamente di varie scanalature. In caso di blocco del rotismo, in queste scanalature si innesta una punteria, attivata da un elettromagnete. Il blocco è attivo a motore spento e in caso di guasto del sistema di sterzo.

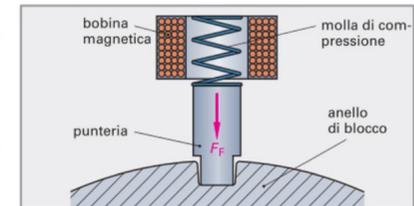


Figura 3: Blocco per sterzo dinamico

Principio di sovrapposizione degli angoli di sterzata (fig. 2 e fig. 1, pag. 488)

Il motore elettrico si attiva e mette in moto l'albero cavo. L'anello interno del cuscinetto volvente ruota. Per effetto di tale rotazione, la forma ovale del corpo volvente si trasferisce all'anello flessibile. Poiché il numero di denti di quest'ultimo differisce da quello della corona, in fase di presa un dente dell'anello flessibile non si innesta esattamente in una delle cavità della corona. Il dente dell'anello flessibile, poggiando obliquamente sul fianco del dente della corona, esercita una forza su di esso che induce la corona a compiere un'ulteriore mi-

nima rotazione. Ne consegue un costante avanzamento della corona e del pignone di sterzo solidale a essa. L'angolo di sterzata delle ruote varia.

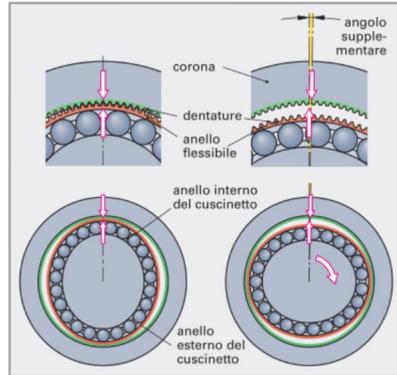


Figura 1: Funzionamento dello sterzo dinamico

Il motore elettrico interviene in funzione della velocità del veicolo e dell'angolo di sterzata. La corona ruota nella medesima direzione del volante, generando una sovrapposizione di angoli. L'angolo di sterzata totale delle ruote è dato dalla somma tra questo angolo supplementare e l'angolo di sterzo impostato dal conducente al volante.

Basse velocità: ampio angolo di sterzata delle ruote a fronte di una ridotta rotazione del volante

L'angolo supplementare si somma all'angolo di sterzata per effetto della rotazione del motore elettrico nella medesima direzione del volante.

Alte velocità: ridotto angolo di sterzata delle ruote a fronte di un'ampia rotazione del volante

La sovrapposizione di angoli si genera in seguito al movimento contrapposto del motore elettrico rispetto alla rotazione del volante. Lo sterzo è indiretto (fig. 2).

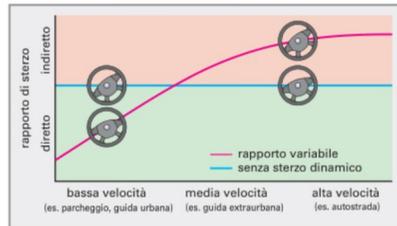


Figura 2: Rapporti di sterzo

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Una spia posta sul cruscotto del veicolo indica il corretto funzionamento o il guasto dell'impianto. Al centro del display possono comparire ulteriori segnalazioni sotto forma di testo. All'avvio del motore, la spia si spegne e lo sterzo dinamico si attiva mediante rimozione del blocco. In caso di mancato avvio del rotismo epicicloidale elettromeccanico a sovrapposizione, il veicolo può essere sterzato mediante un collegamento meccanico rigido, senza sovrapposizione dell'angolo di sterzo. All'accensione del motore, è necessario effettuare un'inizializzazione.

Inizializzazione

L'angolo di sterzata delle ruote anteriori è differente rispetto all'angolo del volante. Il sensore angolo di sterzata comunica alla centralina la posizione in cui si trova il volante, mentre il sensore di posizione del motore elettrico segnala la posizione dell'albero cavo. La centralina calcola la differenza tra la posizione teorica ed effettiva del motore e procede alla correzione necessaria, comandando opportunamente il motore elettrico.

Regolazione di base dello sterzo dinamico

Deve essere effettuata in caso di:

- sostituzione della centralina dello sterzo attivo;
- sostituzione del piantone sterzo, del sensore angolo di sterzata o calibrazione del sensore;
- modifica dei valori di assetto.

Su un banco raddrizzatore occorre effettuare le seguenti operazioni con l'ausilio di un tester di diagnosi:

- calibrazione del sensore angolo di sterzata mediante livella di regolazione del volante;
- registrare sulle ruote anteriori i medesimi valori di semiconvergenza;
- l'angolo di sterzo e la posizione del motore elettrico (sensore di posizione del motore elettrico) vengono rilevati dalla centralina dello sterzo attivo;
- muovendo successivamente il volante intorno alla mezzera si rileva la posizione del sensore indice rispetto ai relativi angoli di sterzata.

Si determina così la differenza tra l'angolo di sterzo, a parità di valori di semiconvergenza, e l'asse di marcia geometrico e l'angolo di sterzo a volante diritto, dopodiché – se necessario – l'angolazione del volante è automaticamente corretta dalla centralina dello sterzo attivo mediante opportuni comandi al motore elettrico. In tal modo si garantisce che, durante la marcia in rettilineo, il volante sia diritto.



18.5 Angoli caratteristici

Negli autoveicoli si distinguono i seguenti angoli caratteristici:

- passo;
- campanatura;
- carreggiata;
- inclinazione del perno fuso;
- convergenza;
- braccio a terra;
- angolo di sterzata;
- incidenza.

18.5.1 Passo

Il passo è la distanza tra i centri delle ruote anteriori e i centri delle ruote posteriori (fig. 1).

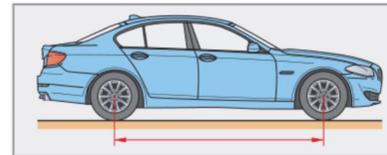


Figura 1: Passo

Una vettura a passo corto è molto più maneggevole di una vettura a passo lungo. Per contro, un passo lungo garantisce una maggior stabilità in rettilineo e nelle curve veloci.

18.5.2 Carreggiata

La carreggiata è la distanza, misurata sul piano d'appoggio, tra le ruote di un asse, dal centro di uno pneumatico al centro dell'altro (fig. 2).

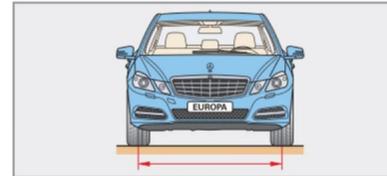


Figura 2: Carreggiata

Una carreggiata più ampia comporta una migliore tenuta di strada in curva.

Superficie di appoggio del veicolo

Si ottiene moltiplicando la carreggiata per il passo. Il rapporto tra queste due grandezze influisce sul comportamento di guida.

18.5.3 Convergenza

La convergenza è la differenza di carreggiata $l_2 - l_1$ tra la parte posteriore e la parte anteriore delle ruote durante la marcia rettilinea.

La convergenza è misurata all'altezza dei centri delle ruote da un bordo del cerchione all'altro e può essere indicata come convergenza totale (per entrambe le ruote) sia in millimetri [mm] sia in gradi [°]. Si distingue tra convergenza, convergenza nulla e divergenza:

- **Convergenza** ($l_2 - l_1 > 0$), ossia le ruote sono chiuse in avanti. La convergenza ϵ è positiva (fig. 3);
- **Convergenza nulla** ($l_2 - l_1 = 0$), ossia le ruote sono parallele le une alle altre. La convergenza ϵ è nulla;
- **Divergenza** ($l_2 - l_1 < 0$), ossia le ruote sono aperte in avanti. La convergenza ϵ è negativa (fig. 4).

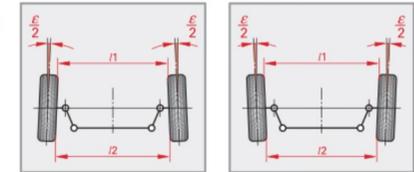


Figura 3: Convergenza

Figura 4: Divergenza

Per ridurre al minimo l'usura degli pneumatici, occorre compensare il gioco tra i componenti dello sterzo e migliorare la stabilità di guida; è necessario, quindi, rispettare i valori di convergenza prestabiliti dalla casa costruttrice.

18.5.4 Angolo di sterzata

L'angolo di sterzata δ è l'angolo per il quale la ruota interna alla curva è più sterzata rispetto alla ruota esterna (fig. 5).

Viene determinato, per esempio, con un angolo di rotazione di 20° della ruota interna alla curva. Per poter verificare con esattezza questo valore, la scatola dello sterzo deve essere in posizione centrale e i valori della convergenza devono essere impostati con precisione. Permette di diagnosticare eventuali difetti causati dalla deformazione del trapezio di direzione (per esempio, piegamento della leva d'accoppiamento dello sterzo o del tirante trasversale).

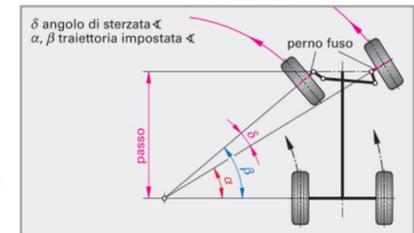


Figura 5: Angolo di sterzata

18.5.5 Campanatura

Per campanatura s'intende l'inclinazione della ruota, perpendicolare al piano stradale, rispetto all'asse verticale.

L'angolo di inclinazione laterale delle ruote γ è indicato in gradi e minuti. Si distingue tra campanatura positiva e campanatura negativa.

Campanatura positiva (fig. 1). Il lato superiore della ruota è inclinato verso l'esterno. La campanatura positiva produce un effetto di "rotolamento". Per questa ragione, la ruota tende a girare verso l'esterno. Maggiore è la campanatura positiva, minori sono le forze di reazione laterale in curva.

Campanatura negativa (fig. 1). Il lato superiore della ruota è inclinato verso l'interno. A causa del "rotolamento", la ruota tende a girare verso l'interno. La campanatura negativa migliora la reazione laterale in curva, ma comporta una maggiore usura degli pneumatici sul lato interno del battistrada. Per non ridurre la durata e la capacità di carico degli pneumatici, essa non deve superare i 2°.

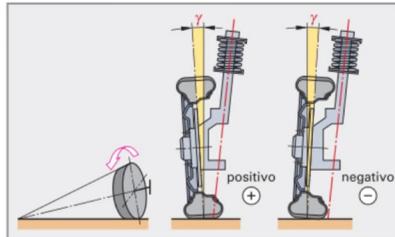


Figura 1: Campanatura positiva e negativa

18.5.6 Inclinazione del perno fuso

L'angolo del perno fuso è l'inclinazione dell'asse di rotazione, ossia del perno fuso del veicolo, rispetto all'asse verticale e perpendicolare al piano stradale (fig. 2).

L'asse di rotazione passa attraverso il perno di rotazione superiore e inferiore della sospensione della ruota.

L'angolo di inclinazione del perno fuso (δ) è indicato in gradi e minuti. Comunemente si hanno angoli di inclinazione da 5° a 10° (fig. 2).

La campanatura e l'inclinazione del perno fuso formano insieme un angolo, che rimane costante nelle fasi di distensione e compressione. Quando

l'angolo di inclinazione del perno fuso diminuisce, l'angolo di campanatura aumenta e viceversa.

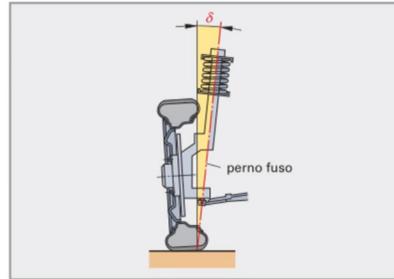


Figura 2: Angolo di inclinazione del perno fuso

L'inclinazione del perno fuso fa sì che, con braccio a terra positivo, il veicolo si sollevi anteriormente durante la sterzata delle ruote (fig. 3). La forza peso del veicolo produce un momento di ritorno che influisce sul riposizionamento automatico delle ruote dopo la sterzata.

18.5.7 Braccio a terra

La distanza tra il prolungamento al suolo dell'asse di rotazione e il centro della superficie di contatto dello pneumatico viene chiamata braccio a terra R_0 (fig. 3).

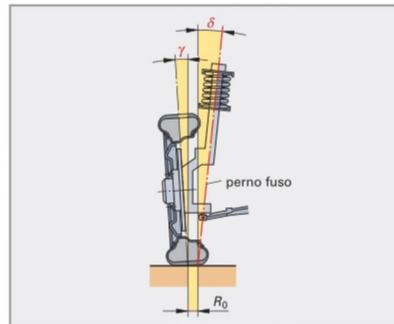


Figura 3: Braccio a terra positivo

La campanatura e l'inclinazione del perno fuso influiscono sul braccio a terra. Si distingue tra:

- braccio a terra positivo;
- braccio a terra nullo;
- braccio a terra negativo.

Braccio a terra positivo

Il punto di contatto al suolo del prolungamento dell'asse di rotazione non si trova sull'asse di mezzeria dello pneumatico, ma cade all'interno di quest'ultimo (fig. 1).

Effetto al variare della forza frenante sull'avantreno. Se le ruote hanno una differenza di aderenza, la ruota con maggiore aderenza gira verso l'esterno, facendo deviare il veicolo. In direzione della ruota con maggiore aderenza si crea un'imbardata, che si può compensare soltanto con il controsterzo.

Braccio a terra nullo

Il punto di contatto al suolo del prolungamento dell'asse di rotazione si trova sull'asse di mezzeria dello pneumatico (fig. 1). Le eventuali forze che agiscono sulla ruota non causano pertanto alcuna deviazione della stessa.

Braccio a terra negativo

Il punto di contatto al suolo del prolungamento dell'asse di rotazione non si trova sull'asse di mezzeria dello pneumatico, ma cade all'esterno di quest'ultimo (fig. 1).

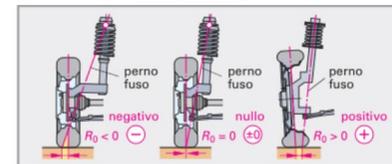


Figura 1: Bracci a terra differenti

Effetto al variare della forza frenante sull'avantreno. Se, durante la frenata, le ruote sono esposte a condizioni di aderenza differenti (condizione di μ -split, cioè una ruota su fondo asciutto, l'altra su fondo bagnato), la ruota che aderisce meglio al suolo gira verso l'interno. Si crea un momento di imbardata in direzione della ruota maggiormente frenata. In seguito al braccio a terra negativo, quest'ultima si contrappone al momento di imbardata e stabilizza il veicolo, riducendo lo sforzo del conducente in fase di controsterzo (fig. 2).

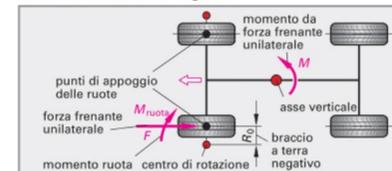


Figura 2: Effetto del braccio a terra negativo

L'obiettivo è avere un braccio a terra ridotto, onde minimizzare l'effetto di forze esterne sull'operazione di sterzata.

18.5.8 Incidenza

L'incidenza (fig. 3) è l'inclinazione dell'asse di rotazione rispetto alla perpendicolare del piano stradale nel senso longitudinale del veicolo.

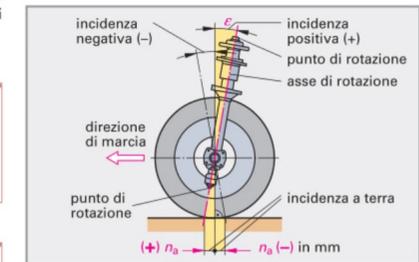


Figura 3: Incidenza

L'incidenza si può indicare come angolo (ϵ) in gradi e minuti, oppure come incidenza a terra (o braccio a terra longitudinale) n_0 in mm.

Incidenza positiva. Il punto d'appoggio della ruota si trova dietro al punto di contatto dell'asse di rotazione sul piano stradale.

Con l'incidenza positiva, le ruote sono tirate. Tale proprietà è usata nella trazione posteriore, in quanto permette di stabilizzare le ruote sterzate. Nel momento in cui si sterzano le ruote, si produce un sollevamento della carrozzeria sul lato interno della curva e un abbassamento su quello esterno, il che consente di riallineare le ruote dopo la curva. Contemporaneamente, si produce una campanatura negativa sulla ruota esterna alla curva.

Incidenza negativa. Il punto d'appoggio della ruota si trova davanti al punto di contatto dell'asse di rotazione sul piano stradale.

L'incidenza negativa riduce le forze antagoniste e impedisce che le ruote si riallineino troppo velocemente dopo aver percorso una curva. Un'incidenza imposta a valori differenti (sinistra/destra) provoca la deviazione del veicolo.

L'incidenza, l'inclinazione del perno fuso e il braccio a terra influenzano le forze antagoniste che permettono di riallineare le ruote dopo la sterzata. Essi hanno, quindi, un effetto stabilizzante sul comportamento di guida.

18.6 Misurazioni dell'assetto

Nella misurazione dell'assetto si rilevano elettronicamente, mediante procedure bi- o tridimensionali, i parametri di registrazione delle ruote di un veicolo. Un PC munito di software di misura rileva i valori effettivi e li confronta con quelli nominali prestabiliti dalla casa costruttrice.

Struttura. Il banco raddrizzatore (fig. 1) è costituito dai seguenti elementi:

- computer su console mobile, con monitor, software di misura, mouse e tastiera;
- quattro graffe per il fissaggio dei rilevatori o 4 tavole di misura in corrispondenza delle ruote;
- 4 rilevatori per il calcolo dei parametri di registrazione delle ruote;
- 2 piatti rotanti per spostare leggermente le ruote anteriori sterzate;
- 2 pattini per spostare leggermente le ruote posteriori;

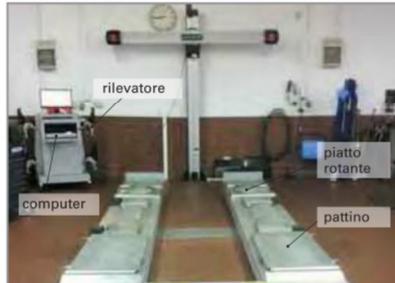


Figura 1: Banco raddrizzatore

- bloccapedale del freno;
- bloccasterzo;
- livella per regolazione volante (fig. 2).



Figura 2: Bloccasterzo, bloccapedale e livella

Parametri. Il computer consente di rilevare i seguenti parametri della scocca:

- **sull'avantreno;** convergenza totale e semiconvergenza, campanatura, deviazione asse, incidenza, inclinazione del perno fuso e angolo raggio di sterzata, sterzata massima;
- **sul retrotreno;** convergenza totale e semiconvergenza, angolo di spinta, campanatura;
- **sul telaio;** deviazione asse posteriore, differenza di passo, spostamento laterale destro e sinistro, differenza di carreggiata, disassamento.

Procedimento di misura. Tutti i parametri vengono rilevati mediante la misurazione degli angoli caratteristici (fig. 3). In assenza di anomalie, tutti gli angoli sono retti. Nella figura sono illustrati due possibili difetti della scocca.

Carreggiata. Viene calcolata dai rilevatori mediante la misura della deviazione angolare (fig. 1 pag. 493).

Valori di campanatura. Vengono misurati dal rilevatore in base alla deviazione angolare rispetto alla perpendicolare e trasmessi al computer per via digitale.

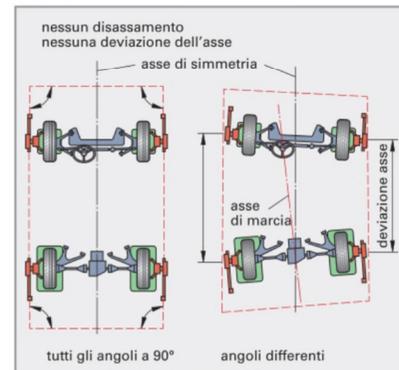


Figura 3: Procedimento di misura, possibili difetti della scocca

La misurazione dell'assetto può essere effettuata soltanto in piano, preferibilmente servendosi di ponti o fosse. Il ponte raddrizzatore consente di controllare e registrare con estrema precisione il telaio e l'assetto di un veicolo. I singoli parametri possono essere determinati con una precisione compresa tra $\pm 5'$ e $\pm 10'$, fermo restando che i dispositivi di misura, come pattini e piatti rotanti, devono essere su un piano orizzontale. Anche le superfici d'appoggio delle ruote sul banco devono essere in piano. In diagonale è consentito un dislivello non superiore a 1-2 mm.

18.6.1 Misurazione bidimensionale dell'assetto

Nella misurazione bidimensionale computerizzata dell'assetto, l'asse di marcia geometrico viene allineato automaticamente dal sistema come riferimento.

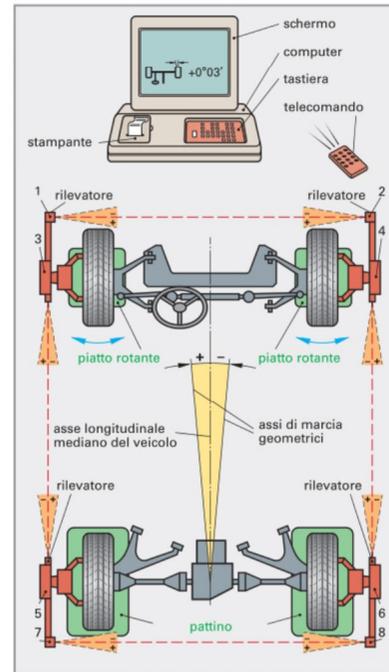


Figura 1: Misurazione computerizzata dell'assetto

1. Preparativi per la misurazione

- Posizionare il veicolo su una superficie orizzontale o sul ponte.
- Controllare usura pneumatici, misura pneumatici e cerchi, pressione delle gomme, cuscinetti ruote, teste a snodo dei tiranti trasversali e i componenti delle sospensioni ruote, onde escludere giochi e danni di alcun genere.
- Caricare il veicolo come prescritto dalla casa costruttrice.
- Sollevare il veicolo e posizionare sotto le ruote anteriori i supporti rotanti, sotto le ruote posteriori i pattini. Far scendere il veicolo e disinserire i dispositivi di blocco di supporti e pattini.



Figura 2: Posizionamento dei rilevatori

- Accendere il computer e stabilire la comunicazione con i rilevatori.
- Inserire i dati del veicolo nel computer.
- Effettuare la compensazione del fuori centro, facendo girare le ruote e mantenendo i rilevatori in piano (fig. 3).
- Compiere lentamente un giro completo delle ruote finché la ruota corrispondente non poggi sul colore verde.
- Applicare il bloccapedale del freno/supporto del pedale.



Figura 3: Compensazione del fuori centro

2. Misurazione in entrata

- Effettuare la misurazione del veicolo con l'ausilio del programma a menu.
- Determinare i valori della convergenza. A tale proposito, il volante dev'essere posizionato diritto e ruotato, in base alle indicazioni del programma, al fine di rilevare i parametri di registrazione (fig. 4).



Figura 4: Determinazione dei valori della convergenza

3. Documentazione e registrazione

- Stampare il protocollo di misura. I valori fuori tolleranza vengono evidenziati in rosso.
- Confrontare i valori nominali con quelli effettivi e apportare le dovute regolazioni.
- Terminate le regolazioni, effettuare una misurazione di controllo.
- Stampare il protocollo con gli esiti della misura per la documentazione.

18.6.2 Misurazione tridimensionale dell'assetto

Il sistema tridimensionale consente di misurare l'assetto più velocemente, più accuratamente e con meno preparativi rispetto a quello bidimensionale.

Struttura (fig. 1). Il sistema è composto dai seguenti elementi:

- computer con monitor e stampante;
- unità LED e video con fotocamera ad alta risoluzione, striscia LED ed elettronica di controllo della fotocamera;
- quattro riflettori con relative graffe per attacco ruota.



Figura 1: Struttura della misurazione 3D dell'assetto

1. Preparativi

- Posizionare il veicolo su una superficie orizzontale o su un ponte con piatti rotanti e pattini.
- Controllare usura pneumatici, misura pneumatici e cerchi, pressione delle gomme, cuscinetti ruote, teste a snodo dei tiranti trasversali e i componenti delle sospensioni ruote onde escludere giochi e danni di alcun genere.
- Fissare le piastre con i riflettori (fig. 2).



Figura 2: Piastra dei riflettori sulla ruota

- Accendere il computer e caricare i dati del veicolo.
- Posizionare la fotocamera in modo tale che tutti i riflettori vengano riconosciuti dal software (visualizzazione nel software).
- Effettuare la compensazione del fuori centro spostando il veicolo avanti e indietro di 35 cm.
- Applicare il freno di stazionamento (bloccapedale) e il cuneo sullo pneumatico.
- Rimuovere i dispositivi di blocco dei piatti rotanti e dei pattini.

2. Misurazione in entrata

- Effettuare la misurazione del veicolo con l'ausilio del programma a menu.
- Determinare la posizione centrale del volante, sterzando completamente le ruote verso destra e verso sinistra.
- Misurare incidenza, inclinazione del perno fuso, angolo della convergenza e angolo di sterzata a destra e a sinistra ruotando il volante di 20°.
- Salvare i valori misurati.
- Visualizzazione di tutti i valori misurati a video (fig. 3).

	Left	Right
Front		
Camber + toe angle
Straight-ahead position
Wheel offset
Toe-difference angle
Toe difference L to R
Vehicle level
Max. steering angle, left
Max. steering angle, right
Rear		
Wheel offset
Vehicle level
Axle offset

Figura 3: Tabella dei valori misurati

3. Documentazione e registrazione

- Stampare il protocollo di misura. I valori fuori tolleranza sono evidenziati in rosso (fig. 1, pag. 495).
- Confrontare i valori nominali con quelli effettivi e apportare le dovute regolazioni.
- Terminare le regolazioni, effettuare una misurazione di controllo.
- Stampare il protocollo con gli esiti della misura e conservare come documentazione.

Tutti i valori rilevati dal computer in fase di misurazione in ingresso possono essere stampati e consegnati al cliente sotto forma di protocollo di misura per la documentazione.

Protocollo di misura. Nella colonna relativa alla misurazione in ingresso, i valori che rientrano nella tolleranza sono riportati in verde, quelli da registrare in rosso, mentre i valori nominali con le relative tolleranze sono indicati in nero.

Item	Initial alignment	Setpoint	Value
Rear axle	Left	0°30'	
	Right	0°15'	0°15'
Camber, max. difference	Left	0°15'	0°15'
	Right	0°15'	0°15'
Single track	Left	0°05'	0°05'
	Right	0°05'	0°05'
Indiv. toe, max. difference	Left	0°20'	
	Right	0°20'	
Total toe	0°10'	0°10'	0°10'
Wheel offset	0°10'	0°10'	0°10'
AS angle	0°13'		
Front axle	Left	0°15'	
	Right	0°10'	0°10'
Caster 20°	Left	+13°20'	
	Right	+12°50'	
Toe angle 20°	Left	0°30'	0°30'
	Right	0°30'	0°30'
Toe-difference angle	Left	0°05'	0°05'
	Right	0°05'	0°05'
Camber	Left	0°25'	0°25'
	Right	0°25'	0°25'
Camber, max. difference	Left	0°25'	0°25'
	Right	0°25'	0°25'
Single track	Left	0°10'	0°10'
	Right	0°10'	0°10'
Indiv. toe, max. difference	Left	0°10'	
	Right	0°10'	
Total toe	0°10'	0°10'	0°10'
Wheel offset	0°14'		

Figura 1: Protocollo di misura del computer di un banco raddrizzatore

Nella tab. 1 sono elencati gli errori a livello di parametri di registrazione delle ruote e i loro possibili effetti sull'assetto.

Parametro di registrazione	Effetti
Convergenza sbagliata (convergenza o divergenza eccessiva)	Maggiore usura interna o esterna degli pneumatici (dentellatura)
Campanatura negativa eccessiva	Usura interna dello pneumatico
Campanatura positiva eccessiva	Usura esterna dello pneumatico
Differenza di campanatura tra le due ruote	Eventuale deviazione del veicolo
Angolo di sterzata sbagliato	Maggiore usura degli pneumatici in curva
Inclinazione eccessiva del perno fuso	Elevate forze di sterzata e di reazione al volante
Inclinazione insufficiente del perno fuso	Cattivo riposizionamento delle ruote dopo la sterzata
Differenza di angolo del perno fuso tra le 2 ruote	Eventuale deviazione del veicolo
Incidenza eccessiva	Elevate forze di sterzata e di reazione al volante
Incidenza insufficiente	Cattivo riposizionamento delle ruote dopo la sterzata, sfarfallamento
Differenza di incidenza tra le 2 ruote	Tendenza del veicolo a deviare da un lato

DOMANDE DI RIPASSO

- 1 Quali sono i compiti dello sterzo?
- 2 Spiegate il rotolamento in curva delle ruote anteriori di uno sterzo con fuso a snodo.
- 3 Com'è formato il trapezio di direzione?
- 4 Qual è il compito del trapezio di direzione?
- 5 Quali sono i compiti della tiranteria dello sterzo?
- 6 Spiegate i concetti di convergenza e campanatura.
- 7 Che cosa s'intende per angolo di sterzata?
- 8 Qual è il percorso dell'asse di rotazione di una ruota?
- 9 Quali sono gli angoli caratteristici delle ruote?
- 10 Che cosa s'intende per campanatura positiva e negativa?
- 11 Spiegate il concetto di inclinazione del perno fuso.
- 12 Qual è l'influenza dell'inclinazione del perno fuso su un veicolo durante la sterzata delle ruote anteriori?
- 13 Spiegate il concetto di braccio a terra.
- 14 Qual è l'effetto del braccio a terra negativo durante la frenata, se la ruota anteriore sinistra e quella destra sono esposte a diverse condizioni di aderenza?
- 15 Come si misura l'angolo di sterzata?
- 16 Spiegate una procedura di misurazione.

18.7 Le sospensioni

Le sospensioni collegano la scocca del veicolo alle ruote. Devono sopportare elevate forze statiche (carico) e dinamiche (forza motrice, forza frenante e forze laterali).

Durante il movimento degli assi, la geometria delle ruote dovrebbe variare di poco o soltanto nel modo desiderato, per ottenere un'elevata sicurezza di guida e un buon comfort, oltre a una ridotta usura degli pneumatici. La sospensione rappresenta il collegamento tra la superficie di contatto dello pneumatico e la carrozzeria del veicolo e trasferisce tutte le forze e i movimenti dal mozzo della ruota alla carrozzeria. A tale proposito, vi sono appositi bracci che guidano la ruota e trasmettono le forze elastiche e smorzanti. Essi sono realizzati in acciaio altoresistenziale, acciaio bonificato o leghe di alluminio.

18.7.1 Tipi di bracci

In funzione delle specificità costruttive, si distinguono:

- bracci a due punti, per esempio ad asta (fig. 1);
 - bracci a tre punti, per esempio a triangolo (fig. 2);
 - bracci a quattro punti, per esempio a trapezio.
- Il numero di punti si riferisce ai punti di fissaggio di cui dispone un braccio.

Braccio ad asta (fig. 1). Viene spesso utilizzato come braccio trasversale. Collega il mozzo della ruota alla carrozzeria o al telaio di supporto per mezzo di un cuscinetto in gomma e metallo.

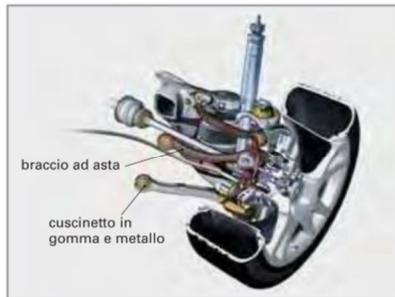


Figura 1: Braccio a due punti (ad asta)

Braccio a tre punti. Per collegare il mozzo della ruota alla carrozzeria, sull'assale anteriore si utilizzano generalmente bracci di forma triangolare muniti di snodi sferici, che consentono la necessaria libertà di movimento per sterzare la ruota.

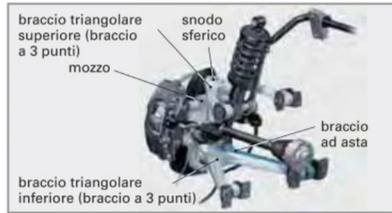


Figura 2: Braccio a tre punti

Dal punto di vista della direzione di montaggio, si distinguono le seguenti tipologie di bracci:

- bracci longitudinali;
- bracci trasversali;
- bracci obliqui;
- sospensioni multilink.

18.7.1.1 Bracci longitudinali

Sono indicati per i veicoli a trazione anteriore, dal momento che consentono di abbassare il piano del vano bagagli tra le ruote posteriori. Il loro asse di rotazione è ortogonale (90°) all'asse longitudinale del veicolo. In fase di compressione e distensione delle sospensioni, non si hanno variazioni di carreggiata e campanatura.

Allo scopo di ridurre i rumori e le oscillazioni della carrozzeria, i bracci non sono fissati direttamente a quest'ultima, bensì a un particolare telaio di supporto (fig. 3). Il telaio di supporto è costituito da 2 bracci, collegati tra loro da una traversa tubolare, e fissato alla carrozzeria tramite 4 silentbloc. I due cuscinetti anteriori svolgono la funzione di cuscinetti idraulici. I due bracci longitudinali sono collegati al telaio di supporto tramite cuscinetti a rulli conici. Il puntone è dotato di un tirante per minimizzare eventuali variazioni di convergenza dovute alle forze laterali che si creano in curva. Il puntone e il tirante formano un quadrilatero.

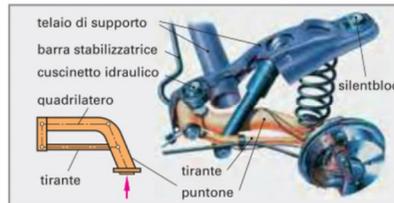


Figura 3: Sospensione delle ruote a bracci longitudinali

18.7.1.2 Bracci obliqui

La sospensione a bracci oscillanti obliqui (fig. 1, pag. 497) è composta da due bracci oscillanti a triangolo, in cui il centro di rotazione è obliquo rispetto all'asse trasversale del veicolo ($\alpha = 10 - 20^\circ$) e orizzontale o leggermente inclinato verso il centro del veicolo (β).

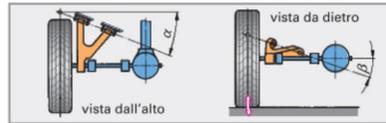


Figura 1: Sospensione delle ruote a bracci oscillanti obliqui
Le variazioni di carreggiata e campanatura delle ruote in fase di compressione e distensione dipendono dall'inclinazione e dalla pendenza dei bracci obliqui. Aumentando gli angoli α e β , le ruote presentano una maggiore campanatura negativa, con conseguente incremento della forza di reazione laterale in curva.

18.7.1.3 Sospensioni multilink

Nel caso delle sospensioni multilink, i bracci ad asta sono disposti liberamente nello spazio e collegano la ruota al telaio di supporto. La sospensione multilink compensa eventuali errori elastici di sterzata (fig. 2). Il punto di intersezione delle mediane dei bracci, infatti, si trova al di fuori del piano mediano della ruota, per cui quest'ultima, sotto l'influsso di forze motrici, sterza verso l'esterno (coppia di sterzata M2) esattamente nella misura in cui l'errore elastico di sterzata produce una sterzata verso l'interno (coppia di sterzata M1).

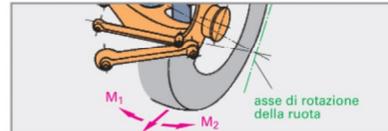


Figura 2: Andamento delle mediane dei bracci (sospensione multilink)

Cinematica della sospensione multilink. Decisive per il comportamento su strada sono soprattutto le variazioni a livello di convergenza e campanatura, dal momento che esse determinano la tenuta di strada del veicolo. Qualora le asperità del piano stradale causassero una modifica dell'angolo di convergenza, si produrrebbe una forza laterale che interferirebbe con la traiettoria rettilinea. Nella fig. 3 si vede che la variazione dell'angolo di convergenza in fase di compressione o distensione delle sospensioni è pressoché pari a zero. Nella parte centrale della curva, le variazioni a livello di campanatura devono essere quanto più ridotte possibile affinché non si generino elevate forze laterali. In curva, lo schiacciamento delle sospensioni determina una campanatura negativa, il che migliora la guida laterale.



Figura 3: Variazione di convergenza e campanatura

18.7.2 Elastocinematica degli assali

L'elastocinematica degli assali è determinata dai cuscinetti. Per garantire un livello di comfort elevato e una buona ammortizzazione si utilizzano cuscinetti in gomma e metallo (silentbloc).

Errore elastico di sterzata (fig. 4). La forza motrice genera un angolo di sterzata. Mentre il braccio oscillante posteriore sottoposto a trazione si allunga a causa della deformazione elastica, il braccio oscillante anteriore subisce una pressione e si accorcia. La ruota viene deviata dalla direzione di marcia, per cui la sua guida diventa imprecisa.

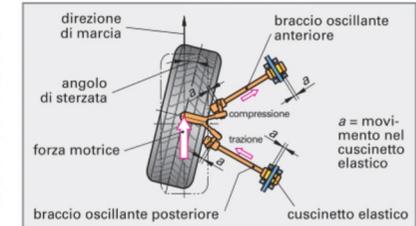


Figura 4: Formazione di un angolo di sterzata

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Per individuare possibili danni a una o più parti della scocca, è consigliabile effettuare una prova su strada, prestando attenzione ai rumori e a un eventuale comportamento instabile durante la guida (fig. 5). Successivamente, occorre effettuare un esame visivo e/o funzionale dei seguenti componenti:

- pneumatici (segni di usura);
- gambe elastiche (perdite d'olio);
- testine sferiche, giunti di supporto (rotti);
- anelli di tenuta (fessurati);
- bracci (silentbloc danneggiati);
- stabilizzatore (cuscinetti porosi, deformati, arrugginiti);
- cuscinetti ruota (gioco, rumori in fase di rotazione).



Figura 5: Cuscinetto poroso della barra stabilizzatrice

In caso di sostituzione di componenti difettosi, per esempio, dei cuscinetti della barra stabilizzatrice, occorre procedere su entrambi i lati dell'asse. Le viti microincapsulate devono essere sostituite.

18.7.3 Tipologie di assali

Si distinguono i seguenti tipi di assali.

Assali rigidi, fig. 1. Entrambe le ruote sono collegate tra di loro tramite un assale rigido

Durante la distensione e la compressione delle molle, l'assale rigido non produce alcuna modifica agli angoli caratteristici, riducendo così l'usura degli pneumatici. Invece, al passaggio di una delle due ruote su di un ostacolo, tutto l'assale si inclina, modificando così la campanatura delle due ruote.

Sospensioni a ruote indipendenti, fig. 3. Le ruote sono collegate a un telaio di supporto o alla carrozzeria per mezzo di bracci oscillanti.

Nelle sospensioni a ruote indipendenti i movimenti di una ruota non si ripercuotono sull'altra. La geometria delle ruote varia in funzione della posizione dei bracci in fase di compressione e distensione delle molle. Le masse non sospese sono ridotte.

Assali semirigidi (fig. 2, pag. 500). In questa configurazione, le ruote sono collegate tra loro in modo rigido, la traversa utilizzata è flessibile alla torsione.

Gli assali semirigidi, in caso di compressione uniforme delle molle, si comportano come gli assali rigidi, mentre in caso di compressione di un'unica ruota si comportano come sospensioni a ruote indipendenti.

18.7.4 Assali anteriori

Assale rigido con ruote sterzanti (fig. 1)

È costituito da un pezzo forgiato bonificato, piegato a culla al fine di lasciare spazio al motore.

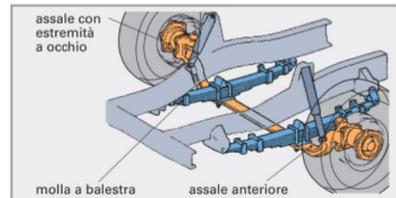


Figura 1: Assale rigido con ruote sterzanti

Per l'alloggiamento del fusello, è previsto un occhio (assale con estremità a occhio), una forcella (assale con estremità a forcella) o una semisfera (assale con estremità semicircolare, fig. 2).

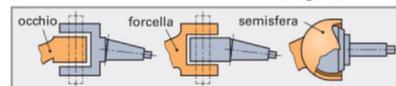


Figura 2: Assale a occhio, a forcella, a semisfera

Sospensioni a ruote indipendenti

Quadrilateri trasversali (fig. 3). Due bracci oscillanti trasversali, posti l'uno sopra l'altro, sono collegati al fusello (supporto oscillante), ciascuno con uno snodo sferico. La lunghezza dei singoli bracci consente di influire sulle variazioni di campanatura e convergenza che si verificano in fase di molleggio. I bracci trasversali sono in genere a triangolo, al fine di incrementare la rigidità nella direzione di marcia, e sono collegati al telaio con due silentblocc. Esistono sospensioni montate su bracci trasversali di pari o di diversa lunghezza.

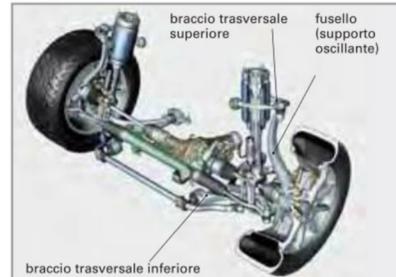


Figura 3: Avantreno a quadrilateri trasversali

Bracci trasversali di diversa lunghezza. Il braccio trasversale superiore è sempre più corto di quello inferiore. Durante il molleggio, si ha una campanatura negativa e una minima variazione della convergenza, il che migliora la stabilità in curva.

Bracci trasversali di pari lunghezza (a parallelogramma). Il molleggio non produce nessuna variazione della campanatura. Si modifica, però, la carreggiata.

Sospensione a gamba elastica McPherson e braccio trasversale (avantreno di tipo McPherson, fig. 4). L'avantreno di tipo McPherson è stato concepito sulla base della sospensione a quadrilateri trasversali. Il braccio trasversale superiore è sostituito da una gamba elastica con ammortizzatore incorporato, sul quale è fissato il fusello. Sull'asta del pistone dell'ammortizzatore è fissato un piattello, sul quale è posta una molla

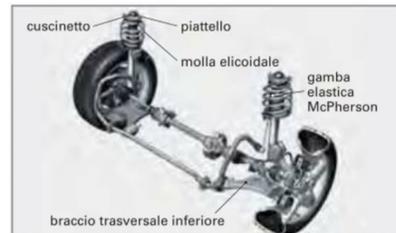


Figura 4: Avantreno di tipo McPherson

elicoidale; un altro piattello chiude il tutto e permette di fissare la sospensione alla struttura del veicolo tramite un cuscinetto elastico. A causa delle forze frenanti, di accelerazione e di reazione laterale, l'asta del pistone e la sua guida sono realizzate in modo particolarmente resistente. Il cuscinetto dev'essere in grado di assorbire notevoli forze assiali e consentire ampi angoli di rotazione degli assi sterzanti. Il passaruota è pertanto rinforzato in corrispondenza del punto di fissaggio superiore.

Assali anteriori a bracci multipli

Negli avantreni a bracci multipli, le forze longitudinali e trasversali sono assorbite da più bracci disposti con angoli diversi. In senso trasversale, i loro supporti sono rigidi, mentre in quello longitudinale sono flessibili.

Assale anteriore a quattro bracci (fig. 1). Negli avantreni a bracci multipli, i triangoli sono sostituiti da bracci singoli. Nel caso dell'avantreno a quattro bracci, un braccio portante e uno di guida costituiscono la parte inferiore e due bracci di guida quella superiore.

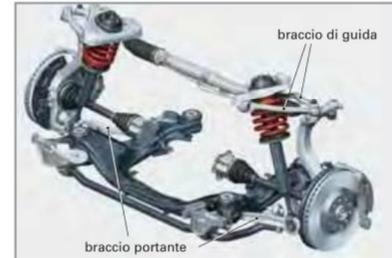


Figura 1: Avantreno a quattro bracci

Avantreno a cinque bracci (fig. 2). L'assale anteriore a cinque bracci è costituito, nella parte superiore, da un braccio portante e uno di guida e, nella parte inferiore, da due bracci di guida. Il quinto braccio è rappresentato dal tirante trasversale, tramite il quale la forza di sterzata viene trasmessa direttamente alle ruote.

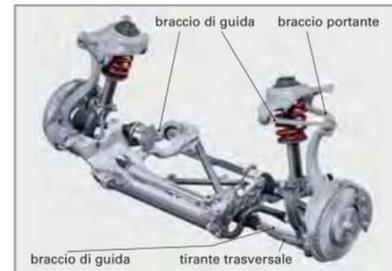


Figura 2: Avantreno a cinque bracci

18.7.5 Assali posteriori

Assale rigido con ponte di trazione

È costituito da una scatola per la trasmissione finale e il differenziale, da due tubi per i semiassi e dai mozzoni ruota per l'alloggiamento dell'impianto frenante. La particolare robustezza permette di sostenere carichi elevati. Lo svantaggio di questa tipologia di asse, tuttavia, consiste nelle grandi masse non sospese, che diminuiscono il comfort e la sicurezza di guida. Nei veicoli industriali, il fissaggio al telaio o alla carrozzeria avviene per mezzo di molle a balestra o alla carrozzeria avviene per mezzo di molle a balestra (fig. 3) che, oltre a garantire il molleggio, fungono anche da guida delle ruote in senso longitudinale o trasversale. In alternativa, è possibile utilizzare molle pneumatiche o elicoidali.

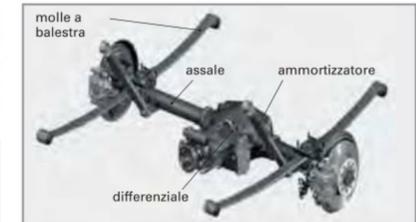


Figura 3: Assale rigido con ponte di trazione

Assali rigidi senza ponte di trazione

Ponte De Dion (fig. 4). Al fine di ridurre le grandi masse non sospese dell'assale rigido con ponte di trazione, la coppia conica è separata dall'assale ed è fissata alla carrozzeria del veicolo. La trasmissione della forza avviene tramite due alberi cardanici, ciascuno con compensazione della lunghezza.

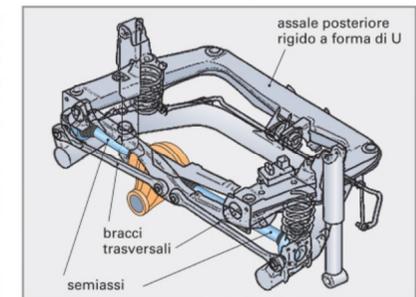


Figura 4: Ponte De Dion posteriore

La guida laterale dell'assale posteriore rigido a forma di U è assicurata tramite:

- due bracci trasversali;
- un parallelogramma di Watt;
- una barra Panhard.

Assale rigido

Ponte posteriore a parabola (fig. 1). Il ponte posteriore è costituito da un assale piegato in avanti, che va a sostituire i tradizionali braccetti e serve a fissare le ruote. Il collegamento alla carrozzeria avviene tramite le molle e gli ammortizzatori (disposti separatamente), la barra stabilizzatrice e un cuscinetto centrale in elastomero. Il sostegno laterale è svolto dal parallelogramma di Watt, mentre la guida delle ruote è garantita dall'assale piegato (parabola). I due puntoni del parallelogramma di Watt sono uniti nella parte posteriore dell'assale e al centro sono fissati alla carrozzeria tramite una bielletta girevole.

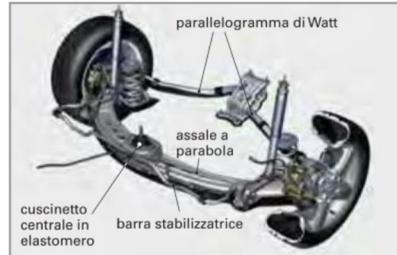


Figura 1: Ponte posteriore a parabola

Assale semirigido

Assale semirigido a T (fig. 2). Le ruote posteriori sono sospese su bracci longitudinali saldati con una traversa elastica in acciaio per molle. La traversa è a sua volta collegata alla carrozzeria mediante silentbloc. Se entrambe le ruote superano un ostacolo, la traversa non è sottoposta ad alcuna torsione: l'intero assale ruota in modo uniforme nei cuscinetti. Se solo una ruota deve superare un ostacolo, la traversa si torce e agisce come una barra stabilizzatrice. Non si modificano né la convergenza né la campanatura.



Figura 2: Assale semirigido a T

Sospensioni a ruote indipendenti

Assale a bracci obliqui (fig. 3). La guida delle ruote avviene tramite bracci triangolari disposti in posizione obliqua. I supporti dei bracci, distinti gli uni dagli altri, consentono di assorbire elevate forze longitudinali e trasversali, garantendo una guida

precisa della ruota. Per migliorare le proprietà di guida, il braccio triangolare risulta inclinato verso il basso rispetto all'assale trasversale. In fase di compressione, la ruota assume una campanatura negativa, che diventa positiva al momento del rilascio delle sospensioni. La forza di reazione laterale migliora soprattutto in curva.

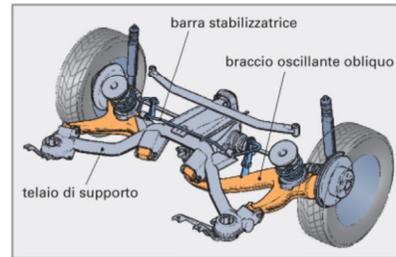


Figura 3: Sospensione delle ruote posteriori a bracci oscillanti obliqui

Retroreno con sospensioni multilink (fig. 4). La sospensione è costituita da quattro bracci singoli, due posizionati sopra e due sotto il centro della ruota. Il quinto braccio è rappresentato dal tirante trasversale.

I bracci sono collegati a un telaio di supporto, tramite il quale avviene il fissaggio alla carrozzeria. In uno dei bracci sono alloggiati anche la molla e l'ammortizzatore. La struttura, sebbene complessa, ha un ingombro ridotto, a tutto vantaggio di un posizionamento sicuro del serbatoio del carburante. Attraverso la lunghezza e la posizione di ogni singolo braccio e la mescola utilizzata per i silentbloc, si può influenzare la posizione della ruota in funzione della corsa della molla e del carico.

Grazie ai bracci di leva relativamente corti, la sospensione reagisce in modo molto contenuto a eventuali forze perturbanti.

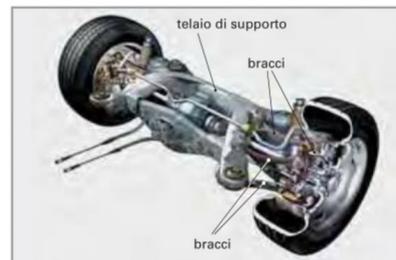


Figura 4: Retroreno con sospensioni multilink

18.8 Il molleggio**18.8.1 Funzione del molleggio**

La funzione del molleggio, insieme all'ammortizzatore, è quella di assorbire gli urti dovuti alle asperità del fondo stradale per evitare di trasmetterli alla carrozzeria.

Il fondo stradale non è mai perfettamente piano. Per tale motivo, le ruote di un veicolo devono compiere, oltre alla rotazione, dei movimenti ascendenti e discendenti. Ad alta velocità, questi movimenti si ripetono con una cadenza molto ravvicinata, creando accelerazioni e decelerazioni verticali molto elevate. Di conseguenza, il veicolo subisce grandi forze di impatto, proporzionali alla massa in movimento. Il molleggio e l'ammortizzazione sono determinanti per:

- **il comfort di guida**, la carrozzeria rimane isolata, proteggendo così sia gli occupanti del veicolo da urti spiacevoli e dannosi per la salute, sia eventuali oggetti fragili trasportati;
 - **la sicurezza di guida**, in presenza di grandi asperità del fondo stradale, è possibile che il veicolo si stacchi dal suolo; le ruote perdono aderenza e non possono più trasmettere le forze (forze motrici o frenanti);
 - **il comportamento in curva**, durante le curve veloci, la minore aderenza delle ruote interne alla curva ne riduce la forza di reazione laterale. Per non creare una deriva eccessiva, conservando la traiettoria, il molleggio deve poter garantire, con ammortizzatore e barra stabilizzatrice, la continua aderenza al suolo.
- Le molle sono montate fra la sospensione degli assi delle ruote e la carrozzeria. Anche lo pneumatico contribuisce, grazie alla sua elasticità, ad assorbire alcune irregolarità della strada. Un ulteriore molleggio, utile però soltanto per i passeggeri, è costituito dalle molle dei sedili (fig. 1).

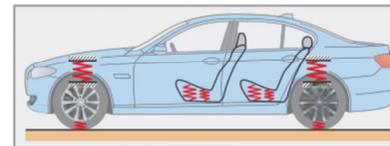


Figura 1: Molleggio di un'automobile

Molleggio trasversale. Le asperità del fondo stradale non producono soltanto urti verticali, ma anche dei movimenti laterali. Per tale motivo, il molleggio deve essere attivo anche in quel senso. Il molleggio trasversale è assicurato, in parte, dagli pneumatici e dai cuscinetti in gomma (silentbloc) che servono al fissaggio e alla guida degli elementi delle sospensioni.

18.8.2 Funzionamento del molleggio

Il molleggio rende il veicolo una struttura capace di oscillare con una frequenza propria (frequenza di oscillazione della carrozzeria), determinata dalla massa del veicolo e dal tipo di molla adottata. Oltre alle forze generate dal fondo stradale, ce ne sono altre che agiscono sul veicolo: forze motrici, forze frenanti, forze centrifughe. Si possono manifestare movimenti e oscillazioni lungo le 3 direzioni dello spazio (fig. 2).

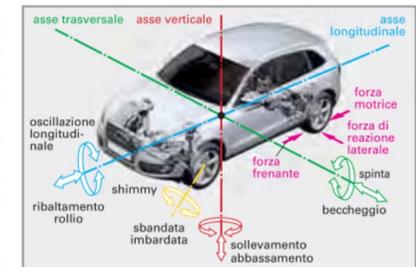


Figura 2: Tipi di oscillazioni a cui è sottoposto un veicolo

Oscillazioni

Quando la ruota di un autoveicolo incontra un ostacolo, sia la carrozzeria sia la ruota stessa cominciano a oscillare. Il movimento verso l'alto della ruota carica la molla elicoidale e la forza elastica, spingendo verso l'alto anche la carrozzeria. Quando la molla si estende, la forza elastica rallenta la carrozzeria: viene così raggiunto il punto superiore di inversione. A causa della forza d'inerzia, la carrozzeria è accelerata verso il basso, superando la posizione di riposo. La molla è compressa (caricata) e la forza elastica così prodotta frena il movimento della carrozzeria fino a raggiungere il punto inferiore di inversione.

Il percorso dal punto superiore di inversione al punto inferiore di un'oscillazione è detto ampiezza di oscillazione.

Questo movimento si ripete fino a quando l'energia cinetica è trasformata completamente in energia termica dall'attrito generato dal movimento del pistone all'interno dell'ammortizzatore (fig. 3).

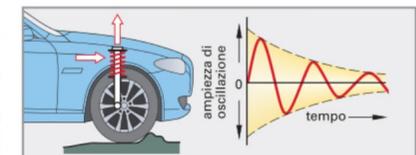


Figura 3: Oscillazione ammortizzata

Risonanza. L'oscillazione aumenta quando gli urti a carico della carrozzeria seguono il ritmo dell'oscillazione propria, per esempio al momento del passaggio di una ruota sopra delle asperità del fondo stradale che si susseguono a intervalli regolari (fig. 1).

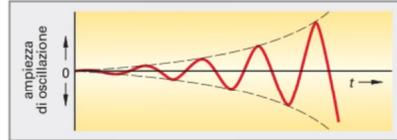


Figura 1: Oscillazione crescente (risonanza)

Frequenza. È il numero di oscillazioni che si verificano in un secondo. Dato che una carrozzeria non oscilla molto velocemente, si indica il numero di oscillazioni al minuto (frequenza di oscillazione della carrozzeria).

Una grande massa e una molla morbida generano bassa frequenza e grande ampiezza.

Indice di rigidità. Indica le caratteristiche della molla (dura, morbida). Per controllare o confrontare le molle, esse sono prima caricate per poi misurarne l'ampiezza della flessione. Il rapporto tra la forza F (carico) agente sulla molla e la lunghezza della flessione s è detto indice di rigidità c , misurato in N/m.

Curve caratteristiche. Se l'indice di rigidità è costante durante tutto il movimento, come avviene per le comuni molle elicoidali, la molla presenta una curva caratteristica lineare (fig. 2).

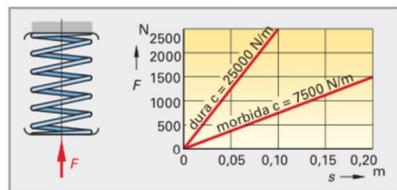


Figura 2: Curve caratteristiche lineari

Se l'indice di rigidità aumenta all'aumentare dell'ampiezza, come nelle molle a balestra o nelle molle coniche elicoidali a cono, la curva caratteristica assume, invece, un andamento non lineare, ossia è progressiva (fig. 3).

Masse sospese, masse non sospese

Nell'autoveicolo, si distinguono masse sospese (carrozzeria e carico) e masse non sospese (ruote con freni a tamburo o a disco, parti della sospen-

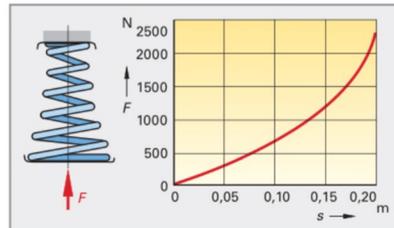


Figura 3: Curva caratteristica progressiva

sione degli assi delle ruote). Queste diverse masse sono accoppiate mediante molle. In tal modo, si producono delle retroazioni, che fanno sì che le due masse oscillino indipendentemente l'una dall'altra in diversi ambiti di frequenza (fig. 4). Montando un ammortizzatore tra le due masse, si riduce l'ampiezza delle oscillazioni, che si attenuano più rapidamente.

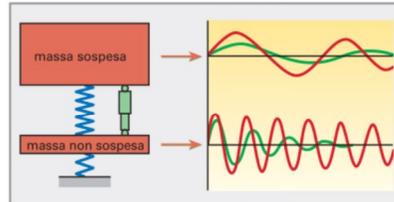


Figura 4: Movimenti durante il passaggio sopra un'asperità del fondo stradale

Quando un veicolo passa ad alta velocità sopra un ostacolo, la carrozzeria non si muove immediatamente a causa della sua massa elevata. La ruota, invece, a causa della massa relativamente piccola rispetto alla massa della carrozzeria, subisce un'accelerazione molto veloce verso l'alto, comprimendo la molla. Sulla carrozzeria agisce unicamente la forza corrispondente al movimento di quest'ultima. Superato l'ostacolo, il precarico della molla è tale da permettere un rapido ritorno della ruota al suolo (accelerazione verso il basso). Sulla carrozzeria agisce soltanto la distensione della molla corrispondente all'asperità. Se la forza proveniente dalla ruota supera il precarico della molla, la ruota perde brevemente il contatto con il fondo stradale in quanto il precarico della molla non è sufficiente per permettere il ritorno della ruota verso il basso.

Per garantire un'elevata sicurezza su strada e il massimo comfort possibile, le masse non sospese dovrebbero essere, possibilmente, molto piccole.

Frequenze di oscillazione della carrozzeria

Tali frequenze possono essere rilevate premendo e rilasciando la parte anteriore o posteriore del veicolo, lasciando oscillare la carrozzeria fino all'arresto. Un'oscillazione completa si compone di una compressione e di una distensione. La frequenza di oscillazione della carrozzeria è data dal numero di oscillazioni al minuto. Gli ammortizzatori non modificano la frequenza di oscillazione, ma ne riducono l'ampiezza, opponendo maggiore resistenza. Per contro, un ruolo importante è rivestito dalla massa. Più la massa del veicolo è grande, o più è elevato il suo carico utile, minore sarà la frequenza di oscillazione.

Sospensione morbida. Frequenze di 60 o meno oscillazioni al minuto possono provocare malessere ai passeggeri. Questa condizione può essere eliminata impiegando ammortizzatori con capacità d'ammortizzazione maggiore.

Sospensione dura. Una frequenza di oscillazione di 90 o più oscillazioni al minuto è pericolosa per la colonna vertebrale. Le molle dure sono indispensabili in caso di elevato carico utile sull'asse posteriore, il che riduce notevolmente il comfort di guida a vettura vuota. Questo vale in particolare per i veicoli di piccole dimensioni, che devono essere dotati di molle dure e stabili a causa del rapporto sfavorevole tra la propria massa e il carico massimo.

18.8.3 Tipi di molle

18.8.3.1 Molle in acciaio

La maggior parte degli autoveicoli è dotata di molle in acciaio, che si possono suddividere in:

- a balestra;
- elicoidali;
- a barra di torsione;
- barre stabilizzatrici.

L'effetto del molleggio è prodotto dalla deformazione elastica dell'acciaio per molle (per esempio acciaio per molle al cromo vanadio) al di sotto del limite di elasticità. La curva caratteristica della molla è lineare, ma può essere resa progressiva grazie a un'opportuna costruzione della molla stessa.

Molle a balestra

Sono utilizzate prevalentemente sui veicoli pesanti (cfr. cap. 22) raramente sulle autovetture.

Molle elicoidali

Sono impiegate prevalentemente nelle automobili come molle a compressione.

Vantaggi: massa ridotta, ingombro minimo.

Svantaggi: pressoché prive di ammortizzazione propria, non trasmettono le forze assiali e trasversali delle ruote.

In genere, le molle elicoidali hanno una curva caratteristica lineare. Le molle elicoidali morbide si distinguono da quelle dure in quanto presentano:

- un minor diametro del filo della spirale;
- un maggior diametro interno della molla;
- un maggior numero di spire.

Per poter trasportare un maggiore carico utile, mantenendo contemporaneamente un sufficiente comfort di guida a veicolo scarico, è necessario montare delle molle elicoidali con curva progressiva (fig. 1). È possibile ottenere una curva progressiva mediante i seguenti accorgimenti:

- diversificazione del diametro interno, per esempio forma conica, concava, convessa;
- variazione della grandezza del diametro del filo.

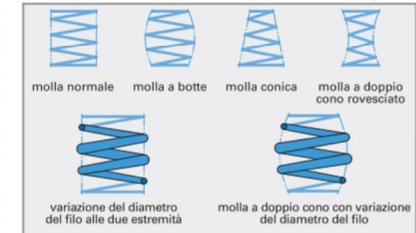


Figura 1: Tipi di molle elicoidali

Molla Miniblock (fig. 2). Rispetto alla molla elicoidale cilindrica, la molla a doppio cono Miniblock presenta il vantaggio che, durante il funzionamento, le singole spire non entrano in contatto tra di loro quando la molla è compressa, in quanto ogni spira si colloca nella spirale vicina con diametro maggiore. In tal modo, si ottiene una minore altezza di ingombro della molla, senza rinunciare a deflessioni lunghe e ad alta capacità portante. La molla Miniblock riunisce tutte e tre le caratteristiche di una molla progressiva.

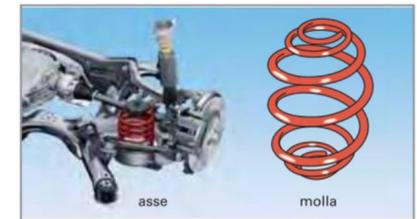


Figura 2: Molla Miniblock

Le molle elicoidali non sono in grado di trasmettere le forze delle ruote.

Possono essere, quindi, utilizzate soltanto per quelle costruzioni di assi in cui le forze di spinta, frenanti e laterali, sono trasmesse da altri elementi (bracci trasversali, bracci longitudinali, bracci ammortizzatori tipo McPherson). Attualmente, gli ammortizzatori sono raramente disposti all'interno delle molle elicoidali, in quanto il montaggio e lo smontaggio risultano difficoltosi e onerosi.

Sistema antirollio attivo (AFS)

Struttura. Con l'aggiunta di ulteriori elementi, il sistema di molleggio idropneumatico diventa un insieme in grado di:

- ridurre l'inclinazione laterale della carrozzeria nelle curve (rollio);
 - contrastare l'abbassamento dell'asse anteriore del veicolo in fase di frenata e quello del posteriore in fase di accelerazione;
 - variare in modo continuo il comfort del molleggio fra morbido e rigido, indipendentemente dalla selezione del programma Comfort o Sport.
- Sono necessari i seguenti elementi aggiuntivi (fig. 1):
- due barre antirollio con i rispettivi cilindri di lavoro;
 - un corpo sferico a molla centrale con regolatore di durezza integrato per avantreno e retrotreno;
 - due corpi sferici a molla per ogni asse;
 - un gruppo elettroidraulico;
 - sensori di altezza per avantreno e retrotreno;
 - sensore angolo di sterzata, acceleratore e freno.

Durante la percorrenza di una curva o in caso di improvvise sterzate, possono verificarsi situazioni critiche. L'inclinazione della carrozzeria comporta una diminuzione di carico sulle ruote interne alla curva, che pertanto non sono più in grado di trasmettere grandi forze a terra, con conseguente rischio di sbandamento o ribaltamento del veicolo. La velocità in curva e la distanza dell'asse di rollio dal baricentro del mezzo, determinano l'inclinazione laterale della carrozzeria. Quest'ultima può essere ridotta mediante apposite barre stabilizzatrici. La diversa compressione delle ruote provoca una torsione degli stabilizzatori che, agendo come mol-

le a barra di torsione supplementari, comportano un molleggio nel complesso più duro e meno confortevole.

Struttura. Nel sistema antirollio attivo, i cilindri di lavoro anteriori, disposti in posizione verticale, sono collegati alla barra stabilizzatrice mediante apposite barre di accoppiamento, mentre quelli posteriori sono disposti in orizzontale. A seconda della pressione idraulica esercitata nei cilindri, sulla barra stabilizzatrice possono agire ulteriori forze e comportare un molleggio più duro. Tra i cilindri degli assi vi è un terzo corpo sferico a molla e un sensore di altezza. I movimenti della molla generano una torsione della barra stabilizzatrice, che il sensore di altezza segnala alla centralina come variazione della posizione della carrozzeria. Tutti i cilindri e le sfere a molla sono collegati tra loro tramite il gruppo elettroidraulico.

Gruppo elettroidraulico. È costituito dalla pompa idraulica con motore elettrico, da 4 elettrovalvole e dalla centralina elettronica. La pompa invia il fluido idraulico ai corpi sferici a molla. La pressione d'esercizio del sistema è compresa tra 80 e 140 bar. Su ogni asse vi sono 2 elettrovalvole che regolano la mandata e il ritorno del fluido idraulico. La parte anteriore del veicolo può, quindi, sollevarsi e abbassarsi in modo indipendente una dall'altra.

Funzionamento del sistema antirollio attivo. Selezionando il programma Comfort o Sport, il conducente può decidere se vuole un molleggio morbido o rigido.

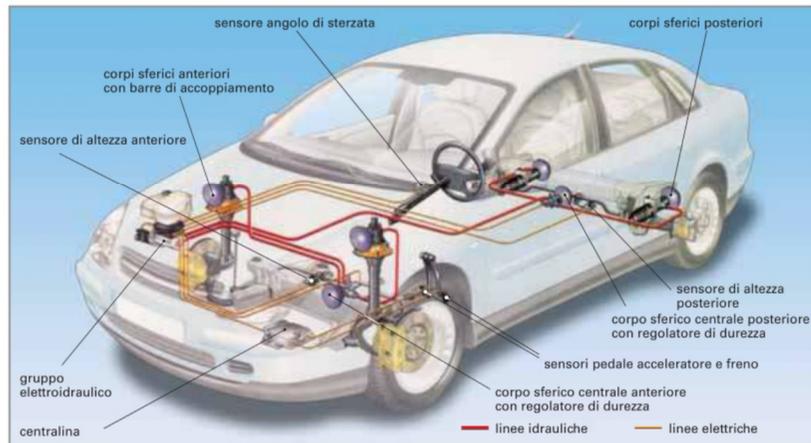


Figura 1: Componenti e sistema della stabilizzazione attiva del telaio

A seconda delle condizioni e dello stile di guida (alta velocità in curva) il molleggio può commutare automaticamente da morbido a rigido.

Programma Comfort. I tre corpi sferici di ciascun asse sono collegati tra loro. In fase di compressione delle molle, gli steli dei pistoni scendono nei cilindri di lavoro spingendo l'olio idraulico, che così fluisce nei corpi sferici e comprime il cuscinio di azoto tramite le membrane. Il 3° corpo sferico mette a disposizione un ulteriore cuscinio di gas, grazie al quale si ottiene un molleggio morbido (fig. 1).

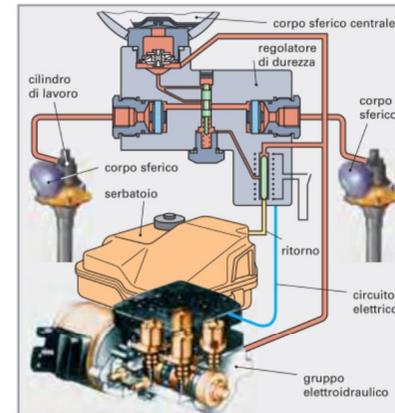


Figura 1: AFS in modalità molleggio morbido

Programma Sport. Se tramite la centralina si attiva la valvola elettromagnetica del regolatore di durezza, posizionato sul corpo sferico centrale, il flusso verso i cilindri di lavoro si interrompe; essendo disponibile soltanto il volume di gas dei due cilindri di lavoro, il molleggio diventa più duro.

Funzionamento del regolatore di durezza nel programma Sport (fig. 2). La valvola elettromagnetica è alimentata, il circuito di ritorno al serbatoio dell'olio idraulico è aperto, la parte inferiore del cursore non è più in pressione. Poiché la pressione del molleggio continua ad agire sulla parte superiore, il cursore viene spinto verso il basso, interrompendo il collegamento tra gli elementi elastici e il corpo sferico.

Processi durante la guida in curva, l'accelerazione e la frenata. Durante la guida in curva, la centralina riceve dal sensore dell'angolo di sterzata, informazioni circa la velocità di sterzata e l'angolo di rotazione del volante. Per contrastare il rollio della carrozzeria, l'elettrovalvola è alimentata e il collegamento dei corpi sferici si chiude. Il molleggio diventa più duro e l'angolo di inclinazione della car-

rozzeria si riduce. Senza questo accorgimento, la carrozzeria si abbasserebbe in corrispondenza delle ruote esterne alla curva e il fluido idraulico si dirigerebbe verso gli elementi elastici del lato opposto. Per contrastare l'abbassamento del posteriore in fase di accelerazione, la centralina disattiva il corpo sferico centrale del retrotreno in funzione delle informazioni ricevute dal sensore dell'acceleratore.

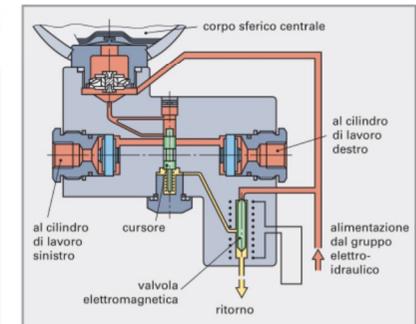


Figura 2: Regolatore in modalità sportiva

18.8.4 Ammortizzatori

Gli ammortizzatori permettono di ridurre in modo più rapido le oscillazioni della carrozzeria e delle ruote. In tal modo aumentano la sicurezza e il comfort di guida dell'autoveicolo.

Sono montati tra le sospensioni e la carrozzeria. Le oscillazioni delle ruote e quelle della carrozzeria hanno frequenze differenti, per cui un buon ammortizzatore deve essere tarato in modo tale da smorzarle entrambe. Attualmente si utilizzano quasi esclusivamente ammortizzatori idraulici, in cui un pistone si sposta all'interno di un cilindro, lasciando passare l'olio attraverso piccoli fori o valvole (fori calibrati).

Fase di estensione. La ruota si muove verso il basso, costringendo lo stelo dell'ammortizzatore ad uscire dal cilindro (ammortizzatore telescopico).

Fase di compressione. La ruota si muove verso l'alto, costringendo lo stelo dell'ammortizzatore a rientrare nel cilindro. Variando la resistenza che si oppone al flusso dell'olio durante i vari spostamenti del pistone, è possibile adattare l'ammortizzatore alle caratteristiche del veicolo.

Gli ammortizzatori trasformano l'energia cinetica in energia termica.

18.8.4.1 Ammortizzatore bitubo (due tubi)

Gli ammortizzatori idraulici sono costituiti fondamentalmente da un cilindro, nel quale si può muovere un pistone con il suo stelo.

Nell'ammortizzatore bitubo (fig. 1) lo stelo del pistone con la campana di protezione è collegato alla scocca, mentre il cilindro è fissato alle sospensioni dell'asse delle ruote.

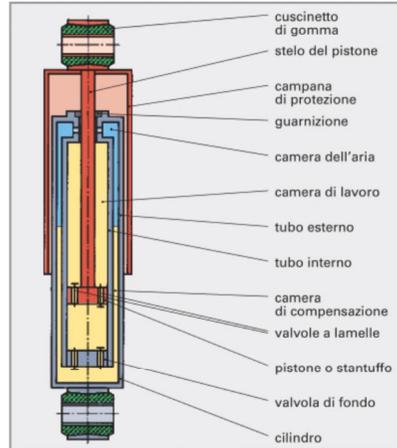


Figura 1: Ammortizzatore bitubo

Il cilindro è composto da due tubi, uno interno all'altro. Nel tubo interno si trova la camera di lavoro, completamente riempita d'olio e nella quale si muove il pistone. Tra il tubo interno e quello esterno si trova la camera di compensazione, che è riempita solo parzialmente d'olio e serve ad accogliere il fluido spinto fuori dalla camera di lavoro in seguito all'entrata dello stelo del pistone nel cilindro. Nel pistone e nella camera di lavoro vi sono diverse valvole che calibrano il passaggio del flusso dell'olio in maniera differenziata, a seconda della fase di compressione o distensione dell'ammortizzatore. Nella fase di estensione si ha lo smorzamento maggiore. Quando il pistone compie la sua corsa verso l'alto, l'olio deve passare attraverso i piccoli fori calibrati della valvola a lamelle che si trova sul pistone. Durante questo movimento, dalla camera di compensazione si verifica contemporaneamente un'aspirazione d'olio tramite la valvola di fondo.

L'ammortizzatore a due tubi va montato con lo stelo del pistone rivolto verso l'alto, altrimenti dalla camera di compensazione verrebbe aspirata aria, il che porterebbe all'emulsione dell'aria con l'olio e a una riduzione dell'effetto smorzante.

18.8.4.2 Ammortizzatore monotubo a gas

L'ammortizzatore monotubo a gas (fig. 2), durante la fase di compressione ed estensione, si comporta esattamente come un ammortizzatore a due tubi. La compensazione del volume dello stelo del pistone non necessita, tuttavia, di una camera di compensazione particolare, per cui il tubo esterno non è necessario.

Essa, infatti, avviene mediante un cuscinio di gas di azoto, separato in genere dalla camera dell'olio tramite un pistone separatore mobile. Il cuscinio di gas è sottoposto a una pressione di 20 - 30 bar. Durante la corsa verso il basso del pistone di lavoro, l'olio rimosso dall'asta del pistone comprime ulteriormente il cuscinio di gas. Il cuscinio di gas e l'olio sono costantemente sotto pressione, in modo da evitare che nell'olio si formino delle bolle d'aria, diminuendo così l'effetto smorzante.

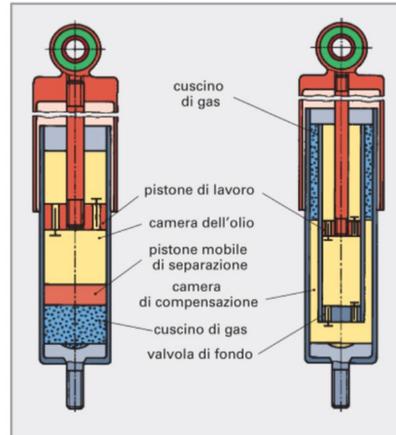


Figura 2: Ammortizzatore monotubo a gas

Figura 3: Ammortizzatore bitubo a gas

Gli ammortizzatori monotubo a gas con pistone mobile di separazione possono essere montati in qualsiasi posizione.

18.8.4.3 Ammortizzatore bitubo a gas

L'ammortizzatore a due tubi a gas (fig. 3) ha la stessa struttura dell'ammortizzatore bitubo a pressione atmosferica. La camera di compensazione anulare è riempita con del gas di azoto a una pressione di 3 - 8 bar. In questo modo si riduce la formazione di bolle di vapore nel caso di movimenti rapidi dell'ammortizzatore e si migliorano, allo stesso modo, le forze di smorzamento in quasi tutti gli intervalli di oscillazione.

Ammortizzatore bitubo a gas con taratura differenziata

Fino ad oggi l'adattamento di un ammortizzatore alle differenti condizioni di carico di un veicolo era quasi impossibile. I veicoli con grandi carichi (camion a rimorchio) hanno bisogno di una taratura molto rigida degli ammortizzatori, il che però porta, quando il veicolo è scarico e il fondo stradale è irregolare, a saltellamenti più o meno intensi che rendono difficoltosa la guida. Nell'ammortizzatore bitubo a gas con taratura differenziata (fig. 1), invece, una o più scanalature poste sulla parete del cilindro consentono di ottenere una curva caratteristica di ammortizzazione variabile.

Carico ridotto. Il pistone di lavoro si muove nello spazio compreso tra le due scanalature. L'olio può passare non solo attraverso le valvole del pistone, ma anche attraverso le scanalature. Grazie a questo by-pass si attenua la forza di smorzamento, aumentando così il comfort di guida.

Carico elevato. Il pistone di lavoro si sposta al di sotto della zona con le scanalature e l'olio passa solamente attraverso le valvole del pistone. Si ottiene pertanto la massima forza smorzante. Variando il numero e la lunghezza delle scanalature, come anche la loro distanza reciproca, si può adattare la forza di ammortizzazione non soltanto al carico, ma anche a tutti i sistemi di sospensione utilizzati.

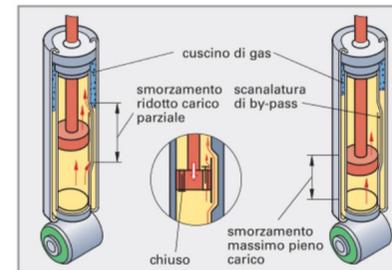


Figura 1: Ammortizzatore bitubo con taratura differenziata

18.8.4.4 Ammortizzatori a regolazione continua. Continuous-Damping-Control (CDC)

Grazie alla regolazione elettronica, è possibile tarare in continuo la curva caratteristica degli ammortizzatori in funzione della situazione di guida e delle preferenze del conducente.

Caratteristiche

- Incremento della sicurezza di marcia grazie alla migliore aderenza al suolo delle ruote.
- Rollio e inclinazione laterale della scocca ridotti durante la percorrenza in curva.

- Possibilità di selezionare una taratura sportiva o confortevole tramite la pressione di un tasto.

Struttura. Questi sistemi sono sostanzialmente costituiti da:

- ammortizzatori con gestione elettronica del grado di smorzamento;
- sensori per angolo sterzo, movimento sospensione e accelerazione trasversale della carrozzeria;
- sensori di velocità del veicolo;
- sensori angolari del livello del veicolo su ogni lato degli assi;
- centralina per la regolazione dell'ammortizzazione.

Funzionamento. Il grado di smorzamento è adeguato alla situazione di guida a ogni compressione ed estensione delle molle, modulando l'alimentazione delle elettrovalvole all'interno dell'ammortizzatore (fig. 2). In funzione dei segnali provenienti dai sensori, infatti, la centralina calcola la corrente necessaria alle elettrovalvole di ciascun ammortizzatore. L'intensità dello smorzamento può variare entro un ampio intervallo di valori nell'arco di 2-4 millisecondi.

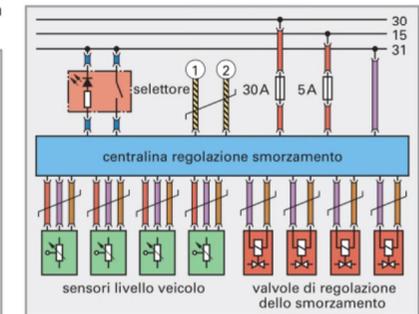


Figura 2: Schema elettrico

Varie tipologie

Ammortizzatore bitubo a gas con valvola proporzionale (fig. 1, pag. 510): la forza di smorzamento viene regolata variando l'alimentazione elettrica dell'elettrovalvola. Se occorre una forza maggiore, è necessario aumentare la resistenza fluidodinamica del flusso d'olio (fig. 1, pag. 510, a sinistra). Una volta alimentata la bobina, la valvola proporzionale viene messa in moto in senso opposto alla forza elastica e la sezione calibrata aumenta (fig. 1, pag. 510, a destra). La forza di smorzamento diminuisce. La sezione calibrata può essere dunque regolata di continuo, in funzione dell'alimentazione della bobina magnetica.

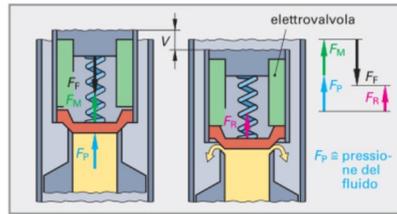


Figura 1: Ammortizzatore con valvola proporzionale

Ammortizzatori monotubo a gas con effetto magnetoreologico. Magnetic-Ride (fig. 2). La taratura degli ammortizzatori si basa sull'effetto magnetoreologico, generato dalla presenza di microparticelle di ferro del diametro di 3-10 μm legate all'interno dell'olio (sintetico). Quando il sistema non è alimentato, le particelle magnetiche sono libere di muoversi nel fluido. Nel momento in cui il pistone è messo in movimento, le singole particelle sono spinte, insieme all'olio, attraverso i fori del pistone stesso, senza particolare resistenza. Quando la bobina è alimentata, le particelle si allineano in strutture più rigide e l'olio degli ammortizzatori diventa più denso. La resistenza al passaggio nei fori del pistone aumenta. L'ammortizzatore diventa più duro.

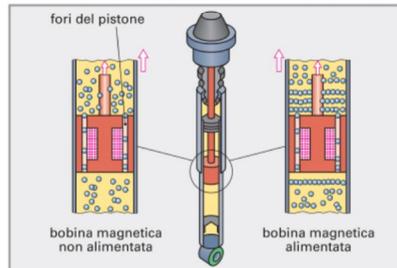


Figura 2: Ammortizzatori con effetto magnetoreologico

18.8.4.5 Controllo degli ammortizzatori

Ammortizzatore smontato. Per ottenere la curva caratteristica di un ammortizzatore, è necessario disporre di un dispositivo di collaudo nel quale inserire l'ammortizzatore. Mediante un manovellismo si mette in funzione l'ammortizzatore e si vanno a misurare le forze di smorzamento che si producono durante il movimento del pistone. Le misurazioni rilevate vengono riportate in un diagramma. Si ottengono così delle curve chiuse che rappresentano una corsa costante di estensione e compressione (fig. 3). Aumentando il raggio di manovella sul dispositivo di prova, aumenta anche la corsa d'estensione e di compressione dell'ammortizzatore; si ottengono così ulteriori curve chiuse. Aumentando il raggio di manovella, aumenta anche la forza di smorzamento, in quanto rimane co-

stante il numero dei giri del manovellismo, ma aumenta la velocità del pistone nell'ammortizzatore.

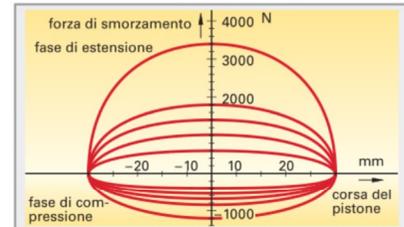


Figura 3: Grafico del collaudo di un ammortizzatore a gas

Montando nel pistone delle valvole con diverse sezioni di passaggio, si ottengono diverse forze di smorzamento, sia nella fase di estensione sia nella fase di compressione. Il rapporto tra le forze di smorzamento in fase di estensione e quelle in fase di compressione è compreso tra 2 e 5.

Ammortizzatore montato. Su un apposito banco prova (shocktester) si controllano contemporaneamente gli ammortizzatori di un singolo asse. Entrambe le ruote dell'assale da controllare sono poste su delle piastre separate tra loro. Ognuna di queste piastre è munita di un motore elettrico con un meccanismo eccentrico e di una molla. Quando il motore elettrico viene azionato, si genera un moto oscillatorio che mette in funzione il gruppo molla-ammortizzatore della ruota interessata. Dopo lo spegnimento del motore elettrico, il gruppo molla-ammortizzatore continua ad oscillare per inerzia fino all'arresto (smorzamento delle oscillazioni). Questo movimento viene registrato su un disco tramite uno strumento di misura (fig. 4). Nel punto di risonanza si ha la massima escursione (massima ampiezza). Esso fornisce indicazioni rispetto alle capacità di smorzamento del rispettivo ammortizzatore. Se l'escursione nel punto di risonanza è maggiore o uguale al valore limite indicato dal costruttore, l'ammortizzatore è difettoso. Tramite un diagramma a disco, è possibile visualizzare le oscillazioni degli ammortizzatori di un lato del veicolo.

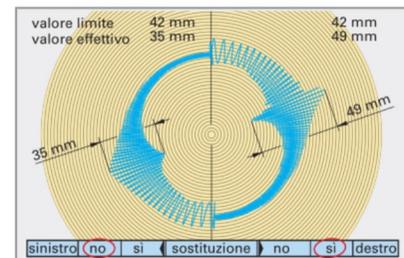


Figura 4: Grafico delle oscillazioni di 2 ammortizzatori

18.8.4.6 Sistemi combinati di ammortizzazione

Ammortizzatore a gamba elastica

Un ammortizzatore rinforzato posto all'interno delle spirali di una molla, in genere elicoidale, è detto ammortizzatore a gamba elastica McPherson.

Gli ammortizzatori a gamba elastica possono essere utilizzati anche come sospensioni delle ruote se sono muniti di un ulteriore perno fuso (fig. 1). Per non dover sostituire, in caso di difetto, l'intero ammortizzatore a gamba elastica, si utilizzano degli ammortizzatori a cartuccia. In tal caso, per sostituire la cartuccia è necessario svitare la parte superiore dell'alloggiamento.

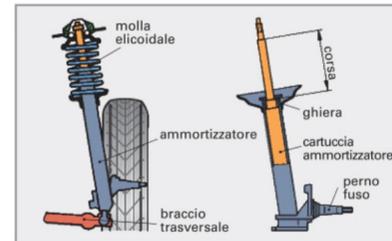


Figura 1: Ammortizzatore a gamba elastica McPherson

Ammortizzatore con regolazione del livello

In genere, nelle automobili la sospensione è predisposta in modo tale da garantire la migliore tenuta di strada in condizioni di carico medio. In condizioni di carico massimo utile, la parte posteriore del veicolo si abbassa, diminuendo così la distanza dal suolo e la deflessione, peggiorando la tenuta di strada. Questo può portare a comportamenti incontrollati durante la sterzata, sensibilità al vento laterale, con conseguente abbagliamento dei conducenti che circolano di notte in senso opposto. Il comfort di guida peggiora a causa della variazione della frequenza di oscillazione causata dall'aumento del carico. Una frequenza propria di 1 Hz (corrispondente a una frequenza di oscillazione pari a 60), costante per tutte le condizioni di carico, si può ottenere soltanto con l'ausilio di una sospensione a gas con regolazione del livello. L'altezza dal suolo del veicolo è mantenuta automaticamente a un livello costante in tutte le condizioni di carico, anche nel caso in cui il veicolo debba trainare un rimorchio. La regolazione automatica del livello è ottenibile tramite dei sistemi puramente pneumatici o dei sistemi idropneumatici.

Regolazione pneumatica del livello. L'impianto si compone di un compressore, una centralina e due ammortizzatori con molla pneumatica, aventi ciascuno un sensore a induzione. Gli ammortizzatori con molla pneumatica sono una combinazione di ammortizzatori monotubo a gas e molla pneumatica (fig. 2). Essi sostengono l'intero carico dell'assale.

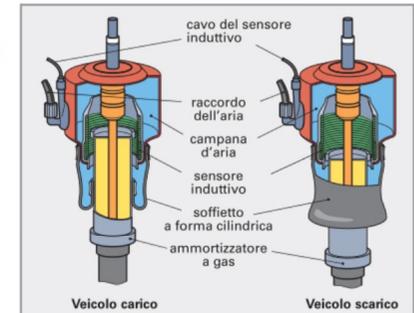


Figura 2: Ammortizzatore con molla pneumatica

La molla pneumatica è disposta sopra l'ammortizzatore a gas ed è composta da una campana d'aria e un soffietto a forma cilindrica. All'aumentare del carico, il tubo dell'ammortizzatore entra più profondamente nella bobina del sensore integrato nella campana d'aria, producendo così una tensione indotta che viene in seguito trasmessa come segnale alla centralina. La centralina comanda al compressore di immettere aria fino a raggiungere di nuovo l'altezza dal suolo impostata. La pressione nel soffietto può variare tra 5 e 11 bar a seconda del carico.

Regolazione idropneumatica del livello. L'impianto è composto da:

- ammortizzatori a gamba elastica e accumulatori a molla (fig. 3);
- impianto di olio sotto pressione con pompa rotativa a pistoncini radiali e serbatoio dell'olio;
- dispositivo di comando con regolatore del livello e tiranteria di azionamento.

Gli accumulatori a molla lavorano come una molla idropneumatica aggiuntiva. Quando la parte posteriore del veicolo si abbassa, l'elemento di sospensione viene alimentato con olio compresso attraverso la valvola di regolazione del livello fino a quando non si raggiunge nuovamente l'altezza dal suolo impostata. L'olio ritorna al serbatoio quasi senza pressione.

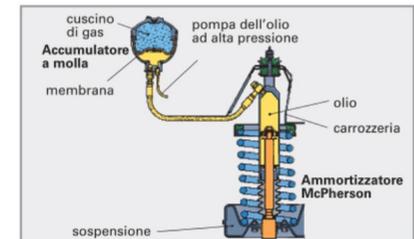


Figura 3: Ammortizzatore McPherson con accumulatore a molla

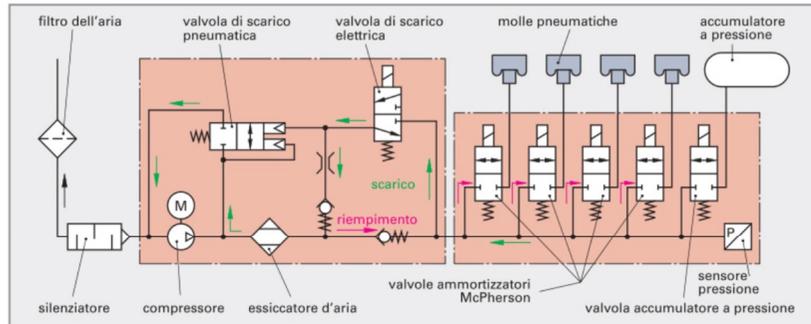


Figura 1: Schema pneumatico del molleggio

Molleggio pneumatico con regolazione dell'ammortizzazione

Si tratta di un sistema in grado di regolare l'assetto di marcia e il grado di ammortizzazione (sospensione attiva).

Caratteristiche

- Maggiore comfort e sicurezza di guida.
- Indipendentemente dal carico, il veicolo è sempre mantenuto a un determinato livello.

Molleggio pneumatico. L'altezza da terra è scelta dal conducente o è impostata automaticamente.

- **Livello normale:** impostato dopo l'avviamento del veicolo.
- **Livello alto:** selezionabile dal conducente, per esempio in caso di guida su fondo sterrato o in cattive condizioni.
- **Livello basso:** impostato automaticamente in caso di velocità sostenuta.

Struttura (fig. 1). È composto da:

- 4 ammortizzatori pneumatici McPherson con ammortizzatori a regolazione elettronica integrati;
- compressore (pressione massima di 16 bar) con essiccatore d'aria;
- blocco di valvole elettromagnetiche con 4 valvole degli ammortizzatori McPherson e 1 valvola dell'accumulatore a pressione;
- valvola di scarico elettrica e pneumatica;
- accumulatore a pressione con relativa valvola e sensore della pressione integrato;
- sensori angolari del livello del veicolo su ogni lato degli assi;
- sensore di accelerazione per la misurazione del movimento verticale della carrozzeria (range di misurazione: 1,3 g);
- sensore di accelerazione per il movimento di compressione ed estensione delle ruote (range di misurazione: 13 g);

- centralina per la regolazione del livello e dell'ammortizzazione.

Gestione del sistema di regolazione del livello. In base ai segnali dei sensori angolari, la centralina definisce il livello del veicolo rispetto alla ruota.

Sollevarlo del veicolo. La molla pneumatica deve essere riempita di aria compressa, la cui pressione è generata da un apposito compressore. Le valvole degli ammortizzatori a gamba elastica sono comandate dalla centralina, generalmente a due a due. L'aria compressa confluisce nelle molle; contemporaneamente, l'accumulatore a pressione si riempie per effetto della valvola aperta. Le valvole di scarico sono chiuse.

Mantenimento del livello del veicolo. Le valvole degli ammortizzatori a gamba elastica sono chiuse.

Abbassamento del veicolo. In tal caso, l'aria deve fuoriuscire dalla molla. Le valvole degli ammortizzatori a gamba elastica e la valvola elettrica di scarico si aprono e consentono il passaggio dell'aria compressa. Ciò comporta l'apertura della valvola di scarico pneumatica. L'aria è convogliata all'esterno tramite l'essiccatore, il silenziatore e il filtro dell'aria.

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Prima di sollevare o abbassare il veicolo, per esempio con un ponte o un martinetto, è necessario riempire le relative molle pneumatiche mediante il tester. Se non compresse, le molle pneumatiche non devono essere movimentate, altrimenti il soffietto cilindrico non riesce a ruotare sul relativo pistone e si danneggia.

Regolazione dello smorzamento. Gli ammortizzatori integrati nei McPherson dispongono di un sistema di smorzamento a regolazione elettronica. Quest'ultima avviene per opera della centralina, in funzione dell'accelerazione verticale delle ruote e della struttura del veicolo.

18.8.5 Active Body Control (ABC)

Il controllo attivo del veicolo (ABC, Active Body Control) è un sistema elettroidraulico attivo del telaio che, oltre alla funzione di molleggio e ammortizzazione, rende possibile la regolazione automatica della sospensione durante la marcia. La regolazione automatica mantiene la struttura del veicolo sull'assale anteriore e sull'assale posteriore costantemente al medesimo livello, sia in frenata sia in accelerazione, in curva o in caso di irregolarità del fondo stradale.

Struttura. Ciascuna ruota è collegata a una gamba elastica costituita da un pistone di lavoro, un ammortizzatore e una molla elicoidale. Il pistone di lavoro è uno stantuffo idraulico a regolazione dinamica, in grado di generare forze contrapposte ai movimenti della ruota o della carrozzeria. A tal fine, esso sposta il piede della molla elicoidale e modifica il precarico, riducendo così le oscillazioni della carrozzeria in direzione dei 3 assi del veicolo.



Figura 1: Ammortizzatore McPherson con pistone di lavoro

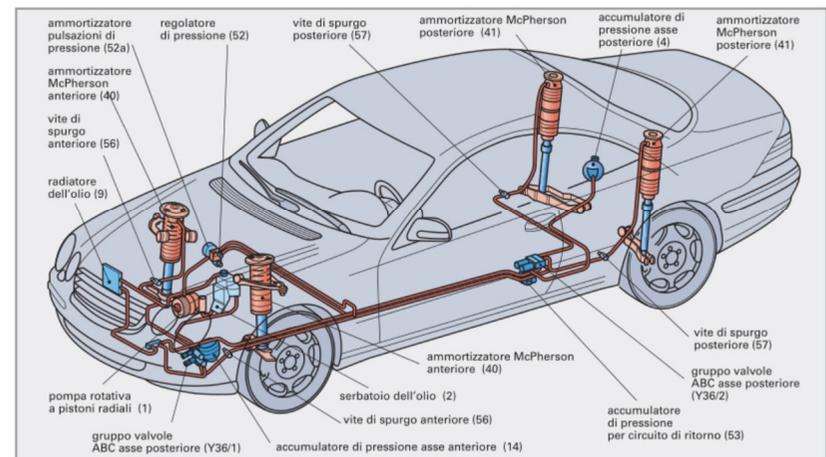


Figura 2: Controllo attivo del veicolo (disposizione dei componenti)

Compito e funzione dei sensori

Il sensore di pressione B4/5 informa la centralina (tramite il PIN 36 e il PIN 37 della presa 2) in merito al valore della pressione idraulica.

La pressione idraulica è regolata dalla valvola di regolazione della pressione y86/1 su un valore di 180 - 200 bar.

Il sensore di temperatura olio B40/1 misura la temperatura dell'olio sul circuito di ritorno (PIN 26, PIN 2 presa 2).

I sensori di corsa nel cilindro idraulico (pistone di lavoro) B22/6, B22/1, B22/4, B22/5 trasmettono alla centralina la rispettiva posizione effettiva dei cilin-

dri di regolazione nella gamba elastica (PIN 20 presa 1, PIN 17 presa 1, PIN 18 presa 2, PIN 16 presa 2).

I sensori di livello B22/7, B22/10, B22/8, B22/9 rilevano, tramite la rispettiva posizione del braccio trasversale, il livello della carrozzeria del veicolo (PIN 2, PIN 5 presa 1, PIN 20, PIN 42 presa 2).

I sensori di accelerazione B24/3, B24/4, B24/6 misurano l'accelerazione verticale della carrozzeria del veicolo. Sono costituiti da moduli elettronici di oscillazione che inviano i segnali alla centralina attraverso i PIN 6, 8 presa 2 e 29 presa 1. Sono necessari per la rilevazione di eventuali movimenti di alzata della carrozzeria.

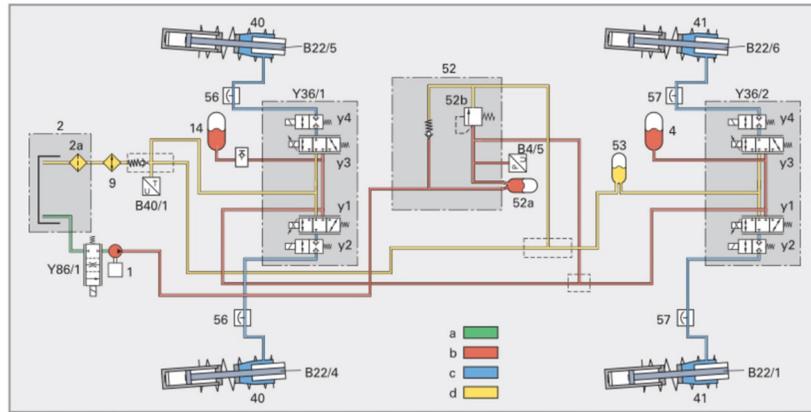


Figura 1: Schema idraulico ABC

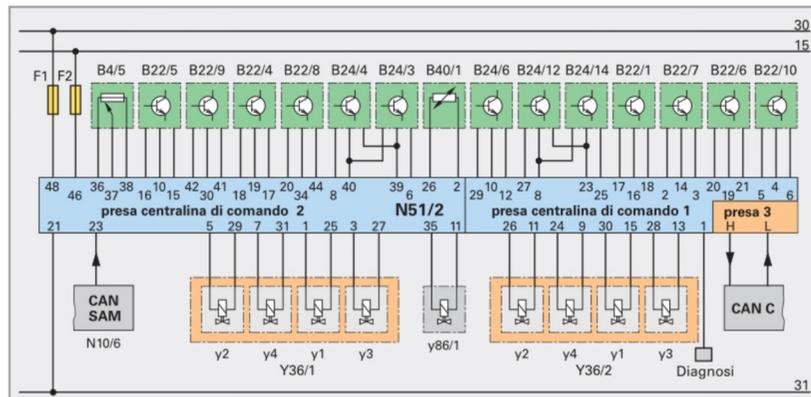


Figura 2: Schema elettrico ABC

Legenda per gli schemi ABC: a: condotta di aspirazione; b: pressione di lavoro; c: pressione di regolazione; d: ritorno; 1: pompa rotativa a pistoni radiali; 2: serbatoio dell'olio; 2a: filtro dell'olio; 4: accumulatore a pressione assale posteriore; 9: radiatore dell'olio; 14: accumulatore a pressione assale anteriore; 40: ammortizzatore tipo McPherson anteriore; 41: ammortizzatore tipo McPherson posteriore; 52: unità valvole di alimentazione pressione; 52a: ammortizzatore delle pulsazioni; 52b: valvola limitatrice della pressione; 53: accumulatore a pressione per circuito di ritorno; 56: vite di spurgo anteriore; 57: vite di spurgo posteriore; F1: fusibile 1; F2: fusibile 2; N51/2: centralina ABC; N10/6: centralina MRCS; B4/5: sensore di pressione ABC; B22/1: sensore corsa pistone di lavoro posteriore sx; B22/4: sensore corsa pistone di lavoro anteriore sx; B22/5: sensore corsa pistone di lavoro anteriore dx; B22/6: sensore corsa pistone di lavoro posteriore dx; B22/7: sensore livello posteriore sx; B22/8: sensore livello anteriore sx; B22/9: sensore livello anteriore dx; B22/10: sensore livello posteriore dx; B40/1: sensore temperatura olio ABC; B24/12: sensore accelerazione trasversale; B24/14: sensore accelerazione longitudinale; B24/3: sensore accelerazione carrozzeria anteriore sx; B24/4: sensore accelerazione carrozzeria anteriore dx; B24/6: sensore accelerazione carrozzeria posteriore; Y36/1: unità valvole ABC assale anteriore; y1: valvola di regolazione ammortizzatore tipo McPherson anteriore sx; y2: valvola di blocco ammortizzatore tipo McPherson anteriore dx; y3: valvola di regolazione ammortizzatore tipo McPherson anteriore dx; y4: valvola di blocco ammortizzatore tipo McPherson anteriore sx; y36/2: unità delle valvole ABC assale posteriore; y1: valvola di regolazione ammortizzatore tipo McPherson posteriore sx; y2: valvola di blocco ammortizzatore tipo McPherson posteriore dx; y3: valvola di regolazione ammortizzatore tipo McPherson posteriore dx; y4: valvola di blocco ammortizzatore tipo McPherson posteriore dx; y86/1: valvola di regolazione pressione ABC.

I sensori di accelerazione trasversale e longitudinale B24/12, B24/14 rilevano la dinamica trasversale e longitudinale del veicolo (PIN 27, PIN 25 presa 1) e sono necessari per la compensazione di eventuali movimenti di rollio e di beccheggio.

Il modulo di rilevazione e comando segnali MRCS attiva la centralina attraverso il PIN 23 della presa 2 tramite il telecomando, i commutatori di contatto della portiera o l'illuminazione del bagagliaio. La centralina controlla il livello del veicolo per abbassarlo eventualmente al livello preselezionato.

La centralina ABC N51/2 confronta i segnali dei sensori e le informazioni trasmesse da altri sistemi tramite CAN-bus con la mappatura in memoria (sport/comfort) per poi inviare i comandi agli attuatori.

Compito e funzione degli attuatori

La valvola di regolazione della pressione y86/1 regola la quantità di olio aspirata dalla pompa, in modo tale da generare e mantenere una pressione dell'olio tra 180-200 bar nel sistema ABC. A riposo, la valvola è chiusa per mantenere la pressione nel sistema.

Valvole di regolazione y1, y3. L'attivazione delle valvole di regolazione fa muovere i cilindri di regolazione nell'ammortizzatore. In tal modo, la carrozzeria si abbassa o si alza sulla ruota corrispondente e può, quindi, aumentare brevemente la forza di contatto della ruota.

Le valvole di blocco y2, y4 sono chiuse a motore spento, a veicolo fermo e in caso di guasti per evitare una perdita di pressione. In tal modo, si impedisce la separazione dei cilindri di regolazione in caso di cambio di una ruota o durante il sollevamento della vettura tramite l'elevatore.

Processi di regolazione

Avviamento. L'apertura della portiera attiva, tramite il modulo di rilevazione e comando segnali (PIN 23, presa 2), la centralina ABC: attraverso i sensori del livello B22/7 - B22/10 il livello effettivo è paragonato al livello nominale. Se il livello effettivo è maggiore rispetto al livello nominale, vengono azionate le valvole di regolazione y1, y3 e il veicolo si abbassa al livello nominale. Per poter eseguire tale operazione di controllo, la centralina è alimentata tramite il PIN 48 con un positivo diretto dalla batteria e tramite il PIN 21 direttamente a massa. Dopo l'inserimento dell'accensione, la centralina viene ulteriormente alimentata tramite il PIN 46 della presa 2.

Curva. In curva, il sensore dell'accelerazione trasversale B24/12 registra la forza centrifuga. Il corrispondente segnale è trasmesso alla centralina

attraverso il PIN 27 presa 1. Dal numero di giri della ruota anteriore destra e anteriore sinistra trasmesso tramite CAN-C, la centralina riconosce se si tratta di una curva a sinistra o di una curva a destra. Se è una curva a sinistra, la centralina N51/2 aziona le valvole di regolazione y3 attraverso i PIN 3, PIN 27 (presa 2) e PIN 28, PIN 13 (presa 1), in modo da far uscire il pistone di lavoro e innalzare il veicolo sul lato esterno. Contemporaneamente, le valvole di regolazione y1 sono commutate tramite i PIN 1, PIN 25 (presa 2) e PIN 30, PIN 15 (presa 1), in modo da decomprimere i pistoni di lavoro sul lato interno del veicolo. Di conseguenza, il lato interno si abbassa. Tramite i sensori di livello B22/7 - B22/10, il livello effettivo è paragonato al livello nominale.

Accelerazione. Durante l'accelerazione, il sensore di accelerazione longitudinale B24/14 registra le forze di accelerazione in direzione longitudinale. Il segnale viene trasmesso alla centralina tramite il PIN 25 della presa 1. La centralina di comando aziona le valvole di regolazione in modo tale da abbassare la carrozzeria del veicolo sull'assale anteriore e alzarla sull'assale posteriore.

Frenata. Durante la frenata, la centralina riceve, mediante CAN-C, l'informazione circa l'avvio del processo di frenata tramite la chiusura dell'interruttore delle luci di arresto. Il sensore di accelerazione longitudinale trasmette alla centralina, tramite il PIN 25 della presa 1, l'informazione sull'intensità di tale decelerazione. La centralina aziona le valvole di regolazione, in modo da alzare la struttura del veicolo sull'assale anteriore e abbassarlo sull'assale posteriore.

Rettilineo. Durante il percorso in rettilineo, la centralina riceve, tramite CAN-C, informazioni sulla velocità di marcia. Il livello del veicolo viene abbassato automaticamente, tramite il comando delle valvole di regolazione da parte della centralina, sul livello corrispondente alla mappatura in memoria. A scelta del conducente (azionamento del pulsante di livello, CAN-C), il veicolo può essere alzato di 25 - 50 mm.

Oscillazioni verticali. Il veicolo, a causa di irregolarità del fondo stradale, oscilla nel senso dell'asse verticale (beccheggio). Questi movimenti vengono trasmessi alla centralina dai sensori di accelerazione della carrozzeria B24/3, B24/4, B24/6 tramite i PIN 6, PIN 8 (presa 2) e il PIN 29 (presa 1). I sensori di livello B22/7, B22/8, B22/9, B22/10 segnalano lo spostamento attraverso PIN 42, PIN 20 della presa 2 e PIN 2, PIN 5 della presa 1. La centralina aziona le valvole di regolazione secondo la mappatura (sport/comfort), in modo tale da smorzare e compensare le oscillazioni della carrozzeria.

18.9 Ruote e pneumatici

18.9.1 Sistema ruote-pneumatici

Il sistema ruote-pneumatici fa da interfaccia tra il veicolo e il piano stradale. Inoltre, deve sopportare il peso del veicolo, ma anche avere una massa ridotta. Dal punto di vista tecnico, va dunque considerato come un tutt'uno con il telaio, al fine di garantire la massima sicurezza e il massimo comfort di guida possibile.

Forze agenti (fig. 1). Tramite la superficie d'appoggio degli pneumatici (area di contatto), le forze rappresentate nella fig. 1 sono trasferite dal veicolo al piano stradale e da quest'ultimo al telaio.

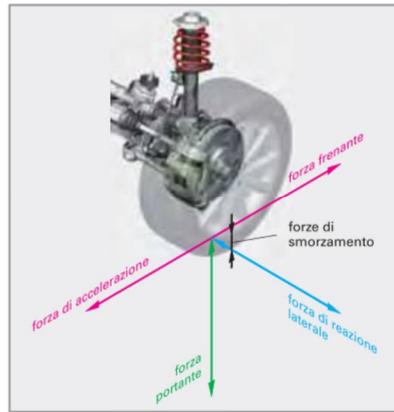


Figura 1: Forze nel sistema ruote-pneumatici

La capacità di carico e le misure di ruote e pneumatici devono essere definite in base al peso del veicolo, alla velocità massima dichiarata, all'ingombro e ai requisiti tecnici, quali il diametro dei dischi freno, o alla larghezza della carreggiata desiderata. Il sistema ruote-pneumatici dev'essere quanto più leggero possibile, al fine di ridurre le masse non sospese e, quindi, migliorare il contatto tra pneumatico e fondo stradale. Ciò consente, per esempio, di trasferire maggiori forze di reazione laterali e maggiori forze frenanti, con conseguente incremento della sicurezza di guida. Se la massa delle ruote e degli pneumatici è ridotta, i movimenti delle ruote non sono trasmessi bruscamente alla carrozzeria, per cui migliora anche il comfort di guida. Da ultimo, la leggerezza del sistema ruote-pneumatici riduce anche il consumo di carburante del veicolo.

Il sistema ruote-pneumatici deve essere ottimizzato al meglio dalle case automobilistiche in funzione del rispettivo veicolo. A tal fine, i fattori determinanti sono: massa totale consentita, velocità massima e impiego del veicolo.

Eventuali modifiche al sistema ruote-pneumatici, non previste dalla casa automobilistica nei certificati CoC (Certificate of Conformity), presuppongono una conoscenza approfondita dei limiti tecnici del veicolo, nel rispetto delle disposizioni di legge.

18.9.2 Le ruote

Le ruote devono soddisfare i seguenti requisiti:

- elevata resistenza alla deformazione e grande elasticità;
- peso ridotto;
- grande diametro interno per permettere l'inserimento di dischi freni più grandi;
- buona dissipazione del calore da attrito che si genera in frenata;
- facile sostituibilità degli pneumatici;
- elevata precisione dimensionale;
- design accattivante.

Struttura della ruota

La ruota (fig. 2) è costituita dal cerchione e dal disco con foro centrale e fori dei perni di centraggio. Al posto del disco tradizionale (ruota piena), alcune ruote hanno un disco a raggiata. In altri casi ancora, il cerchione si collega al mozzo mediante raggi in acciaio. La ruota è fissata sulla flangia del mozzo mediante appositi dadi o viti. Il mozzo della ruota gira su dei cuscinetti. Inoltre, anche il disco (tamburo) del freno è avvitato alla flangia del mozzo.

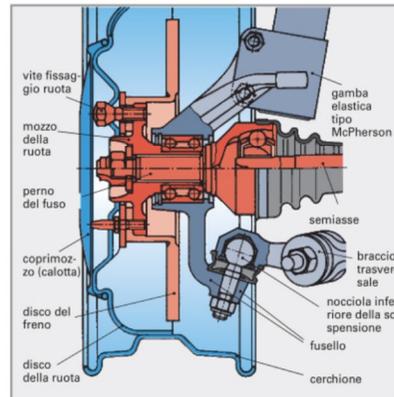


Figura 2: Ruota di automobile avvitata al mozzo

Quote di accoppiamento al mozzo (fig. 1). Il numero di fori (NF), l'interasse dei fori (IF) e il diametro del foro centrale (DFC) sono le quote di accoppiamento della ruota al mozzo. Il foro centrale e le viti o i dadi della ruota hanno il compito di centrare la ruota sul mozzo. Nella documentazione tecnica le misure vengono indicate come segue:

$$4 \times 112 \times 57 = \text{NF} \times \text{IF} \times \text{DFC}$$

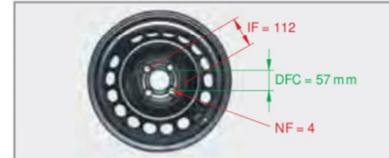


Figura 1: Quote di accoppiamento al mozzo di una ruota con disco di acciaio

Profondità d'inserimento (ET)

Detta anche campanatura del cerchio, corrisponde alla distanza in [mm] tra la superficie d'appoggio della flangia sul mozzo e la mezzeria del cerchio stesso.

Profondità positiva. Si ha un ET positivo quando la superficie d'appoggio del cerchio è spostata verso il lato esterno dell'asse di mezzeria. Maggiore è il valore di ET, minore sarà la carreggiata. In altre parole, un piccolo ET aumenta la carreggiata.

Profondità negativa. Si ha un ET negativo quando la superficie d'appoggio del cerchio è spostata verso il lato interno dell'asse di mezzeria. Utilizzando cerchioni con ET negativo, si può aumentare la carreggiata del veicolo.

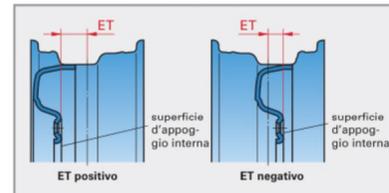


Figura 2: ET positivo e negativo

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Modifica dell'assetto. Variando l'ET si modifica anche la carreggiata dei veicoli e, conseguentemente, altri parametri geometrici della scocca, come braccio a terra e campanatura. Il telaio, inoltre, è soggetto a maggiori sollecitazioni, e cambia il comportamento su strada del veicolo.

I cerchioni

I cerchioni e gli pneumatici coincidono a livello di profilo e di dimensioni. In tal modo si garantisce un montaggio sicuro ed ermetico dello pneumatico sul cerchione.

I cerchioni, generalmente, sono solidali al disco della ruota/disco a raggiata (fig. 3a). Modelli particolari, utilizzati per esempio nelle competizioni sportive, prevedono l'uso di una ruota scomponibile in tre parti, in cui il cerchione e il disco della ruota sono fissati l'uno all'altro mediante viti (fig. 3b). Questo sistema consente, modificando il canale esterno del cerchione, di variare la larghezza del medesimo e la larghezza dello pneumatico utilizzato; è un sistema di tenuta molto complesso, che va separato soltanto in caso di necessità (riparazione). Nei veicoli industriali si utilizzano spesso cerchioni composti, per esempio in seguito alla necessità di montaggio degli pneumatici (cfr. cap. 22).

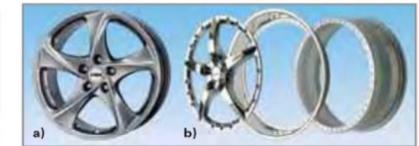


Figura 3: a) Cerchioni monoblocco, b) Cerchioni scomponibile

Classificazione dei cerchioni

Dimensioni. Queste indicazioni sono standardizzate e il costruttore le incide direttamente su ogni cerchione. Tale contrassegno è composto fondamentalmente da due misure: la larghezza a e il diametro del cerchione D in pollici (fig. 4). Nei cerchioni a canale profondo, le due misure sono separate da una "X". La configurazione a canale profondo è tale da consentire il montaggio degli pneumatici.

Codici. I rilievi lungo la circonferenza del cerchione sono chiamati hump (H). Essi hanno il compito di impedire che le elevate forze laterali, che si producono in curva ad alta velocità, e la ridotta pressione di gonfiaggio causino lo stallonamento dello pneumatico. A seconda del profilo e delle misure, si utilizzano diverse sigle alfanumeriche (H, H2 o FH, FH2). Anche il profilo del bordo del cerchione è specificato con sigle alfanumeriche (J, JK, E).



Figura 4: Cerchioni a canale profondo con differenti hump

Esempio: 7½ J x 16 H2 ET 35

7½: larghezza del canale interno in pollici;
 J: forma e dimensioni del bordo del cerchione;
 x: cerchioni in un sol pezzo (a canale profondo);
 16: diametro del cerchione in pollici;
 H2: hump su entrambi i lati del cerchione;
 ET 35: distanza in mm tra il piano d'appoggio e la mezzeria del cerchione (offset).

Altre sigle

H un hump sul lato esterno;
 FH flat hump sul lato esterno;
 FH2 flat hump su entrambi i lati;
 CH (combination hump): flat hump sul lato esterno e un hump sul lato interno;
 EH2(+) extended hump (hump maggiorato); è più alto di max. 1,2 mm rispetto all'hump normale. Questo profilo di cerchione va utilizzato in caso di pneumatici runflat;
 SL (special ledge), sede del tallone più ampia (senza hump);
 J, JK altri tipi di bordo del cerchione;
 B, E misure della flangia;
 IF, DFC interesse dei fori, diametro foro centrale;
 NF numero di fori;
 SDC cerchione e canale semiprofondo (semi-drop-center).

Materiali utilizzati nella fabbricazione delle ruote

Ruota di acciaio. Il disco della ruota è in lamiera d'acciaio stampata, mentre il cerchione è in lamiera d'acciaio laminata. Sono fissati l'uno all'altro mediante saldatura. Le ruote a costruzione leggera in acciai ad alta resistenza, per esempio DP 600, consentono di realizzare spessori di parete inferiori e, rispetto alle ruote in acciaio tradizionali, hanno un peso fino al 40% inferiore.

Ruote in lega leggera. Sono generalmente realizzate in fusione, per esempio da GK-AISi 10 Mg. Le ruote composte di alta qualità vengono forgiate, ossia il disco della ruota viene stampato, il cerchione fucinato ed entrambi vengono fissati l'uno all'altro mediante viti. Per realizzare ruote particolarmente leggere, si utilizzano anche leghe di Mg o raggi cavi (fig. 1).



Figura 1: Ruota con raggi cavi

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

L'accoppiamento tra le ruote in lega leggera e il mozzo in acciaio produce una corrosione elettrolitica. Per prevenirla, prima del montaggio della ruota, occorre applicare sulla flangia del mozzo un sottile strato di pasta antiadesiva sintetica priva di metallo (pasta per mozzi).

18.9.3 I fissaggi delle ruote

Viti (dadi). Sono a collo conico e a collo sferico (fig. 2). La conicità è pari a 60°. Il collo sferico, invece, può avere diversi raggi, per esempio 12 mm, 13 mm, 14 mm.

Esempio: M 12 x 1,5 x 23

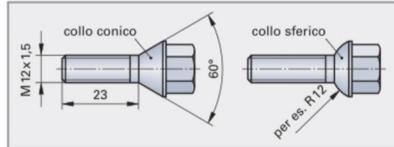


Figura 2: Viti per ruota con collo conico e collo sferico

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Oltre alla lunghezza corretta, per le viti con collo sferico, è assolutamente necessario considerare anche il raggio. Se si sceglie il raggio sbagliato, la vite poggerà soltanto su una piccola porzione di superficie, il che può comportare l'allentamento della vite e quindi della ruota.

Coppie di serraggio. A seconda della tipologia di veicolo, le case automobilistiche specificano diverse coppie di serraggio delle viti. Tali valori vanno assolutamente rispettati, onde evitare che le viti si allentino per effetto del carico dinamico. Una coppia di serraggio inferiore a 20 Nm comporta, su 5 viti (M 12 x 1,5), una perdita di precarico pari a circa 40000 N. Una coppia di serraggio eccessiva, invece, può determinare, sotto carico dinamico, una deformazione plastica delle viti (allungamento permanente). In entrambi i casi, si può verificare un allentamento delle viti.

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Al fine di garantire la coppia di serraggio corretta, è consentito utilizzare soltanto chiavi dinamometriche tarate. In genere, le viti delle ruote non devono essere ingrassate in corrispondenza del filetto o della superficie d'appoggio, altrimenti l'attrito insufficiente che si produrrebbe sui fianchi del filetto e sulla superficie d'appoggio causerebbe un precarico eccessivo e, quindi, una deformazione, anche permanente, della vite.

Centraggio. Affinché la ruota sia perfettamente centrata, è necessario serrare le viti in diagonale in più riprese. Un errore di centraggio di 1/10 mm equivale a uno squilibrio della ruota di circa 10 g.

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Per questo tipo di operazione occorre eventualmente utilizzare anelli di centraggio corrispondenti alle misure di accoppiamento del mozzo.

18.9.4 Le valvole

Requisiti. Le valvole sono sostanzialmente soggette alle seguenti situazioni:

- forza centrifuga alle alte velocità;
- sollecitazioni sulla resistenza alla flessione alterata in frenata e in partenza;
- invecchiamento termico dovuto alle alte temperature in frenata;
- inquinamento ambientale, per esempio ozono, calore, umidità, salsedine;
- sollecitazione di pressione causata dalla pressione interna degli pneumatici;
- forza retrattile in fase di montaggio delle valvole snap-in.

Tipologie. Nei ciclomotori, nelle autovetture e nei furgoni, per gli pneumatici tubeless si utilizzano, a seconda dei requisiti, valvole in gomma (valvole snap-in, valvole per furgoni) o in metallo (standard, valvole per sistemi di monitoraggio della pressione degli pneumatici, Tyre Pressure Monitoring Systems - TPMS) (fig. 1).



Figura 1: Tipi di valvole per autovetture e furgoni

Valvole per furgoni. Sono in grado di sopportare le maggiori sollecitazioni di pressione che si verificano nei furgoni a seguito della velocità raggiunta in condizioni di sovraccarico e ai continui stop-and-go del veicolo. Nella fig. 2 è raffigurata la correlazione tra la pressione interna degli pneumatici e la temperatura. Un aumento di temperatura di 10 °C comporta un incremento della pressione interna degli pneumatici di circa 0,1 bar. Le tradizionali val-

vole snap-in per autovetture non sono indicate per queste elevate sollecitazioni termiche, perché potrebbero causare perdite di pressione e provocare danni dovuti allo sgonfiamento della gomma, con conseguente rischio di incidenti.

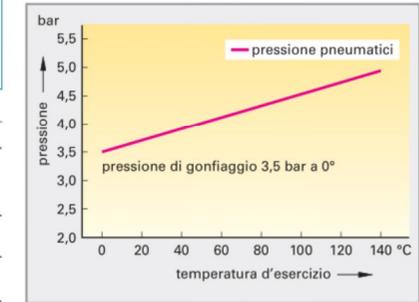


Figura 2: Correlazione tra pressione degli pneumatici e temperatura d'esercizio

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Alle alte velocità, le valvole snap-in possono piegarsi a tal punto da consentire la fuoriuscita di aria dal foro della valvola sul cerchione. Tale fenomeno può essere evitato utilizzando appositi copricerchi a supporto della valvola. In alternativa, è possibile utilizzare valvole in metallo.

Valvole TPMS. Queste valvole servono per fissare il dispositivo elettronico di misurazione della pressione interna degli pneumatici. Tale dispositivo funziona a batteria, la cui durata è pari a circa 5-7 anni. A seconda della lunghezza, le valvole TPMS sono contrassegnate da un colore diverso (fig. 3).



Figura 3: Valvole TPMS, elettronica delle valvole

Misure. Affinché le valvole garantiscano la tenuta, è necessario che il loro diametro e il diametro dell'apposito foro sul cerchione coincidono. I diametri più comuni, espressi in mm, sono: 8,3, 8,8, 9,7, 11,3 e 15,7. La lunghezza delle valvole varia in funzione del tipo di ruota/cerchione (in caso di valvole snap-in, da 33 a 61,5 mm).

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Valvole snap-in, valvole per furgoni. Vanno sempre sostituite ad ogni cambio di pneumatico. In caso di modifica dell'assetto, utilizzare eventualmente valvole di metallo, in conformità alle indicazioni del produttore della ruota.

Valvole di metallo. In fase di sostituzione dello pneumatico, è necessario sostituire l'attacco della valvola e verificare che le guarnizioni del foro non siano danneggiate. L'attacco della valvola va serrato alla coppia prescritta.

Cappucci. Vanno sempre avvitati sulle valvole onde evitare impurità e una possibile perdita di pressione.

18.9.5 Gli pneumatici

Requisiti. Gli pneumatici devono soddisfare i seguenti requisiti:

- sostenere la forza peso dell'autoveicolo;
- ammortizzare piccole irregolarità del fondo stradale;
- trasmettere le forze motrici, frenanti e di reazione laterale;
- bassa resistenza al rotolamento;
- trasmettere con precisione le forze di sterzata alla carreggiata;
- avere una durata di vita sufficiente;
- rotolare possibilmente senza rumori e vibrazioni;
- possedere eventuali funzioni in caso d'emergenza.

Struttura. Si distinguono pneumatici con camera d'aria e pneumatici tubeless (TL).

Pneumatici con camera d'aria. Vengono ormai utilizzati soltanto nei ciclomotori e nei veicoli industriali. La camera d'aria deve corrispondere alle dimensioni dello pneumatico. Quando si cambia la gomma, va sempre sostituita anche la camera d'aria.

Pneumatico per autovetture tubeless (fig. 1). È costituito dai seguenti elementi:

- carcassa (sottofondo in tessuto);
- cintura e cordone in nylon;
- strato intermedio (base);
- battistrada (cap);
- fianco;
- tallone con cerchietto;
- riempimento;
- rivestimento interno a tenuta stagna.

Carcassa. È composta da fili intrecciati gommati, realizzati in rayon, poliestere o aramide. Negli autocarri, i fili intrecciati della carcassa sono prevalentemente in acciaio. Il filo è avvolto attorno a due cerchietti d'acciaio (nuclei del tallone)



Figura 1: Struttura di un pneumatico radiale per autovetture

e fissati mediante vulcanizzazione. Il numero di strati sovrapposti dipende dalla capacità di carico dello pneumatico. Quest'ultima è sostanzialmente determinata, oltre che dalla pressione interna della gomma, dalla carcassa stessa.

Pneumatici radiali (fig. 1). I fili della tela della carcassa sono disposti ad angolo retto (90°) rispetto al senso di marcia (carcassa radiale).

Pneumatici diagonali (fig. 2). I fili della tela della carcassa formano un angolo acuto (20-40°) rispetto alla direzione di marcia. Gli pneumatici diagonali sono utilizzati soprattutto nei motocicli (cfr. cap. 21).

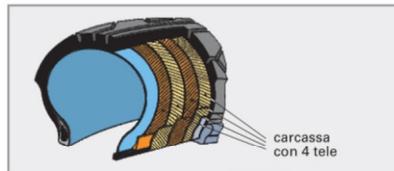


Figura 2: Carcassa diagonale per pneumatici di ciclomotori

Cintura. È costituita da diversi strati di fili d'acciaio o fibre di aramide rivestiti di gomma. La cintura è disposta sopra la carcassa ed è realizzata in modo tale che i fili d'acciaio o le fibre si incrocino. Gli pneumatici per alte velocità sono provvisti di una cintura a 0° disposta sopra gli strati di cintura incrociati, per esempio in nylon (cordone in nylon). Essa fa sì che alle alte velocità lo pneumatico non si espanda eccessivamente, riducendo l'abrasione del materiale.

Strato intermedio (base). È costituito da uno strato di gomma più duro ad elevata conducibilità elettrica (filler: nerofumo). Lo strato intermedio riduce il movimento dei blocchetti del battistrada e, quindi, anche la resistenza al rotolamento dello pneumatico. Contemporaneamente, attutisce gli urti sul fondo stradale e protegge la carcassa. La miscela della base impedisce che il veicolo si carichi elettrostaticamente. Il contatto della miscela con il fondo stradale è garantito da una striscia circonferenziale situata al centro del battistrada (principio Base-Pen).

Battistrada (cap). È dotato di un profilo. Il profilo a scanalature longitudinali aumenta la reazione laterale dello pneumatico, mentre il profilo a scanalature trasversali migliora le forze di trazione e di frenata. La conformazione e la miscela del battistrada influiscono in misura determinante sulla trazione dello pneumatico nelle diverse condizioni meteorologiche, nonché sulla resistenza al rotolamento e sulla silenziosità del medesimo. Nella fig. 1 si vede che, a temperature inferiori a 7 °C, gli pneumatici invernali hanno una trazione decisamente migliore rispetto a quelli estivi. A temperature superiori a 7 °C, invece, la situazione è esattamente inversa, dal momento che, in questo caso, sono gli pneumatici estivi ad avere una trazione migliore rispetto a quelli invernali.

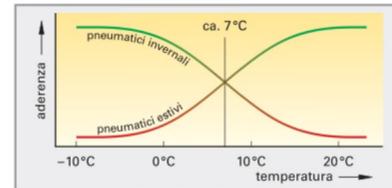


Figura 1: Trazione degli pneumatici estivi e invernali in funzione della temperatura

Negli pneumatici ad alte prestazioni, il battistrada è spesso costituito da due o più mescole di gomma, al fine di garantire un rotolamento ottimale e la massima trazione possibile - Multi Compound Tread; tecnologia MCT (fig. 2).



Figura 2: Battistrada con due diverse mescole

Battistrada con silice. L'aggiunta di silice consente di raggiungere un'elevata aderenza del battistrada su fondo bagnato e, al contempo, una ridotta resistenza al rotolamento.

Conformazione del battistrada. Sul fondo stradale bagnato si può accumulare, tra lo pneumatico e la superficie stradale, un cuneo d'acqua (aquaplaning) che riduce l'aderenza al suolo e fa perdere il controllo del veicolo. Per drenare l'acqua, le scanalature del profilo devono avere una determinata forma e una profondità sufficiente. In molti casi la profondità minima del profilo prescritta dalla legge, pari a 1,6 mm, non basta a evitare i rischi dell'aquaplaning e, inoltre, comporta anche una distanza di frenata decisamente superiore (fig. 3).

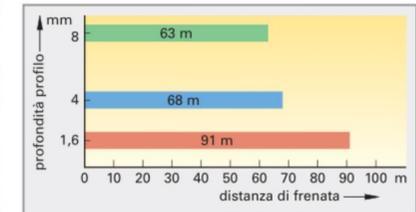


Figura 3: Distanza di frenata su fondo bagnato con diverse profondità del battistrada, da 100 km/h all'arresto del veicolo.

Indicatori di usura - Tread Wear Indicators (TWI) (fig. 4). Si tratta di rilievi sul fondo della scolpitura. Una volta che il battistrada ha raggiunto la profondità minima di legge di 1,6 mm, gli indicatori di usura risultano essere alla stessa altezza della scolpitura. La posizione degli indicatori nel battistrada è contrassegnata sul fianco dello pneumatico con le lettere TWI oppure con un triangolo. La profondità del battistrada viene misurata, oltre che nei rilievi TWI, nelle scanalature principali. Gli pneumatici invernali con profondità del battistrada inferiore a 4 mm non sono più utilizzabili.

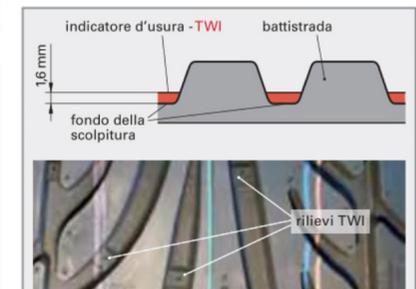


Figura 4: Punti di misurazione della profondità minima del battistrada

Fianco. Protegge la carcassa dagli agenti atmosferici e da eventuali danni. Gli pneumatici run-flat hanno i fianchi rinforzati. L'altezza e la rigidità del fianco hanno un influsso determinante sulla precisione di sterzata e sul comfort di molleggio dello pneumatico. La linea di centraggio sul fondo della parete laterale serve a controllare il corretto posizionamento dello pneumatico sulla spalla del cerchione. Sul fianco dello pneumatico sono indicate le caratteristiche di quest'ultimo, per esempio misura, tipo di pneumatico, capacità di carico, velocità consentita, struttura e produttore.

Tallone. Ha il compito di fissare lo pneumatico sul cerchione, per garantire la trasmissione delle forze motrici, frenanti e di reazione laterale. Per tale motivo, è realizzato in maniera molto solida, utilizzando cavi in fili d'acciaio (cerchietto). Negli pneumatici tubeless, esso ha anche il compito di garantire la tenuta stagna sul cerchione (ermeticità).

Riempimento. Si trova sopra il cerchietto, tra la carcassa e il fianco, e influisce sulla precisione di sterzata dello pneumatico.

Rivestimento interno (strato interno di gomma a tenuta d'aria). È in gomma butilica e garantisce la tenuta stagna degli pneumatici senza camera d'aria. Questi ultimi sono contrassegnati dalla scritta "tubeless" o "TL". In seguito ai processi di diffusione si verifica, tuttavia, una leggera perdita di pressione, motivo per cui va controllata periodicamente. La perdita di pressione può essere ridotta gonfiando gli pneumatici con azoto, dal momento che le sue molecole sono più grandi di quelle dell'ossigeno. In caso di gonfiaggio con azoto occorre utilizzare dei cappucci per valvole di altro colore (verde).

Vantaggi degli pneumatici tubeless:

- minore sviluppo di calore, non essendovi attrito tra pneumatico e camera d'aria;
- peso inferiore e montaggio più semplice dello pneumatico sul cerchione.

Altri tipi di pneumatici per autovetture

Pneumatici UHP Gli pneumatici UHP (Ultra High Performance) hanno un rapporto altezza/larghezza inferiore del 45% e consentono una velocità superiore ai 240 km/h.

Pneumatici runflat (RFT - Run Flat Tyre, fig. 1). Sono pneumatici con fianco rinforzato, che permettono di continuare a viaggiare anche in totale assenza di pressione. In tal caso, la velocità consentita e la percorrenza possibile sono prestabilite dal fabbricante, per esempio al massimo a 80 km/h e per 200 km. Per poter utilizzare questo tipo di pneumatici, occorrono cerchioni con un hump superiore (EH o EH+). Poiché in genere il conducente non si accorge della perdita di pressione, in caso di utilizzo di questi pneumatici è obbligatorio un sistema di controllo della pressione.

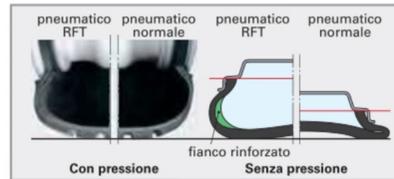


Figura 1: Confronto tra il fianco di uno pneumatico normale e di un RFT

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

- Gli pneumatici UHP e RFT possono essere smontati e montati esclusivamente secondo lo standard wdk* su appositi smontagomme certificati.
- Prima di montarli, vanno scaldati.
- UHP > 15 °C; RFT = 23-27 °C.

Pneumatici Reinforced/XL. Si tratta di pneumatici con una sottostruttura rinforzata. **Impiego:** autovetture.

Pneumatici C (Commercial). A parità di dimensioni rispetto agli pneumatici per autovetture, questo modello possiede una capacità di carico nettamente superiore e una pressione interna conseguentemente maggiore. **Impiego:** furgoni.

Pneumatici Bias Belted. Sono pneumatici diagonali cinturati. **Impiego:** motocicli.

Misure indicate sullo pneumatico (fig. 2)

Dimensioni. Sono indicate nelle seguenti modalità:

- larghezza della sezione **B** in pollici o mm;
- altezza del fianco in % (rapporto tra altezza **H** e larghezza **B** dello pneumatico, per esempio H:B = 0,65, significa che l'altezza dello pneumatico è pari al 65% della larghezza);
- diametro del cerchione / diametro interno dello pneumatico **d** in pollici o mm.

I valori numerici indicati non corrispondono esattamente alle dimensioni reali. Le misure effettive, comprensive delle tolleranze consentite, sono riportate in apposite tabelle standardizzate.

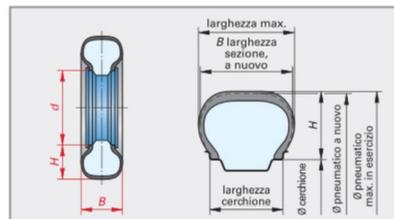


Figura 2: Misure dello pneumatico

* wdk = Associazione economica delle industrie tedesche della gomma

Misure massime (fig. 2, pag. 522, fig. 1). La larghezza massima d'esercizio (B_{max}) e il diametro esterno massimo dello pneumatico (D_{max}) sono le misure d'esercizio massime consentite per uno pneumatico non caricato e gonfiato alla pressione d'esercizio. Tali valori sono determinanti per gli spazi da mantenere sgombri sul veicolo. Le deformazioni dinamiche della gomma non sono considerate in tali misure.

Raggio effettivo (fig. 1). Uno pneumatico carico, fermo e in posizione verticale ha un raggio effettivo (distanza dal centro della ruota alla superficie stradale) minore rispetto a uno pneumatico non caricato. Esso è detto raggio statico r_{stat} e viene determinato in condizioni di carico massimo alla relativa pressione. Quando il veicolo è in marcia, la deformazione dello pneumatico è compensata in parte dalla forza centrifuga e il raggio effettivo aumenta. Esso è detto raggio dinamico r_{din} .

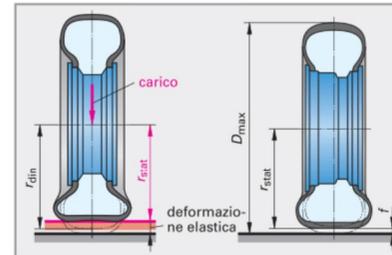


Figura 1: Raggio effettivo

Circonferenza dinamica di rotolamento U_{din} . Indica il percorso compiuto dallo pneumatico ad ogni giro alla velocità di 60 km/h, quando è stato caricato con la portata standardizzata e gonfiato con la pressione prescritta. La precisione dell'indicazione tachimetrica dipende dalla circonferenza dinamica di rotolamento. Il raggio statico e la circonferenza dinamica di rotolamento sono indicati in specifiche tabelle per pneumatici. Dai dati relativi alle dimensioni dello pneumatico, è possibile calcolare approssimativamente la circonferenza dinamica di rotolamento mediante la seguente formula:

$$U_{din} \approx \text{diametro esterno gomma} \times 3,05$$

Classificazione degli pneumatici (fig. 2)

Secondo la disposizione regolamentare n. 20 dell'ECE (ECE - Economic Commission for Europe) per la classificazione di uno pneumatico si devono utilizzare le indicazioni riportate nella fig. 2.

Tutti gli pneumatici devono riportare anche la marcatura **S** (sound), indicante il rumore di rotolamento prestabilito che non deve essere superato.



Figura 2: Classificazione dello pneumatico secondo le norme ECE

Regolamento europeo sulla classificazione degli pneumatici

(UE/122/2009). Nel regolamento europeo sulla classificazione degli pneumatici, entrato in vigore il 1° novembre 2012, sono stabilite le informazioni obbligatorie a livello di efficienza dei consumi, aderenza sul bagnato e rumore di rotolamento degli pneumatici (fig. 3).

Quanto indicato di seguito vale nel caso in cui tutti gli pneumatici di un veicolo siano della medesima qualità.

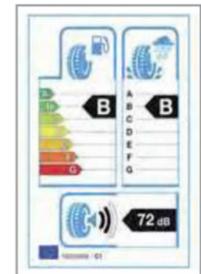


Figura 3: Classificazione energetica degli pneumatici

Efficienza dei consumi. Gli pneumatici di classe A sono in grado di ridurre i consumi di ben il 7,5% rispetto a quelli di classe G. In un veicolo con un consumo medio di carburante di 6,6 l/100 km, ciò equivale in media a 0,5 l di carburante in meno per 100 km.

Aderenza sul bagnato. Rispetto agli pneumatici di classe F, gli pneumatici di classe A consentono di ridurre lo spazio di frenata di ben 18 m in caso di frenata da 80 km/h a 0 km/h in condizioni normali, il che equivale a una riduzione della distanza di frenata di circa il 30%.

Rumore di rotolamento. Il numero di strisce di colore nero (1, 2 o 3) all'interno del pittogramma simboleggia il rumore di rotolamento esterno.

- **3 strisce:** lo pneumatico rientra nei limiti previsti dall'UE fino al 2016;
- **2 strisce:** i valori limite validi a partire dal 2016 sono soddisfatti;
- **1 striscia:** si è al di sotto dei limiti previsti dall'Unione Europea che, a partire dal 2016, deve essere almeno di 3 dB.

Indice di velocità degli pneumatici. Classifica gli pneumatici secondo la loro velocità massima autorizzata. A ogni velocità massima è abbinata una lettera di riferimento. Le diverse categorie sono indicate nella **tab. 1**.

Vel. max. pneumatico in km/h	Simbolo velocità	Vel. max. pneumatico in km/h	Simbolo velocità
100	J	210	H
120	L	240	V
160	Q	270	W
180	S	300	Y
190	T	oltre 240	ZR

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Nel caso degli pneumatici estivi, le gomme devono essere conformi alla velocità massima specifica del veicolo (certificato di omologazione, parte I, voce T) comprensiva di una tolleranza:

$$V_{max} = V_{carta\ di\ circ.} + 0,01 \cdot V_{carta\ di\ circ.} + 6,5\ km/h$$

Nel caso degli pneumatici contrassegnati come invernali (M+S), è possibile utilizzare anche gomme con velocità massime consentite inferiori. In tal caso, occorre applicare un apposito adesivo in un punto visibile al conducente.

Indice di carico degli pneumatici (tab. 2). Classifica lo pneumatico in funzione del carico massimo ammesso alla normale pressione di gonfiaggio. Viene espresso con un codice numerico (LI, Load Index).

Misura pneumatico	LI			Reinforced (Extra Load)		
	LI	kg	bar	LI	kg	bar
185/70 R 14	88	560	2,5	92	630	2,9
195/65 R 15	91	615	2,5	95	690	2,9
205/50 R 16	87	545	2,5	91	615	2,9
305/30 R 19	98	750	2,5	102	850	2,9

La capacità di carico degli pneumatici dipende dal tipo di pneumatico, dalla velocità massima, dalla pressione, dal volume dello pneumatico e dalla campanatura. Deve essere adeguata al veicolo.

Gli pneumatici recanti la specifica Reinforced, XL o Extra Load possiedono una sottostruttura rinforzata, per cui sono in grado di sopportare carichi superiori con una pressione interna maggiore. Il Load Index (LI) di questi pneumatici è più elevato (tab. 2).

Esempio di classificazione degli pneumatici 305/30 ZR 19 (102 W) XL

305 larghezza nominale della sezione 305 mm
30 rapporto altezza-larghezza 30%
Z velocità massima consentita superiore a 240 km/h
R pneumatico radiale
19 diametro cerchione 19" (pollici)
102 capacità di carico 850 kg valevole fino a 240 km/h
W velocità massima 270 km/h
XL pneumatico con sottostruttura rinforzata

Classificazione doppia negli pneumatici Z. Per quanto riguarda la velocità, questo tipo di pneumatico ha una doppia classificazione (Z e W). La sigla tra parentesi indica che, a una velocità massima di 270 km/h (W), allo pneumatico è attribuito un Load Index pari a 102. Se il veicolo è omologato per velocità superiori, il produttore dello pneumatico deve rilasciare una nulla osta indicante la capacità di carico e la velocità consentite.

Riduzioni della capacità di carico (autovetture). Per gli pneumatici marcati V, W e Y, a partire da determinate velocità (210 km/h, 240 km/h, 270 km/h), occorre apportare una riduzione alla capacità di carico.

Aumento della pressione (autovetture). A partire da determinate velocità, la pressione interna delle gomme deve essere progressivamente aumentata, in modo tale da garantire la capacità di carico delle medesime. Per gli pneumatici marcati V, W e Y, tale operazione va eseguita a partire dalle seguenti velocità: 160 km/h (V), 190 km/h (W), 220 km/h (Y).

Esempio di pneumatici W (fig. 1). A partire da una velocità di 190 km/h, la pressione delle gomme viene aumentata di 0,1 bar ogni 10 km/h, fino a 240 km/h. Se la pressione iniziale è, come indicato nella **fig. 1**, 2,9 bar, la pressione a 240 km/h sarà di 3,4 bar. Qualora la velocità massima consentita del veicolo sia superiore a 240 km/h, ogni 10 km/h occorre ridurre del 5% la capacità di carico dello pneumatico. A 270 km/h lo pneumatico avrà, quindi, una capacità di carico pari a soli 722,5 kg.

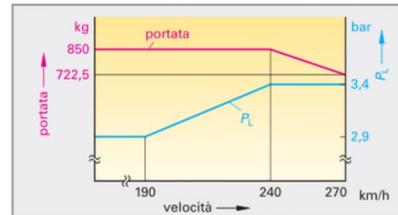


Figura 1: Capacità di carico e pressione dello pneumatico in funzione della velocità

Sezioni degli pneumatici (fig. 1)

A seconda del rapporto di sezione (altezza-larghezza), si distinguono i seguenti tipi di pneumatici: balloon (0,98:1), super balloon (0,95:1), a bassa sezione (0,88:1), a bassissima sezione (0,82:1), pneumatici da 70 (0,7:1), da 65 (0,65:1) fino a 25 (0,25:1). La diminuzione della sezione comporta un aumento del diametro del cerchione a parità di circonferenza di rotolamento. Gli pneumatici 225/60 R 15 e 315/30 R 18, per esempio, hanno all'incirca la medesima circonferenza di rotolamento.

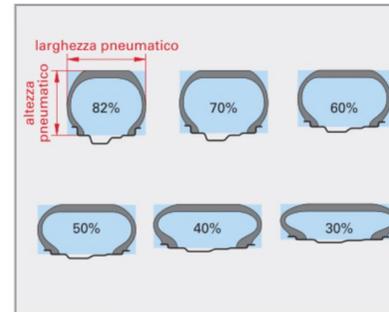


Figura 1: Forme di sezioni degli pneumatici (esempi)

Vantaggi dei rapporti di sezione inferiori a parità di circonferenza di rotolamento:

- montaggio di dischi del freno più grandi e più potenti, con una ventilazione migliore;
- superficie d'appoggio degli pneumatici maggiore, con conseguente migliore trazione su fondo asciutto (fig. 2);
- elevata stabilità laterale durante la sterzata in curva; generazione di elevate forze laterali già a piccoli angoli di deriva, di conseguenza possibilità di elevate velocità in curva;
- reazione più precisa ai movimenti di sterzata.

Svantaggi:

- ridotto molleggiamento proprio, riduzione del comfort;
- maggiore dispendio di forza durante la sterzata.

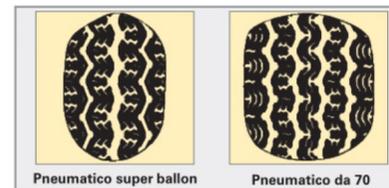


Figura 2: Superfici d'appoggio degli pneumatici

18.9.6 Forze agenti sullo pneumatico

Angolo di deriva

Quando su un veicolo in movimento agiscono delle forze perturbatrici (forza del vento, forza centrifuga), si crea un angolo di deriva tra cerchione e pneumatico. Le forze laterali agenti sulle superfici d'appoggio degli pneumatici si equilibrano con le forze perturbatrici.

L'angolo che si crea tra la direzione effettiva dello pneumatico e il piano del cerchione (senso longitudinale del cerchione) è detto angolo di deriva α (fig. 3).

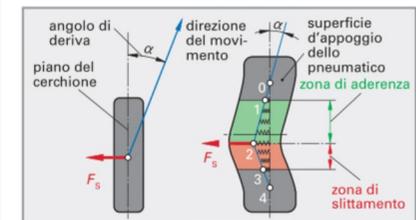


Figura 3: Angolo di deriva α

La generazione della forza laterale nello pneumatico avviene tramite la deformazione della superficie d'appoggio, per esempio in curva. Appena si crea l'angolo di deriva, il profilo dello pneumatico, che in rettilineo è sulla linea centrale dello stesso, si sposta sempre di più da tale linea (fig. 3).

Di conseguenza, nello pneumatico si crea una deformazione che sarà tanto più grande quanto più il profilo si è allontanato dalla linea centrale. La somma delle forze di aderenza corrisponde alla forza laterale F_s . Essa agisce sul baricentro della superficie d'appoggio deformata.

All'aumentare dell'angolo di deriva, nella zona posteriore dello pneumatico, si crea attrito radente e diminuisce la forza di aderenza. Nonostante ciò, la forza laterale aumenta, in quanto la zona di aderenza è ancora maggiore della zona di slittamento. Se l'angolo di deriva aumenta ulteriormente, la zona di slittamento diventa più grande della zona di aderenza e diminuisce la forza laterale.

Quando si percorre una curva, il carico sulle ruote esterne di un asse aumenta, mentre il carico sulle ruote interne diminuisce. Nella **fig. 1** di pag. 526 si vede che gli pneumatici più larghi sono in grado di generare elevate forze di reazione laterale persino a carichi molto elevati e ad elevate accelerazioni trasversali, aumentando quindi la tenuta in curva. Al contrario, negli pneumatici a bassissima sezione, per esempio 165/80 R 13, si ha addirittura una

diminuzione della forza di reazione laterale a partire da un determinato carico.

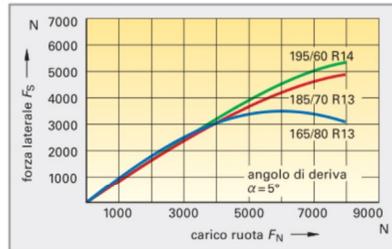


Figura 1: Generazione della forza laterale negli pneumatici radiali

Squilibrio - bilanciatura

A causa delle tolleranze di fabbricazione, la massa di una ruota che gira non è mai distribuita omogeneamente attorno al suo perimetro. Nei punti in cui c'è una massa maggiore si produce uno sbilanciamento, ossia si creano forze centrifughe che aumentano quanto più la massa e il regime di rotazione sono elevati (fig. 2).

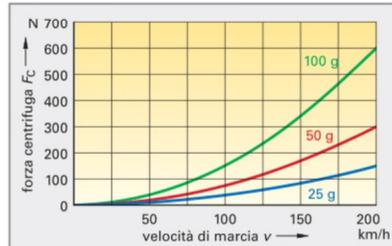


Figura 2: Forze centrifughe su uno pneumatico 195/65 R 15

Si distinguono due tipologie di squilibrio:

- statico;
- dinamico.

Squilibrio statico (fig. 3). Si verifica quando lo pneumatico presenta un punto più pesante (m_1). Il difetto può essere reso visibile facendo girare la ruota: il punto più pesante della ruota si arresterà in basso.

Equilibratura statica. Per far sì che la ruota si arresti in qualsiasi posizione, durante la rotazione, è necessario che la somma di tutti i momenti attorno all'asse di rotazione della ruota sia uguale a zero.

$$M_1 = M_2 \quad G_1 \cdot r_1 = G_2 \cdot r_2$$

Di fronte al punto più pesante della ruota va fissata, sul cerchione, una massa di compensazione m_2 con la forza peso G_2 , grande a tal punto da far sì che la coppia generatasi corrisponda a M_1 . La ruota è staticamente bilanciata (fig. 3).

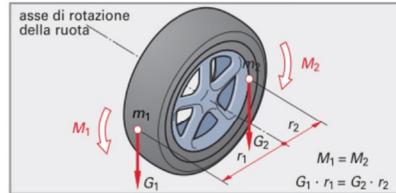


Figura 3: Equilibratura statica

Effetti dello squilibrio statico

Durante la marcia, la massa m_1 genera una forza centrifuga che, a velocità sostenute, comporta un saltellamento della ruota sul piano stradale. Ciò causa una difficoltà di controllo della sterzata e una maggiore usura del battistrada e delle sospensioni.

Squilibrio dinamico (fig. 4). In una ruota, la massa squilibrante m_1 raramente si trova sullo stesso piano della massa di compensazione m_2 fissata sul cerchione. Anche se la ruota è bilanciata staticamente, a numeri di giri maggiori le forze centrifughe creano su m_1 e m_2 un momento torcente trasversale rispetto all'asse, provocando la vibrazione della ruota. Essa, in questo caso, presenta uno squilibrio dinamico. Se la massa squilibrante m_1 si trova sul piano centrale della ruota, come illustrato nella fig. 4, soltanto la massa m_2 genera un momento torcente M_{C2} trasversale rispetto al suddetto piano.

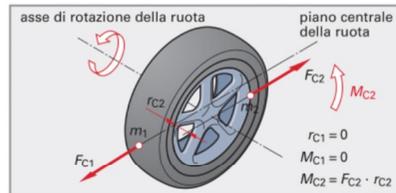


Figura 4: Squilibrio dinamico

Equilibratura dinamica (fig. 1, pag. 527). Fissando una seconda massa di compensazione m_3 sul lato interno del cerchione, il momento torcente M_{C3} compensa il momento torcente M_{C2} . La ruota è dinamicamente bilanciata. Le dimensioni e la posizione delle masse di compensazione m_2 e m_3 vengono determinate sull'equilibratrice in modo tale che le coppie agenti intorno all'asse di rotazione della ruota siano pari pressoché a zero ($M_1 = M_2 + M_3$). In caso contrario, la ruota saltellerebbe comunque nonostante il bilanciamento dinamico.

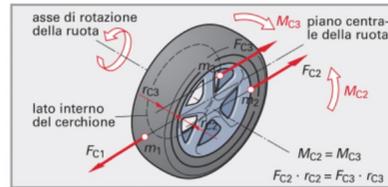


Figura 1: Equilibratura dinamica

Effetti dello squilibrio dinamico

La vibrazione della ruota, causata dallo squilibrio dinamico, comporta l'usura del battistrada, una maggiore difficoltà di controllo in sterzata e un'usura nettamente maggiore dei componenti delle sospensioni.

Altre cause di vibrazioni durante la marcia

Oltre allo squilibrio statico e dinamico, anche i seguenti fattori possono essere responsabili di una mancata fluidità durante la marcia:

- deformazione del cerchione;
- oscillazioni delle forze radiali agenti sullo pneumatico.

Le vibrazioni che ne conseguono permangono nonostante il corretto bilanciamento della ruota.

Deformazione del cerchione. È dovuto a un difetto di produzione. Nelle ruote per autovetture l'errore di coassialità non dovrebbe superare 1 mm, affinché non si avvertano vibrazioni durante la marcia.

Matching (fig. 2b). Con questo procedimento, lo pneumatico è ruotato sul cerchione finché il punto più alto di quest'ultimo non si trovi esattamente contrapposto al punto più pesante della gomma.

Oscillazioni delle forze radiali (fig. 2a). Se al suo interno lo pneumatico presenta punti di diversa durezza, durante la marcia esso si comprime in maniera non uniforme.

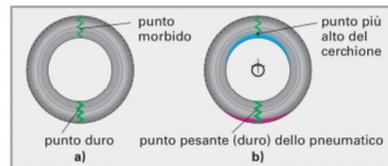


Figura 2: a) Oscillazioni delle forze radiali
b) Ottimizzazione della fluidità di marcia - matching

Ottimizzazione della fluidità di marcia (fig. 2b). Il punto più duro dello pneumatico è contrapposto al punto più alto del cerchione. Se il punto duro dello pneumatico è contemporaneamente anche il punto più pesante, come accade di frequente, durante il matching si effettua anche un'ottimizzazione della fluidità di guida.

18.9.7 Sistemi di controllo della pressione degli pneumatici

I sistemi di monitoraggio della pressione degli pneumatici (TPMS) individuano un'eventuale fuoriuscita d'aria dallo pneumatico e la segnalano tempestivamente al conducente.

Da novembre del 2014, tutte le autovetture (M_1) e tutti gli autocarri fino 3,5 t (N_1) di nuova immatricolazione in Europa devono essere provvisti di sistemi TPMS, ovvero di sistemi di controllo della pressione degli pneumatici (ECE-R64). Il regolamento ECE-R64 sancisce che, qualora la pressione d'esercizio di uno pneumatico cali del 20%, tale sistema deve attivare una spia di segnalazione entro massimo 10 minuti (fig. 3). La spia deve illuminarsi anche al raggiungimento della pressione minima di 150 kPa (1,5 bar). In caso di anomalia al sistema di controllo della pressione, la spia lampeggia all'accensione del quadro e resta accesa ininterrottamente per qualche secondo. Tale procedura si ripete ogni qualvolta si mette in moto il veicolo.



Figura 3: Legislazione europea in materia di TPMS

A bordo dell'autoveicolo, si utilizzano i seguenti tipi di sistemi di controllo della pressione degli pneumatici:

- sistemi a misurazione indiretta;
- sistemi a misurazione diretta.

Sistemi a misurazione indiretta

In caso di perdita di pressione, si riduce la circonferenza di rotolamento dello pneumatico, per cui aumenta il regime di rotazione rispetto agli altri pneumatici. Il regime di rotazione delle ruote è rilevato dai sensori dell'ABS o dell'ESP. Il conducente, tuttavia, viene informato soltanto nel momento in cui la differenza di pressione tra le gomme supera il 30%.

Sistemi a misurazione diretta

La pressione viene misurata direttamente sullo pneumatico da parte di appositi sensori. Le funzioni di questo sistema sono le seguenti:

- monitoraggio costante della pressione degli pneumatici a veicolo fermo e in marcia;
- segnalazione tempestiva al conducente in caso di perdita di pressione, pressione insufficiente e foratura dello pneumatico;
- riconoscimento automatico della ruota;
- diagnosi di sistema e componenti in officina.

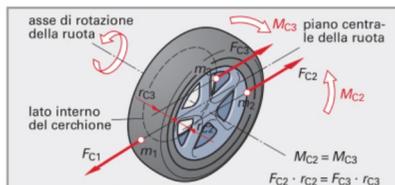


Figura 1: Equilibratura dinamica

Effetti dello squilibrio dinamico

La vibrazione della ruota, causata dallo squilibrio dinamico, comporta l'usura del battistrada, una maggiore difficoltà di controllo in sterzata e un'usura nettamente maggiore dei componenti delle sospensioni.

Altre cause di vibrazioni durante la marcia

Oltre allo squilibrio statico e dinamico, anche i seguenti fattori possono essere responsabili di una mancata fluidità durante la marcia:

- deformazione del cerchione;
- oscillazioni delle forze radiali agenti sullo pneumatico.

Le vibrazioni che ne conseguono permangono nonostante il corretto bilanciamento della ruota.

Deformazione del cerchione. È dovuto a un difetto di produzione. Nelle ruote per autoveicoli l'errore di coassialità non dovrebbe superare 1 mm, affinché non si avvertano vibrazioni durante la marcia.

Matching (fig. 2b). Con questo procedimento, lo pneumatico è ruotato sul cerchione finché il punto più alto di quest'ultimo non si trovi esattamente contrapposto al punto più pesante della gomma.

Oscillazioni delle forze radiali (fig. 2a). Se al suo interno lo pneumatico presenta punti di diversa durezza, durante la marcia esso si comprime in maniera non uniforme.

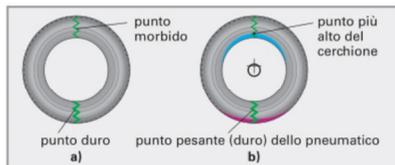


Figura 2: a) Oscillazioni delle forze radiali
b) Ottimizzazione della fluidità di marcia - matching

Ottimizzazione della fluidità di marcia (fig. 2b). Il punto più duro dello pneumatico è contrapposto al punto più alto del cerchione. Se il punto duro dello pneumatico è contemporaneamente anche il punto più pesante, come accade di frequente, durante il matching si effettua anche un'ottimizzazione della fluidità di guida.

18.9.7 Sistemi di controllo della pressione degli pneumatici

I sistemi di monitoraggio della pressione degli pneumatici (TPMS) individuano un'eventuale fuoriuscita d'aria dallo pneumatico e la segnalano tempestivamente al conducente.

Da novembre del 2014, tutte le autoveicoli (M₁) e tutti gli autocarri fino 3,5 t (N₁) di nuova immatricolazione in Europa devono essere provvisti di sistemi TPMS, ovvero di sistemi di controllo della pressione degli pneumatici (ECE-R64). Il regolamento ECE-R64 sancisce che, qualora la pressione d'esercizio di uno pneumatico cali del 20%, tale sistema deve attivare una spia di segnalazione entro massimo 10 minuti (fig. 3). La spia deve illuminarsi anche al raggiungimento della pressione minima di 150 kPa (1,5 bar). In caso di anomalia al sistema di controllo della pressione, la spia lampeggia all'accensione del quadro e resta accesa ininterrottamente per qualche secondo. Tale procedura si ripete ogni qualvolta si mette in moto il veicolo.

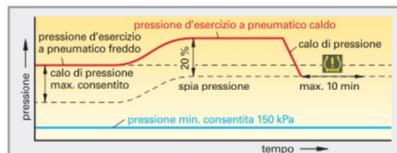


Figura 3: Legislazione europea in materia di TPMS

A bordo dell'autoveicolo, si utilizzano i seguenti tipi di sistemi di controllo della pressione degli pneumatici:

- sistemi a misurazione indiretta;
- sistemi a misurazione diretta.

Sistemi a misurazione indiretta

In caso di perdita di pressione, si riduce la circonferenza di rotolamento dello pneumatico, per cui aumenta il regime di rotazione rispetto agli altri pneumatici. Il regime di rotazione delle ruote è rilevato dai sensori dell'ABS o dell'ESP. Il conducente, tuttavia, viene informato soltanto nel momento in cui la differenza di pressione tra le gomme supera il 30%.

Sistemi a misurazione diretta

La pressione viene misurata direttamente sullo pneumatico da parte di appositi sensori. Le funzioni di questo sistema sono le seguenti:

- monitoraggio costante della pressione degli pneumatici a veicolo fermo e in marcia;
- segnalazione tempestiva al conducente in caso di perdita di pressione, pressione insufficiente e foratura dello pneumatico;
- riconoscimento automatico della ruota;
- diagnosi di sistema e componenti in officina.

Il sistema è composto da:

- un sensore di pressione per ciascuna ruota;
- antenne per il monitoraggio della pressione;
- quadro strumenti con display;
- centralina per il monitoraggio della pressione;
- selettore;
- spia.

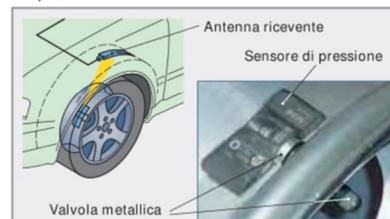


Figura 1: Sensore di pressione e antenna

Sensore di pressione. È avvitato alla valvola metallica (fig. 1) ed è riutilizzabile in caso di sostituzione dello pneumatico o del cerchione. In esso sono integrati anche un sensore della temperatura, un'antenna emittente, l'elettronica di misurazione e controllo e una batteria della durata di circa 7 anni. Poiché le pressioni di gonfiaggio cambiano in funzione della temperatura, nella centralina le

pressioni e le temperature rilevate sono normalizzate a 20 °C.

Per non distruggere il sensore in fase di cambio gomma, quest'ultima deve essere estratta dal lato opposto della valvola.

Centralina. Riceve dall'antenna emittente le seguenti informazioni:

- codice identificativo (codice ID) individuale, serve per il riconoscimento automatico della ruota;
- pressione di gonfiaggio e temperatura attuali;
- stato della batteria al litio.

La centralina analizza i segnali ricevuti dalle antenne di monitoraggio della pressione e visualizza sul display le informazioni per il conducente in base alla loro priorità, per esempio priorità 1, improvvisa perdita di pressione. In caso di sostituzione delle ruote, per esempio di scambio dall'asse anteriore a quello posteriore e viceversa, la centralina deve essere ricodificata con le nuove pressioni.

Riconoscimento automatico della ruota. I sensori appartenenti al veicolo vengono riconosciuti e memorizzati dalla centralina. Il riconoscimento avviene a veicolo in marcia, in modo tale da evitare interferenze da parte di sensori dei veicoli parcheggiati nelle vicinanze.

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

- Prima di smontare le ruote, bloccare il veicolo per impedirne il movimento.
- Utilizzare unicamente cerchioni adatti allo pneumatico usato (certificati CoC).
- Controllare se il cerchione e la ruota presentano crepe o danni. Eliminare la ruggine da ruote e cerchioni d'acciaio.
- Serrare i dadi o le viti di fissaggio con il momento torcente prescritto (coppia di serraggio).
- Controllare che gli pneumatici non siano danneggiati (pressione insufficiente, crepe provocate dall'ozono) né troppo vecchi.
- Rispettare la pressione prestabilita, onde evitare di ridurre la durata degli pneumatici e aumentare il consumo di carburante.
- Utilizzare sullo stesso asse unicamente pneumatici dello stesso tipo e con medesimo profilo.
- Dopo lo smontaggio, segnare la posizione delle ruote e conservarle in un luogo fresco, asciutto e buio.
- Non metterle in posizione verticale e non sovrapporre più di 4 pneumatici.
- Le ruote senza cerchione vanno posizionate in piano e girate di tanto in tanto.

DOMANDE DI RIPASSO

- 1 Quali sono i componenti di una ruota?
- 2 Quali tipi di cerchioni esistono?
- 3 Per quale motivo si utilizzano cerchioni con bordini di sicurezza hump?
- 4 Quali sono i vantaggi delle ruote in lega leggera?
- 5 Che cosa s'intende per circonferenza di rotolamento dinamica di un pneumatico?
- 6 Quali sono i vantaggi e gli svantaggi degli pneumatici con rapporti di sezione inferiori a parità di circonferenza di rotolamento?
- 7 Com'è strutturato uno pneumatico cinturato?
- 8 Che cosa s'intende per area di contatto?
- 9 Spiegate le seguenti sigle riferite a uno pneumatico: 195/65 R 15 86 T M + S.
- 10 Che cos'è un indicatore d'usura e com'è indicata la sua posizione sullo pneumatico?
- 11 Che cosa s'intende per angolo di deriva?
- 12 Per quale motivo è necessario bilanciare le ruote?
- 13 Che cosa s'intende per squilibrio dinamico?
- 14 Come può essere eliminata l'eccentricità?
- 15 Che cosa sono i sistemi di monitoraggio della pressione degli pneumatici?
- 16 Quali sono le funzioni dei sistemi di monitoraggio della pressione degli pneumatici e dove devono essere installati?
- 17 Quali sono i vantaggi dei sistemi di monitoraggio della pressione a misurazione diretta rispetto a quelli a misurazione indiretta?

18.10 I freni

I freni hanno il compito di rallentare, frenare e fermare un veicolo e di impedire un suo movimento da fermo. Durante la decelerazione, l'energia cinetica è trasformata in energia termica.

Impianti di frenatura

Freno di servizio (FS). Ha il compito di ridurre, se necessario, la velocità del veicolo fino, eventualmente, a fermarlo. Durante la frenata, il veicolo deve mantenere la sua direzione. Il freno di servizio è azionato in modo continuo con il piede (freno a pedale) e agisce su tutte le ruote.

Impianto frenante di soccorso (IFS). Ha il compito di sostituirsi all'impianto dei freni di servizio in caso di un guasto e di svolgere le stesse funzioni, ma con un effetto ridotto. Non è necessariamente un circuito supplementare. Questo impianto frenante può essere costituito, infatti, dal circuito del freno di servizio non interessato dal guasto oppure dal freno di stazionamento.

Freno di stazionamento (FSt). Ha il compito di impedire che un veicolo si metta in movimento quando questo si trova senza la marcia inserita su un piano inclinato. I suoi componenti, per motivi di sicurezza, devono avere un collegamento meccanico. In genere è azionato mediante leva manuale (freno a mano) o pedale ed è regolabile tramite tiranterie e comandi a cavi flessibili. Agisce sulle ruote di un solo assale.

Freno motore. In discesa, ha il compito di mantenere la velocità del veicolo a un valore prestabilito (terzo freno). È obbligatorio per gli autobus (cl. II/III) e altri veicoli con $m_{con} > 3,5$ t.

Sistema antibloccaggio (ABS). In fase di frenata, l'ABS misura automaticamente lo slittamento delle ruote, regola la pressione frenante e, quindi, evita un bloccaggio delle ruote. L'ABS è obbligatorio nei veicoli con $m_{con} > 3,5$ t.

Struttura di un impianto dei freni (fig. 1)

Un impianto dei freni è composto da:

- una fonte di energia;
- un dispositivo di azionamento;
- un dispositivo di trasmissione;
- eventuali dispositivi ausiliari per veicoli da rimorchio, per esempio dispositivo del freno di rimorchio;
- freno di stazionamento;
- freno di servizio;
- eventuale regolazione della forza frenante, per esempio ABS;
- freno delle ruote sugli assi anteriore e posteriore.

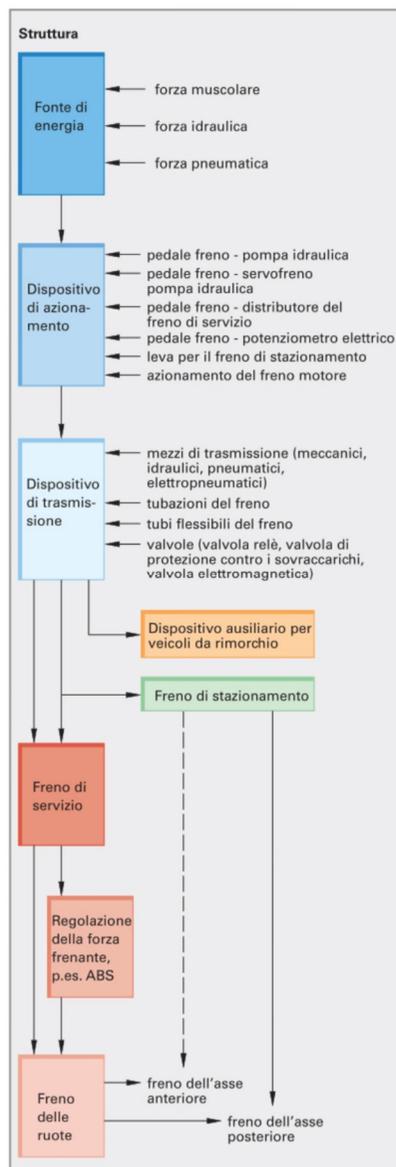


Figura 1: Struttura di un impianto di frenatura

Disposizioni legali (estratti)

Le disposizioni legali relative ai freni degli autoveicoli sono raccolte nel regolamento per l'immatricolazione, nelle direttive europee e nelle disposizioni regolamentari dell'UE.

Tabella 1: Classificazione degli autoveicoli (estratti)

L	Motocicli e tricicli
M	M ₁ Automobili con max. 9 posti incl. conducente
	M ₂ Station wagon con posti a sedere > 9 fino a un peso complessivo < 5 t
	M ₃ Station wagon con posti a sedere > 9 e peso complessivo > 5 t
N	N ₁ Autocarri con peso complessivo fino a 3,5 t
	N ₂ Autocarri con peso complessivo > 3,5 t fino a 12 t
	N ₃ Autocarri con peso complessivo > 12 t
O	O ₁ Rimorchi e semirimorchi fino a 750 kg
	O ₂ Rimorchi e semirimorchi da 750 kg a 3,5 t
	O ₃ Rimorchi e semirimorchi da 3,5 t a 10 t
	O ₄ Rimorchi e semirimorchi oltre 10 t

Impianti frenanti prescritti

Gli autoveicoli appartenenti alle classi M e N devono essere dotati di due impianti frenanti indipendenti (IFS, IFSt) oppure di un unico impianto frenante con due dispositivi di azionamento indipendenti. Ognuno deve poter funzionare anche nel caso in cui l'altro sia difettoso. Uno dei due impianti frenanti deve avere un funzionamento meccanico e impedire che il veicolo si metta in movimento durante lo stazionamento (IFSt). Se possono essere frenate più di due ruote, è consentito l'utilizzo in comune delle superfici di frenatura e dei dispositivi meccanici di trasmissione. Gli autoveicoli appartenenti alle classi M_{2/3} e N_{2/3} e con una velocità massima determinata dal modello costruttivo superiore a 60 km/h devono essere dotati di ABS.

Freno motore (RREG 71/320 CEE). Gli autoveicoli della classe M₃, a partire da un peso complessivo di 5,5 t (eccetto gli autobus urbani) e i veicoli della classe N_{2,3}, a partire da un peso complessivo consentito di 3,5 t, devono possedere un freno motore per lunghi percorsi in discesa. Tale impianto deve sostenere una sollecitazione corrispondente a quella che si crea percorrendo 6 km con una pendenza del 6% a una velocità di 30 km/h.

Luci di arresto. L'azionamento del freno di servizio, nei veicoli delle classi L ($v_{max} > 50$ km/h), M, N e O, deve essere visibile posteriormente attraverso due luci d'arresto rosse. I veicoli appartenenti alla classe M₁ possono essere dotati di una terza luce d'arresto, posizionata centralmente sulla parte posteriore del veicolo, e divenuta nel frattempo obbligatoria per tutti i veicoli immatricolati dopo il 1/1/2000.

Controllo degli autoveicoli e dei rimorchi

I proprietari di autoveicoli e rimorchi sono obbligati a verificare, a proprie spese e a determinati intervalli di tempo, se i veicoli sono a norma. Si distingue a tale proposito tra revisioni e controlli.

Revisioni: si controlla la sicurezza su strada.

Controlli di sicurezza (CS): i componenti di telaio e carrozzeria vengono sottoposti a un controllo visivo e funzionale completo (freni, sterzo, pneumatici).

Tabella 2: Tipo di controlli e loro cadenza (esempi)

Classe autoveicoli	Intervallo rev.	Mesi CS
L	24	-
M ₁	24 (36)	-
M ₁ trasporto persone (taxi, auto a noleggio)	12	-
M ₂ , M ₃ 1° anno	12	-
2° e 3° anno	12	6
dal 4° anno	12	3
N ₁	24	-
N ₂ , N ₃	24	6
O ₁ fino a 750 kg	24 (36)	-
O ₂ > 750 kg fino a 3,5 t	24	-
O ₃ > 3,5 t fino a 10 t	12	-
O ₄ > 10 t	12	6

I valori () valgono per la prima revisione dopo l'immatricolazione del veicolo.

Frenata minima (tab. 3). La frenata minima può essere calcolata a partire dai dati di misura rilevati sul banco di collaudo dei freni. Il carico del veicolo si calcola moltiplicando la massa complessiva (parte I, campo F2) per $g = 9,81$ m/s². Formula:

$$z = \frac{\text{somma delle forze di frenata sulle ruote}}{\text{massa complessiva}} \times 100\%$$

Tabella 3: Coefficiente di frenatura minimo z in %

Classe autoveicoli	IFS	IFSt
M ₁ auto, immatricolate prima del 28/7/10	50	16
M ₁ auto, immatricolate dopo il 28/7/10	58	16
M ₂ , M ₃ station wagon	50	16
N ₁ autocarri fino a 3,5 t di peso compless.	50	16
N ₂ , N ₃ autocarri > 3,5 t peso imm. prima 28/07/10	45	16
N ₂ , N ₃ autocarri > 3,5 t peso imm. dopo 28/07/10	50	16

Tipi di impianti frenanti (classificati secondo il tipo di fonte energetica)

Freno a forza muscolare. La forza frenante viene esercitata dal conducente e moltiplicata attraverso una trasmissione meccanica e/o idraulica.

Servofreno. Oltre all'impianto a forza muscolare, la forza frenante è incrementata attraverso altre fonti di energia (depressione, pressione idraulica, aria compressa).

Freno ad aria compressa. Il conducente gestisce soltanto la forza frenante, ma non genera l'energia di frenata (aria compressa).

Freno a inerzia. Frenando la motrice, il rimorchio si avvicina per effetto della propria inerzia (spinta d'inerzia). Tramite la tiranteria, sul freno della ruota del rimorchio si genera energia frenante.

Tipologie di trasmissione dell'energia

Trasmissione meccanica, tramite pedali, leve, tiranterie e comandi a cavi flessibili. Esempi: freno di stazionamento delle automobili, freno a inerzia dei rimorchi.

Trasmissione idraulica attraverso la pressione di un liquido nel circuito frenante. Esempio: freno di servizio dei veicoli industriali.

Trasmissione pneumatica attraverso l'aria compressa nel circuito frenante. Esempio: freno di servizio dei veicoli industriali.

Trasmissione elettrica, tramite cavi elettrici, campo magnetico di un freno elettrodinamico. Esempio: freno motore dei veicoli industriali.

18.10.1 Processo di frenatura

Dinamica della frenata

In fase di frenatura, la decelerazione ha un effetto ritardato che interviene solo dopo l'individuazione di un ostacolo. La durata complessiva (tempo di arresto t_A) di una frenata è data dalla somma tra tempo di reazione t_R e tempo di frenata t (fig. 1).

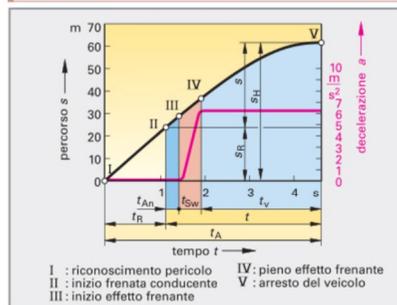


Figura 1: Dinamica della frenata

Tempo di reazione t_R . È il tempo che intercorre tra il riconoscimento di un pericolo e l'azionamento del pedale del freno da parte del conducente (reazione). Dipende in larga misura dalle condizioni psico-fisiche di quest'ultimo. Il consumo di alcol o droghe, ma anche la stanchezza contribuiscono ad allungarlo notevolmente.

Tempo di frenata t . La somma tra tempo di risposta, tempo di incremento della pressione e tempo di decelerazione è definita tempo di frenata t .

Tempo di risposta t_{An} . È dovuto ai giochi del sistema frenante, per esempio per la corsa a vuoto del pedale o per la presenza di aria.

Tempo di incremento della pressione t_{Sw} . Durante questo lasso temporale la pressione nell'impianto frenante aumenta e si raggiunge la decelerazione di frenata desiderata.

Tempo di decelerazione t_v . La decelerazione di frenata rimane costante fino all'arresto del veicolo.

Distanza di frenata

La distanza di frenata dipende principalmente dalla velocità del veicolo. Il raddoppio della velocità comporta, a parità di condizioni, una distanza di frenata quattro volte superiore.

Tra gli ulteriori fattori che incidono sulla distanza di frenata, si annoverano:

- condizioni del fondo stradale, asciutto, bagnato, ghiacciato;
- condizioni degli pneumatici, spessore del battistrada, pressione degli pneumatici;
- condizioni dei freni, usurati, duri, danneggiati, corrosi;
- condizioni dell'asfalto, bagnato, ghiacciato, oleoso;
- tipo di freno, a tamburo o a disco, freno ad aria compressa, SBC;
- peso del veicolo, ripartizione del peso, con rimorchio;
- condizioni degli ammortizzatori.

18.10.2 Freno idraulico

Struttura. L'impianto frenante idraulico (fig. 2) si compone di un pedale del freno, della pompa tandem con servofreno, di un sistema di tubazioni con eventuale limitatore di frenata, dei cilindretti dei freni e dei freni delle ruote.

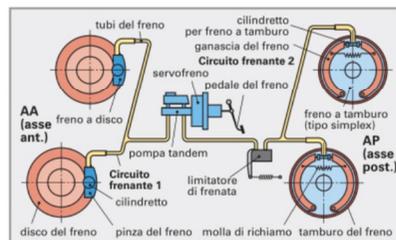


Figura 2: Impianto frenante idraulico

Freni delle ruote. Tutte le ruote sono dotate, in generale, di freni a disco. Nei veicoli di vecchia data e di piccole dimensioni, le ruote posteriori hanno anche un freno a tamburo. Per motivi di sicurezza, la legge prescrive un impianto frenante a due circuiti

indipendenti tra loro con una pompa tandem. In caso di guasto di uno dei circuiti frenanti, il veicolo può essere frenato con l'altro circuito.

Funzionamento. Il funzionamento del freno idraulico si basa sulla legge di Pascal.

La pressione esercitata su un liquido racchiuso in un contenitore si trasmette in tutte le direzioni con la medesima intensità.

La forza con cui il pedale del freno preme sul pistone della pompa tandem genera una pressione all'interno del circuito idraulico che, agendo sulle tubazioni del freno, produce la forza frenante (forza d'appoggio della pastiglia sulla superficie del disco). Il principio di trasmissione idraulica delle forze implica in genere una moltiplicazione delle medesime (fig. 1). Le forze sono proporzionali alle superfici dei pistoni: una superficie maggiore genera una forza più grande. Lo spostamento dei pistoni, invece, è inversamente proporzionale alla forza: una forza di azionamento pari a 1000 N, con un'escursione dei pistoni di 8 mm nella pompa tandem dei quattro cilindretti delle ruote, genera una forza complessiva pari a 4000 N e una corsa di ciascun pistone pari a 2 mm. Il lavoro ($W = F \cdot s$) sulla pompa tandem e sui cilindretti delle ruote è pertanto identico.

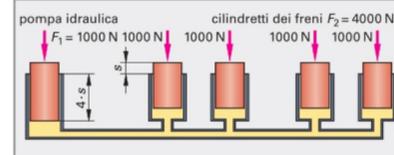


Figura 1: Schema del principio idraulico

Il freno idraulico è in grado di lavorare a pressioni molto elevate, fino a circa 180 bar, consentendo di utilizzare pistoni di dimensioni ridotte. Il freno idraulico non richiede manutenzione per un periodo di tempo abbastanza prolungato. Dato che il liquido per freni non può essere compresso e dato che i giochi di ventilazione sono molto ridotti, si muovono soltanto piccolissime quantità di liquido; l'aumento della pressione è rapido e i freni reagiscono velocemente.

18.10.3 Suddivisione del circuito frenante

I freni di servizio di tipo idraulico sono suddivisi in 2 circuiti: se uno si guasta, l'altro fornisce comunque un effetto frenante sufficiente. Si distinguono 5 modalità differenti (tab. 1).

Nei veicoli provvisti di ABS, si utilizzano in genere suddivisioni del circuito frenante TT (a doppia T) e X (diagonale).

Tabella 1: Suddivisioni del circuito frenante

Sigla	Caratteristiche
TT	Suddivisione assale anteriore/posteriore. Ogni circuito agisce su un assale. In caso di trazione posteriore con ABS (a doppia T).
X	Suddivisione diagonale. Ogni circuito agisce su una ruota ant. e sulla ruota post. all'estremo opposto della diagonale. Trazione integrale e anter. con ABS e braccio a terra negativo.
HT	Un circuito frenante agisce sull'assale anteriore e posteriore, l'altro solo su quello anteriore. Utilizzato di rado (4-2)
LL	Ogni circuito frenante agisce sull'assale ant. e su una ruota post. (triangolo). Utilizzato di rado.
HH	Ogni circuito frenante agisce sull'assale anteriore e posteriore. Utilizzato di rado.

18.10.4 Pompa idraulica

Si utilizzano esclusivamente pompe tandem, essendo obbligatori due circuiti frenanti indipendenti l'uno dall'altro. Viene azionata dal pedale del freno tramite il servofreno.

Compiti

- Aumento rapido della pressione in ogni circuito frenante.
- Riduzione rapida della pressione per permettere di liberare rapidamente il disco freni.
- Compensazione del volume del liquido freni in caso di aumento o diminuzione della temperatura e di usura delle pastiglie.

Struttura

La pompa tandem (fig. 1, pag. 533) contiene due pistoni disposti in serie: il pistone primario e il pistone secondario. All'interno del corpo della pompa, essi creano due camere di pressione separate. Entrambi i pistoni sono realizzati come doppi pistoni, ossia tra la parte anteriore e quella posteriore, che assicurano l'ermeticità, si trova una camera circolare, che è costantemente alimentata dal liquido dei freni attraverso il foro di alimentazione. Sulla parte anteriore di ogni pistone è montata la guarnizione primaria che assicura la tenuta ermetica della camera a pressione. La guarnizione secondaria assicura l'ermeticità verso l'esterno.

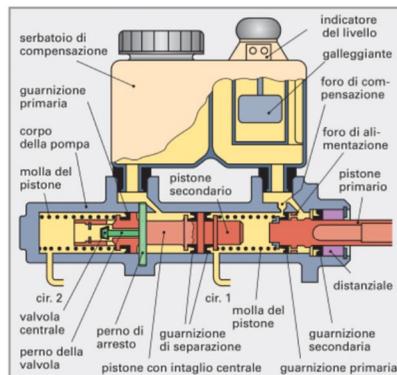


Figura 1: Pompa tandem

La parte posteriore del pistone secondario è munita di guarnizioni di separazione che isolano ermeticamente i due circuiti. Il pistone secondario ha un intaglio, nella cui parte anteriore sbocca un foro in cui si trova la valvola centrale. Un perno d'arresto attraversa l'intaglio del pistone secondario e lo aggancia al corpo della pompa, costituendo in tal modo l'arresto anteriore e posteriore.

Valvola centrale. È utilizzata nei veicoli con ABS e assolve la funzione del foro di compensazione. Esistono anche pompe tandem che hanno una valvola centrale su entrambi i pistoni.

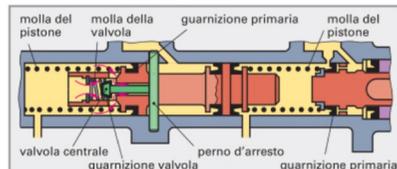


Figura 2: Posizione di riposo

Funzionamento

Posizione di riposo. Le molle dei pistoni spingono i pistoni in battuta. La guarnizione primaria sul pistone primario libera il foro di compensazione, mentre il pistone secondario si sposta davanti al perno d'arresto. La valvola centrale (fig. 2) è aperta dal perno della valvola in essa posizionato, assumendo la funzione del foro di compensazione. Entrambe le camere a pressione sono a questo punto collegate al serbatoio di compensazione e il volume del liquido freni può essere compensato, per esempio in caso di aumento o diminuzione della temperatura. Se il foro di compensazione è chiuso, per esempio a causa di un'errata regolazione del puntalino del pistone primario oppure a causa

della sporcizia, non è possibile compensare il liquido freni. Se il liquido dei freni, in seguito al suo riscaldamento, si espande, si sviluppa un'azione autofrenante che aumenta progressivamente fino al bloccaggio dei freni.

Azionamento del freno. Durante la frenata, la guarnizione primaria (fig. 3) copre il foro di compensazione sul pistone primario rendendo ermetica in tal modo la camera a pressione. Una rondella impedisce che la guarnizione primaria entri nei fori di riempimento, evitando che si danneggi. A questo punto, il liquido freni sposta leggermente il pistone secondario. Il perno d'arresto libera il perno della valvola e la valvola centrale si chiude. In entrambi i circuiti frenanti aumenta la pressione.

Vantaggi della valvola centrale

- Maggiore durata della guarnizione primaria, dal momento che il labbro di tenuta non può essere danneggiato dal foro di compensazione.
- Nei sistemi con ABS, in caso di intervento dell'ABS si genererebbero picchi di pressione che, in fase di riflusso, premerebbero la guarnizione primaria nei fori di compensazione, danneggiandola.

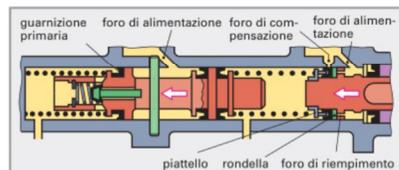


Figura 3: Freno azionato

Rilascio del freno. Durante il rilascio del freno, la pressione del liquido e le molle dei pistoni riportano i pistoni nella loro posizione originale. La guarnizione primaria del pistone primario si stacca, la rondella si deforma e il liquido freni esce dalla camera circolare e passa attraverso i fori di riempimento nella camera a pressione che sta aumentando di volume (fig. 4). Il pistone secondario si ritrae. Le camere a pressione vengono collegate al serbatoio di compensazione per mezzo della valvola centrale e del foro centrale. La pressione si riduce e i freni si allentano.

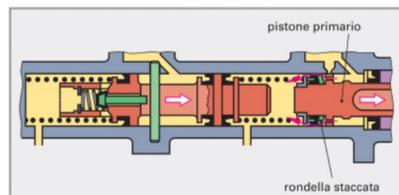


Figura 4: Freno a riposo

Guasto del circuito 1 (fig. 1)

Il pistone primario è spinto fino all'arresto sul pistone secondario. La forza di azionamento, a questo punto, agisce direttamente sul pistone del secondo circuito intatto, dove genera la pressione di frenata.

Guasto del circuito 2 (fig. 1)

Il pistone secondario è spinto in avanti, fino al suo arresto, dalla pressione del liquido del circuito 1. Esso va a isolare il circuito 1 intatto rispetto al circuito 2 guasto. Nel circuito 1 avviene, a questo punto, l'aumento della pressione.

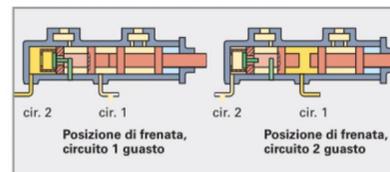


Figura 1: Guasto a un circuito frenante

Pompa tandem graduata (fig. 2). Questa pompa idraulica è stata sviluppata per impianti TT (a doppia T) con una suddivisione del circuito frenante in due circuiti: uno dell'assale anteriore e uno dell'assale posteriore. I diametri dei cilindri sono graduati, ossia il diametro del pistone secondario, che agisce sul circuito frenante dell'assale posteriore, è minore del diametro del pistone primario che agisce sull'assale anteriore. Quando l'impianto freni è efficiente, nei due circuiti si ha la stessa pressione. In seguito al diametro maggiore del pistone primario nel circuito dell'assale anteriore, in frenata si sposta un volume di liquido maggiore, facendo sì che la risposta dei freni sia più rapida. Se il circuito interrotto è il primo (assale anteriore), in fase di frenata il pistone primario viene spinto su quello secondario, sul quale a questo punto agisce direttamente la forza del pistone. La corsa del pedale si allunga e, nel secondo circuito (assale posteriore), si genera una pressione più alta, pur mantenendo la stessa forza sul pedale, dal momento che il diametro del pistone secondario è inferiore. In caso di avaria del primo circuito, quindi, i freni dell'assale posteriore producono, comunque, un effetto frenante sufficiente.

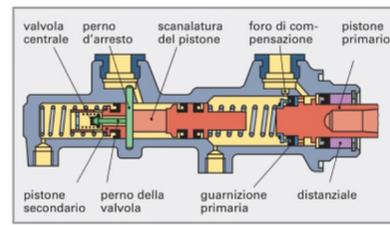


Figura 2: Pompa tandem graduata con valvola centrale

Pompa tandem con molla del pistone vincolata

A riposo, la molla di compressione vincolata da una vite mantiene il pistone primario e secondario alla medesima distanza (fig. 3).

Nel momento in cui viene azionato il freno, la pressione si genera contemporaneamente nei due circuiti poiché i fori di compensazione sono coperti in parallelo. A mano a mano che la pressione sale, il pistone secondario non è più azionato dalla molla, bensì dalla pressione del liquido dei freni.

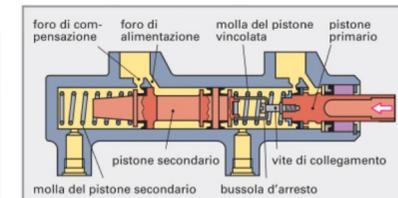


Figura 3: Pompa tandem con molla del pistone vincolata

18.10.5 Freno a tamburo

Attualmente, i freni a tamburo (fig. 4) sono utilizzati soprattutto come freni per le ruote posteriori delle automobili oppure per i veicoli industriali.

Struttura e funzionamento

Il tamburo del freno è solidale con il mozzo della ruota. I ceppi e i dispositivi che producono la forza di serraggio si trovano sulla piastra portaceppi, la quale a sua volta è fissata alle sospensioni dell'assale delle ruote. Durante la frenata, il dispositivo di serraggio preme i ceppi con le relative pastiglie contro il tamburo del freno, producendo in tal modo l'attrito necessario. La forza di serraggio può essere generata idraulicamente tramite i cilindretti del freno (freno di servizio) oppure meccanicamente, tramite comando a cavo flessibile e leva di serraggio (freno di stazionamento).

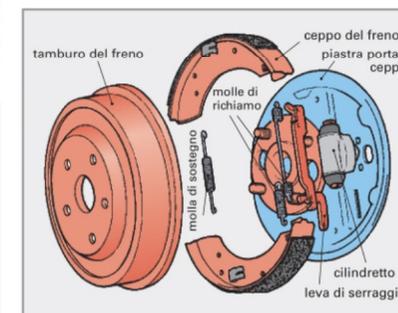


Figura 4: Componenti del freno a tamburo

Caratteristiche

- Effetto servo.
- Guarnizioni d'attrito protette dall'infiltrazione di impurità.
- Realizzazione più semplice del freno di stazionamento.
- Minore usura delle guarnizioni d'attrito.
- Sostituzione delle guarnizioni più complesse e manutenzione più onerosa.
- Cattiva dissipazione del calore.
- Tendenza al fading.

Tipi

A seconda della modalità di azionamento e del supporto dei ceppi, a titolo esemplificativo, si distinguono in:

- freno tipo simplex;
- freno duo-servo;

Freno simplex (fig. 2). Ha un **ceppo primario** e un **ceppo secondario**. Il serraggio dei ceppi è possibile, per esempio, grazie a un **cilindretto a doppio effetto**, una camma a S, un dispositivo conico o una leva. Ogni ceppo ha un punto di rotazione o di appoggio fisso. I freni tipo simplex hanno una forza di frenata uniforme sia a marcia avanti sia in retromarcia, ma hanno un ridotto effetto servo (fig. 1). L'usura delle pastiglie è maggiore sul ceppo primario. La realizzazione del freno di stazionamento è semplice.

Freno duo-servo (fig. 3). L'effetto servo del ceppo primario, autoserrante, è utilizzato per azionare il ceppo secondario, anch'esso autoserrante. Il **supporto è flottante** ed è costituito dal **cilindretto a doppio effetto**. La forza frenante è uguale in entrambi i sensi di marcia. Tale tipo di freno è spesso utilizzato come freno di stazionamento (fig. 6). In tal caso, il cilindretto è sostituito da un sistema di comando ad espansione azionato da un dispositivo a cavo flessibile.

Effetto servo (fig. 4). L'attrito genera una coppia che spinge il ceppo primario nel tamburo e amplifica l'effetto frenante. L'effetto servo è espresso dall'indice di frenata C (fig. 1). La pressione del ceppo secondario diminuisce.

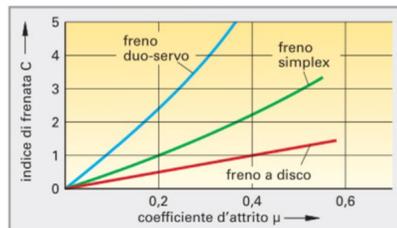


Figura 1: Indice di frenata C

Fading. È la diminuzione dell'effetto frenante a causa del surriscaldamento, per esempio durante una frenata prolungata. Il coefficiente d'attrito della pastiglia diminuisce alle alte temperature oppure ad elevate velocità di scorrimento. Il tamburo, inoltre, può deformarsi in maniera irregolare, a cono, in quanto il calore è asportato meglio in vicinanza del mozzo della ruota. In tal caso, la superficie frenante si riduce.

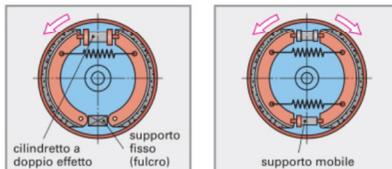


Figura 2: Freno simplex

Figura 3: Freno duo-servo

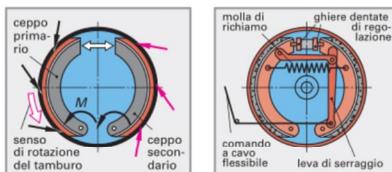


Figura 4: Effetto servo del freno a tamburo

Figura 5: Dispositivo di serraggio del freno di stazionamento

Dispositivi di serraggio

Hanno il compito di chiudere e di aprire i ceppi durante la frenata e di premerli contro il tamburo. Nei freni idraulici, in genere, si utilizzano dei cilindretti (fig. 1, pag. 536), mentre nei freni di stazionamento meccanici si usano leve di serraggio (fig. 5) o comandi ad espansione (fig. 6).

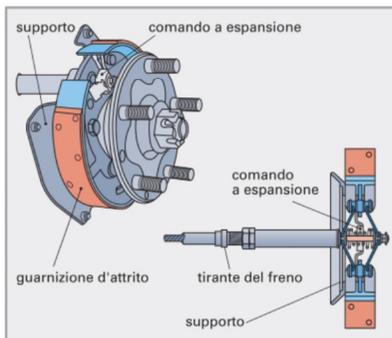


Figura 6: Freno di stazionamento nella tazza del disco

Cilindretto

Nel cilindretto a doppio effetto (fig. 1), la pressione generata nella pompa idraulica agisce sui pistoncini e produce la forza di serraggio. I pistoncini sono dotati di guarnizioni di gomma. La protezione contro la sporcizia è garantita da appositi coperchi parapolvere. Sul lato posteriore del cilindretto si trovano dei fori filettati per il fissaggio sulla piastra portaceppi e per il collegamento alle tubazioni del freno. Sul punto più alto, è avvitata una valvola di spurgo.

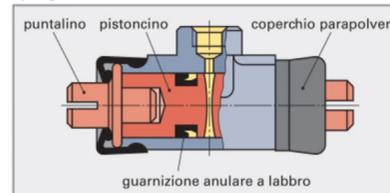


Figura 1: Cilindretto a doppio effetto

Freno a tamburo (fig. 4, pag. 534)**Caratteristiche**

- Elevata resistenza all'usura.
- Minima deformazione grazie alla rigidità della struttura.
- Buona conduzione termica.

Materiali

- Ghisa a grafite lamellare.
- Ghisa malleabile.
- Ghisa sferoidale.
- Acciaio fuso.
- Ghisa con leghe leggere.

Il tamburo deve essere centrato e la sua superficie d'appoggio sul mozzo deve essere piana. La superficie frenante è tornita o rettificata.

Ceppi (fig. 4, pag. 534)

La loro rigidità deriva dal profilo a T. Il materiale impiegato è lamiera d'acciaio o lega leggera. Su un'estremità presentano una superficie di contatto per il puntalino, in genere intagliato, del cilindretto. L'altra estremità è collocata su un perno oppure scorre lungo il supporto fisso. In tal modo, i ceppi si centrano nel tamburo, aderiscono meglio e l'usura delle guarnizioni d'attrito diventa più regolare.

Dispositivi di regolazione

L'usura delle guarnizioni aumenta progressivamente il gioco di ventilazione fra la guarnizione e il tamburo. In tal modo, aumenta anche la corsa a vuoto del pedale. Per tale motivo, i freni devono essere periodicamente regolati manualmente o mediante dispositivi automatici.

DOMANDE DI RIPASSO

- 1 Qual è il compito dei freni?
- 2 Quali tipi di impianti frenanti si distinguono (a seconda del tipo di utilizzo)?
- 3 Spiegate la struttura di un impianto frenante idraulico.
- 4 Quali sono gli impianti frenanti prescritti per le classi di veicoli M e N?
- 5 Quali tipi di impianti frenanti si distinguono a seconda della modalità di azionamento?
- 6 Quali sono i compiti della pompa idraulica?
- 7 Qual è l'azione della guarnizione primaria?
- 8 Quali sono i compiti della valvola centrale?
- 9 In che modo lavora la pompa tandem in caso di guasto a un circuito frenante?
- 10 Qual è il vantaggio delle pompe idrauliche graduate?
- 11 Quali sono le suddivisioni del circuito frenante?
- 12 Quali caratteristiche presentano i freni a tamburo?
- 13 Indicate le caratteristiche distintive dei diversi tipi di freni a tamburo.
- 14 Che cosa s'intende per fading?

18.10.6 Freno a disco

I freni a disco possono essere a **pinza fissa** o a **pinza flottante** (fig. 2). La pinza contiene dei pistoncini che, durante la frenata, premono le pastiglie contro il disco.

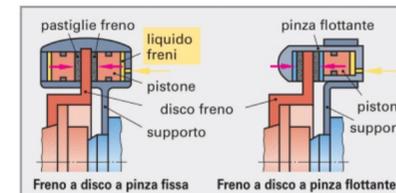


Figura 2: Freni a disco

Caratteristiche

- Nessun effetto servo a causa delle superfici frenanti piane. Sono necessari, di conseguenza, maggiori forze di contatto e, quindi, dei cilindri del freno con un diametro maggiore (40 - 50 mm) rispetto a quello dei cilindretti del freno a tamburo, come pure un servofreno.
- La forza frenante è facilmente modulabile, in quanto non si producono oscillazioni della forza frenante a causa della mancanza dell'effetto servo e della stabilità del coefficiente di attrito.
- Buon raffreddamento.
- Tendenza al fading ridotta.
- Maggiore usura delle pastiglie a causa delle elevate forze d'attrito.
- Facilità di manutenzione e sostituzione delle pastiglie.

- Regolazione automatica del gioco di ventilazione.
- Maggiore riscaldamento del liquido freni, in quanto le pastiglie aderiscono al pistone del freno. Rischio di formazione di bolle di vapore.
- La forza centrifuga garantisce una "pulizia automatica" del freno a disco.
- Migliore asportazione del calore grazie alla ventilazione interna dei dischi freno.
- Ridotta tendenza al fading nel caso di dischi forati o fessurati.
- Disposizione relativamente complicata del freno di stazionamento.

Tipi di freno a disco

Freno a disco a pinza fissa. In genere, i freni a disco a pinza fissa possono essere a due e a quattro pistoncini (fig. 1).

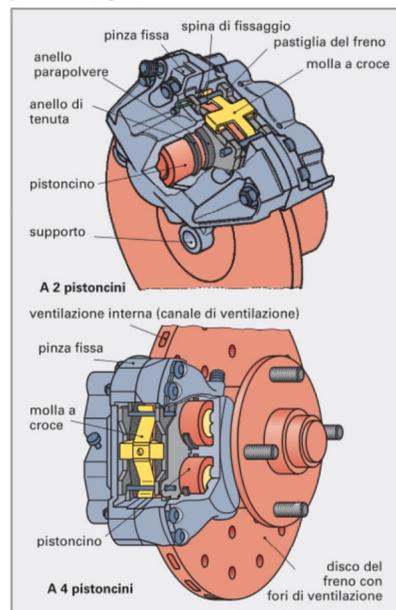


Figura 1: Freno a disco a pinza fissa

Il supporto fisso dei cilindretti (pinza fissa) è fissato al fusello delle sospensioni e si innesta come una pinza intorno al disco del freno. Esso è suddiviso in due corpi. Ogni corpo contiene uno o più cilindretti, disposti a coppie gli uni di fronte agli altri. I cilindretti contengono i pistoncini del freno con l'anello di tenuta, l'anello parapolvere e l'anello di bloccaggio. Dei canali collegano i cilindretti tra di

loro. Sulla parte superiore della pinza si trova lo spurgo. Durante la frenata, i pistoncini spingono i cilindretti contro le pastiglie, che a loro volta vanno a premere su entrambi i lati del disco del freno.

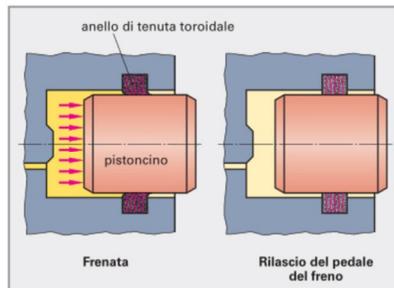


Figura 2: Regolazione automatica del gioco

Regolazione automatica del gioco (fig. 2). In una scanalatura del cilindretto si trova un anello di gomma (anello toroidale) che isola il pistoncino. Il diametro interno di tale anello è appena più piccolo del diametro del pistoncino. Per tale motivo, l'anello avvolge il pistoncino con una leggera tensione. Durante la frenata, il movimento del pistoncino verso l'esterno e l'attrito statico dell'anello di tenuta inducono una deformazione elastica di quest'ultimo. A seguito di questa deformazione elastica, con il rilascio del pedale del freno e la conseguente caduta di pressione all'interno del circuito idraulico, l'anello aiuta il pistone a tornare alla sua posizione di riposo. La distanza per la quale il pistoncino viene ritratto è detto **gioco di ventilazione** ed è di circa 0,15 mm, sufficienti a liberare il freno a disco. Ciò è possibile soltanto se nel circuito non resta alcuna pressione e se pistoni e pastiglie non sono bloccati nelle rispettive sedi.

Molla a croce. Fa aderire le pastiglie ai pistoncini, evitando così il loro sfarfallamento ed il conseguente battito.

Freno a disco a pinza flottante (fig. 1, pag. 538). È costituito da due parti principali: il supporto e la pinza flottante. Presenta le seguenti caratteristiche:

- peso ridotto;
- dimensioni ridotte;
- buona dissipazione del calore;
- grandi superfici delle pastiglie;
- minore ingombro;
- ridotta tendenza alla formazione di bolle di vapore, in quanto sul lato del supporto si trovano soltanto uno o due pistoncini;
- guide della scatola che necessitano di poca manutenzione, essendo insensibili a impurità e corrosione.

Supporto. È fissato al fusello della sospensione. In esso viene guidata la pinza. Ci sono diversi tipi di guida per i freni a disco a pinza flottante, per esempio:

- guida dentata;
- guida a perno;
- guida a perno dentata;
- guida a perno con pinza flottante.

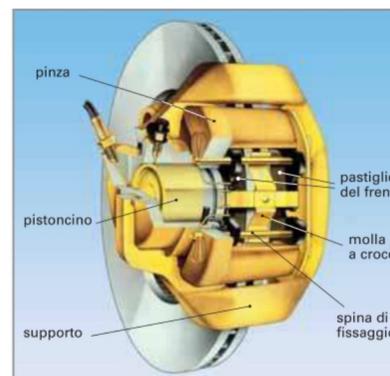


Figura 1: Freno a disco a pinza flottante con guida dentata

Freno a disco a pinza flottante con guida dentata (fig. 1)

Supporto. Il supporto è dotato di due denti su entrambi i lati.

Pinza. La pinza è alloggiata in modo scorrevole con le sue due scanalature semicircolari sui denti del supporto.

Molla a croce. Preme la pinza contro i denti del supporto, per evitare la produzione di battiti.

Freno a disco a pinza flottante con guida a perno (fig. 2)

Sul lato del cilindretto del supporto si trovano due perni di guida che sono avvitati alla pinza. Il supporto ha due fori che contengono inserti lubrificanti in teflon. In tali fori è alloggiata, in modo scorrevole, la pinza con i perni di guida.

Frenata. Il pistoncino nella pinza spinge la pastiglia interna contro il disco freno, dopo aver superato il gioco di ventilazione. Grazie alla forza di reazione, la pinza è spostata in direzione opposta. Dopo il superamento dell'ulteriore gioco di ventilazione, anche la pastiglia esterna è premuta contro il disco. Entrambe le pastiglie si trovano nel vano della pinza.

Nel caso della guida dentata, per contrastare la forza tangenziale, la pastiglia interna si appoggia direttamente al supporto, mentre quella esterna alla pinza.

Nel caso della guida a perno, invece, entrambe le pastiglie si appoggiano alla pinza. Durante il rilascio del freno, la forza elastica dell'anello toroidale e la molla a croce ristabiliscono il gioco di ventilazione.



Figura 2: Freno a disco a pinza flottante con guida a perno

Disco del freno

In genere è a tazza ed è realizzato in ghisa, ghisa malleabile o acciaio fuso. Nei veicoli da corsa, il disco può essere realizzato anche in materiale composito, rinforzato con fibra di carbonio o in ceramica (fig. 3).

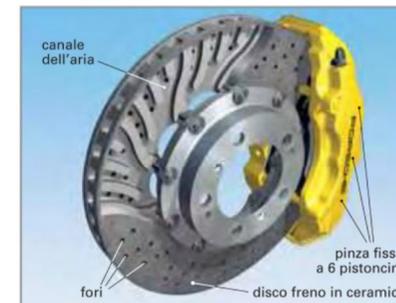


Figura 3: Disco in ceramica a ventilazione interna

Dischi a ventilazione interna. Vengono utilizzati in caso di sollecitazioni particolarmente elevate. Essi contengono dei canali disposti radialmente in modo tale da creare, durante la rotazione, un effetto di ventilazione e ottenere un migliore raffreddamento. In alcuni casi, la superficie d'attrito

contiene fori o scanalature che permettono una più rapida asportazione dell'acqua in caso di frenata con dischi bagnati. I freni rispondono in maniera uniforme e il pericolo di fading è ridotto. I fori, inoltre, comportano anche una riduzione del peso.

18.10.7 Pastiglie del freno

Il materiale ad alto coefficiente d'attrito di cui è composta la pastiglia produce, per effetto della forza frenante, un elevato attrito con il disco o il tamburo del freno, il che comporta la trasformazione dell'energia cinetica del veicolo in calore. Nei freni a tamburo, tale materiale è ribattuto o incollato sul ceppo del freno, mentre nei freni a disco è incollato al supporto delle pastiglie in acciaio. Per visualizzare lo stato di usura, si utilizzano contatti elettrici. La pastiglia deve presentare le seguenti caratteristiche:

- elevata resistenza alle alte temperature, resistenza meccanica e lunga durata;
- coefficiente d'attrito costante anche alle alte temperature e ad alte velocità di scorrimento;
- non alterarsi in presenza d'acqua e sporcizia;
- assenza di vetrificazione in caso di elevata sollecitazione termica (max. 800 °C), buona conduttività termica.

Le pastiglie dei freni sono realizzate con i seguenti materiali compositi.

- **Organic:** fibre di vetro e carbonio, cariche, resine.
- **Low-Metallic:** materie organiche, 10-30% metallo.
- **Semi-Metallic:** 30-65% metallo, grafite, cariche, leganti.
- **Ceramic:** fibre ceramiche, cariche, leganti.

18.10.8 Freni di stazionamento

A seconda della tipologia, si distinguono sistemi meccanici e sistemi elettromeccanici. Essi possono essere a leva o a pedale e agiscono sui freni a tamburo o a disco dell'assale posteriore.

Pinza combinata (fig. 1). Il freno di servizio è ad azionamento idraulico. Il freno di stazionamento viene attivato meccanicamente mediante un cavo (bowden), facendo in modo che il piattello azionato

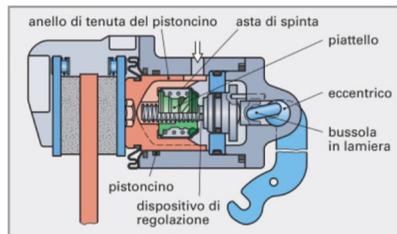


Figura 1: Pinza combinata

dall'eccentrico della leva del freno preme sull'asta di spinta. Tramite il dispositivo di regolazione, quest'ultima si appoggia sul pistoncino, generando l'effetto frenante. Lusura delle pastiglie è compensata dal dispositivo di regolazione che, a mano a mano che essa aumenta, ruota sul mandrino in direzione del pistoncino.

Regole di lavoro

- Quando si sostituiscono le pastiglie dei freni occorre far rientrare il pistoncino con un apposito utensile speciale.
- È vietato utilizzare una normale pinza perché è facile rompere il dispositivo di regolazione.

Freno di stazionamento elettromeccanico

In questi sistemi, il freno di stazionamento è di tipo elettrico. Si distingue tra freni di stazionamento a pinza con motorini elettrici flangiati e attuatori elettromeccanici. L'azionamento meccanico del freno di stazionamento è sostituito da un interruttore.

Freno di stazionamento elettromeccanico (fig. 2).

La coppia generata dal motorino elettrico viene trasmessa e amplificata tramite una cinghia dentata ($i = 3$) e un rotismo planetario o a disco obliquo ($i = 50$). Attraverso il mandrino e il dado di spinta, la forza agisce sul pistoncino del freno e produce attrito sulle pastiglie. Se la forza di serraggio delle pastiglie è sufficiente, il motorino si spegne. Il sistema riconosce questo stato in base all'assorbimento di corrente, pari a $I_{max} = 16$ A. Grazie all'elevato rapporto di trasmissione ($i = 150$), in assenza di corrente si genera un bloccaggio automatico sufficiente. Per rilasciare il freno di stazionamento, il motorino viene alimentato con polarità opposta.

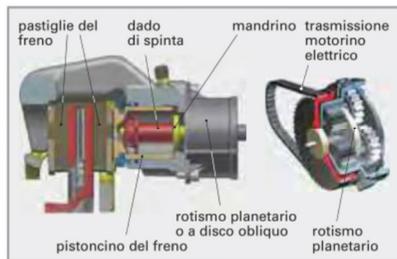


Figura 2: Freno di stazionamento elettromeccanico

Attuatore elettromeccanico (fig. 1, pag. 540). L'attuatore è disposto centralmente tra le ruote dell'assale posteriore. Il freno di stazionamento dei freni a tamburo o a disco tradizionali viene attivato tramite appositi tiranti bowden. In assenza di corrente, l'attuatore rimane bloccato.

18



Figura 1: Attuatore elettromeccanico

Se si inserisce il freno di stazionamento con i freni ancora caldi, dopo circa 5 minuti l'attuatore è nuovamente alimentato, al fine di compensare la riduzione di volume dei dischi e delle pastiglie. Si

18.10.9 Diagnosi e manutenzione dell'impianto freni idraulico

Controllo visivo. Monitoraggio del livello del liquido freni nel serbatoio di compensazione; ricerca di perdite sui cilindretti e nei raccordi, ricerca di tracce di corrosione sui tubi del freno in metallo e stato dei tubi flessibili (screpolature, bolle, morsi di marta, obsolescenza, torsione).

Controllo del funzionamento. Consiste nel verificare la corsa del pedale azionando l'impianto freni di servizio. Se la corsa del pedale aumenta a poco a poco, la causa potrebbe essere una guarnizione primaria o una valvola centrale non più ermetica. Se invece la corsa del pedale è troppo lunga o la pressione si genera soltanto tramite pompaggio, potrebbero esserci bolle d'aria all'interno del circuito o giochi di ventilazione eccessivi.

Prove di tenuta (fig. 2). Per eseguire tali prove è necessario un apparecchio per prove a compressione e un premipedale. Prima delle prove, è necessario spurgare l'impianto frenante e l'apparecchio di prova riempito con liquido dei freni.

Prova a bassa pressione. La combinazione di manometri per alte e basse pressioni dell'apparecchio di prova viene collegata alla valvola di spurgo di una delle ruote. Si genera per un breve periodo una sovrappressione di 20 bar, dopodiché si riduce la pressione con il premipedale a 2-5 bar. Questo valore deve essere mantenuto per 5 minuti, durante il quale l'intero impianto deve restare a riposo. Se la pressione si modifica, c'è un difetto di tenuta.

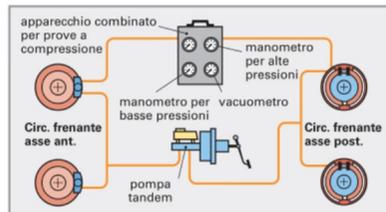


Figura 2: Prova di tenuta

540

ottiene, in questo modo, una forza frenante costante. Il freno di stazionamento consente di beneficiare di ulteriori funzionalità di comfort e di sicurezza, come per esempio:

- azionamento automatico del freno di stazionamento elettrico in caso di arresto del veicolo;
- partenza assistita in salita (funzione Hill Holder);
- funzione di freno d'emergenza. Premendo l'interruttore, è possibile attivare una funzione di freno d'emergenza. In questo caso, la pressione è fornita dall'ESP;
- maggiore sicurezza contro il furto grazie all'accoppiamento con l'immobilizer.

Prova ad alta pressione. Con l'ausilio del premipedale, la pressione di frenata è portata ad un valore compreso tra 50 e 100 bar. Tale pressione non deve scendere oltre il 10% in 10 minuti. In caso di una maggiore riduzione, si ha un difetto di tenuta.

Riempimento e spurgo dell'impianto frenante (fig. 3). Questi lavori possono essere eseguiti da una persona con l'ausilio di un apparecchio di riempimento e spurgo. È necessario, inoltre, un bocchettone di spurgo e un flessibile trasparente collegato ad una bottiglia di raccolta. Nei veicoli con ABS vanno seguite le indicazioni della ditta produttrice.

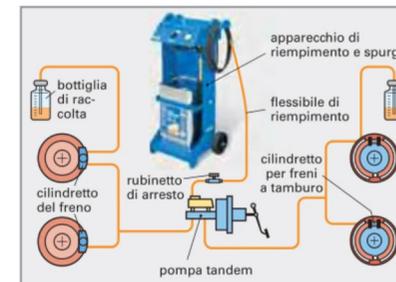


Figura 3: Spurgo con apparecchio

L'apparecchio di riempimento e spurgo e il bocchettone di spurgo vanno collegati al serbatoio di compensazione. Occorre applicare su una valvola di spurgo il flessibile trasparente con la bottiglia. A questo punto, aprire il rubinetto di arresto sul flessibile di riempimento dell'apparecchio e poi aprire la valvola di spurgo fino a quando non fuoriesce il liquido freni (chiaro e senza bolle). Chiudere la valvola di spurgo. Ripetere il procedimento su tutte le valvole di spurgo. Alla fine, chiudere il rubinetto d'arresto. Prima di smontare il bocchettone di spurgo, aprire brevemente una valvola di spurgo per ridurre la pressione.

Lavori sui freni delle ruote

Tamburi e dischi dei freni. Durante il controllo dei freni, si deve verificare se i tamburi e i dischi presentano rigature, ovalizzazioni o eccentricità. I dischi con valori di eccentricità eccessivi vanno sostituiti. Le pastiglie dei freni a disco e la pinza flottante devono essere facili da manovrare. I tamburi e i dischi che presentano ovalizzazioni e solchi vanno torniti. Prestare attenzione alla misura massima di tornitura, ossia allo spessore minimo del disco. Eventualmente, sostituire i dischi e i tamburi, che devono comunque essere sempre sostituiti se presentano crepe o se hanno le pinze danneggiate.

Pastiglie dei freni. Controllare lo spessore e l'imbrattamento delle pastiglie ed eventualmente sostituirle.

Controllo dei freni

Il controllo dei freni avviene generalmente su appositi banchi di prova. Per ogni ruota si misura:

- forza frenante;
- resistenza al rotolamento;
- oscillazioni della forza frenante dovute, per esempio, a tamburi ovalizzati;
- primi segnali di tendenza al bloccaggio.

Banco di prova dei freni a rulli (fig. 1). È provvisto di due gruppi uguali di rulli affinché sia possibile verificare contemporaneamente i freni delle due ruote di un assale. Durante la prova, i rulli mettono in moto la ruota da frenare. I rulli di trazione di un lato vengono azionati contemporaneamente, il terzo rullo funge da rullo tastatore che inserisce



Figura 1: Banco di prova dei freni a rulli

automaticamente il banco di prova e la protezione antibloccaggio. Su ciascuna ruota si misura la forza frenante (forza tangenziale).

Generalmente, si determina il **coefficiente di frenatura z in percentuale** (cfr. pag. 529). La differenza di forza frenante (per il freno di servizio) su un assale non deve essere superiore al 25%. Per i veicoli con quattro ruote motrici permanenti e distribuzione variabile della coppia motore, occorre osservare regole particolari.

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

- Ad ogni controllo, verificare il livello del liquido freni nel serbatoio di compensazione. Nei freni a disco, un abbassamento del livello può essere indice di forte usura delle pastiglie.
- Si può controllare lo spessore delle pastiglie dei freni a tamburo dagli appositi fori di ispezione.
- Per controllare i tamburi, smontarli e pulire il freno dal materiale asportato per sfregamento che deve essere aspirato e non soffiato via con aria compressa.
- La sostituzione delle pastiglie va effettuata contemporaneamente sui freni del medesimo assale.
- Sostituire il liquido freni secondo le indicazioni del costruttore, per esempio annualmente.
- Il liquido esausto non può più essere utilizzato; raccoglierlo in un apposito contenitore etichettato e consegnarlo a una ditta di smaltimento dei rifiuti.
- Tenere grassi e oli lontani dai componenti del freno.
- Per il rabbocco, utilizzare esclusivamente il tipo di liquido specificato.
- Per la pulizia, utilizzare soltanto detergente per freni, eventualmente alcol.

DOMANDE DI RIPASSO

- 1 Quali sono le caratteristiche dei freni a disco?
- 2 Qual è la struttura di un freno a disco a pinza fissa?
- 3 Come si regola il gioco di ventilazione nel freno a disco?
- 4 Quali tipi di freni a disco a pinza flottante si distinguono a seconda della guida della pinza?
- 5 Come viene calcolato il coefficiente di frenatura?
- 6 Descrivete il funzionamento di un freno a disco a pinza flottante.
- 7 Elencate le caratteristiche delle pastiglie dei freni.
- 8 Quali controlli vanno eseguiti sul freno idraulico?
- 9 Come si può eseguire il riempimento e lo spurgo del freno idraulico?
- 10 Quali misurazioni possono essere effettuate sul banco di prova dei freni a rulli?

18.10.10 Freno servoassistito (servofreno)

Per generare una forza di frenata supplementare, è aggiunto un servofreno a depressione o, più raramente, a comando idraulico.

Servofreno a depressione

Nei veicoli con motore a ciclo Otto, viene utilizzata la depressione che si genera nel collettore d'aspirazione. A causa della ridotta differenza (circa 0,8 bar) tra la pressione atmosferica e la pressione del collettore d'aspirazione, il pistone di lavoro deve presentare delle superfici molto grandi, per poter aumentare di almeno 4 volte la forza dell'asta di spinta. Nei motori Diesel, la differenza di pressione è prodotta tramite una pompa per vuoto azionata dal motore.

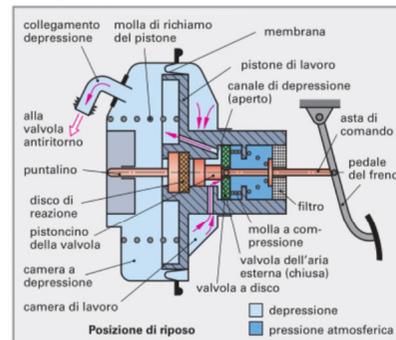


Figura 1: Servofreno a depressione

Struttura (fig. 1). La pompa, in genere, è fissata sul corpo del servofreno. Il pistone di lavoro divide il corpo in una camera a depressione e una camera di lavoro. La camera di lavoro è collegata alternativamente, tramite un canale di depressione e una valvola d'aria esterna, alla camera a depressione o all'aria esterna. La doppia valvola è azionata dal pedale del freno attraverso l'asta di comando. Quest'ultima, inoltre, tramite il pistoncino della valvola e il disco di reazione (gomma), esercita una pressione sull'asta di spinta della pompa, su cui agisce anche il pistone di lavoro con una forza supplementare.

Funzionamento

Freno a riposo (fig. 1). La valvola dell'aria esterna è chiusa e la camera di lavoro è collegata alla camera a depressione attraverso il canale di depressione aperto. Su entrambi i lati del pistone di lavoro agisce, quindi, la stessa pressione pari a circa $p_{abs} = 0,2$ bar.

Posizione di frenata parziale (fig. 2). Premendo leggermente il pedale del freno, la valvola a disco

chiude il canale di depressione sotto la spinta della molla a compressione. Il disco di reazione è leggermente premuto e l'aria atmosferica penetra nella camera di lavoro. L'aumento della pressione nella pompa dei freni crea, tuttavia, una forza antagonista sul disco stesso, che spinge la valvola della pressione atmosferica contro la valvola a disco, chiudendone il passaggio. L'entità della servo-assistenza durante la frenata parziale è regolata costantemente in funzione della forza di azione (pedale freno) e della forza di reazione (aumento della pressione nel cilindro maestro).

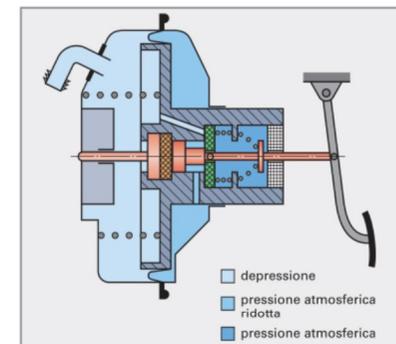


Figura 2: Posizione di frenata parziale

Frenata a fondo (fig. 3). In caso di una frenata totale, il disco di reazione è completamente compresso dall'asta di comando e dalla forza antagonista del puntalino. Di conseguenza, la valvola dell'aria esterna rimane costantemente aperta. Tra le due camere vige la massima differenza di pressione possibile ($\Delta p = 0,8$ bar) e si ha, quindi, la massima forza supplementare sul pistone di lavoro e sul puntalino.

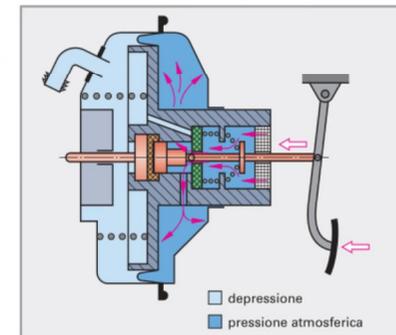


Figura 3: Posizione di frenata massima (a fondo)

Servofreno idraulico (fig. 2)

L'impianto (fig. 1) è costituito dalla pompa dell'olio ad alta pressione del servosterzo, dall'accumulatore idraulico, dal regolatore del flusso d'olio a controllo pneumatico e dal servofreno idraulico con la pompa tandem e il serbatoio dell'olio.

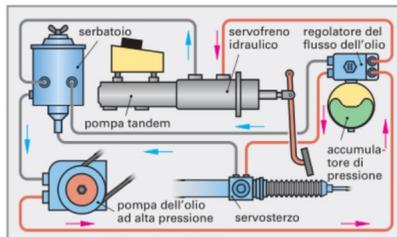


Figura 1: Impianto del servofreno idraulico

Funzionamento

La pompa dell'olio ad alta pressione invia l'olio nell'accumulatore di pressione dove, tramite una membrana di gomma, comprime l'azoto. In tal modo, nell'accumulatore si instaura una pressione fino a 150 bar. Il servofreno e la camera ad olio sotto pressione dell'accumulatore sono collegati tramite una tubazione.

Freno azionato. Quando viene azionato il freno, il pistone (fig. 2) del servofreno si sposta, chiudendo il foro di ritorno e aprendo quello di mandata. La camera di lavoro si riempie di olio sotto pressione, per cui genera una forza supplementare sul pistone di lavoro. Quest'ultimo, spostandosi, chiude il foro di mandata e consente un'assistenza continua alla frenata, in funzione della forza esercitata sul pedale.

Freno a riposo. Dopo il rilascio del freno, il pistone del servofreno chiude il foro di mandata e apre quello di ritorno. Il liquido idraulico può rifluire nel serbatoio. La molla di richiamo spinge il pistone di lavoro nella posizione iniziale. In caso di avaria del motore, il serbatoio contiene sufficiente olio sotto pressione per circa 10 frenate.

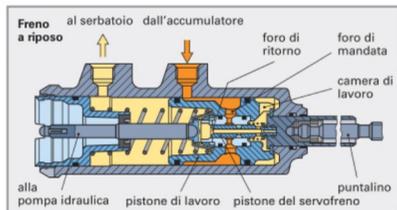


Figura 2: Servofreno idraulico

Servofreno pneumatico

I veicoli con impianto frenante combinato (idraulico e pneumatico) possono essere dotati di servofreni pneumatici (fig. 3). La pressione di lavoro di circa 7 bar consente di ottenere una servoassistenza elevata con ingombri ridotti.

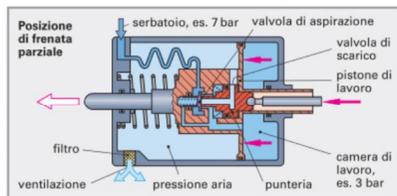


Figura 3: Servofreno pneumatico

Funzionamento. Azionando il freno, l'asta di comando sposta la punteria che, andando in battuta sulla testa della valvola, chiude la valvola di scarico. Contemporaneamente, la testa si solleva, aprendo la valvola di aspirazione. La pressione del serbatoio viene convogliata nella camera di lavoro ed esercita una forza supplementare sul pistone che, spostandosi, chiude nuovamente la valvola di aspirazione. Così facendo, si genera una servoassistenza continua in funzione della forza esercitata sul pedale. Quando quest'ultima viene meno, la punteria chiude la valvola di aspirazione e apre quella di scarico. La pressione all'interno della camera di lavoro si abbassa e la molla di richiamo riporta il pistone nella sua posizione iniziale.

18.10.11 Ripartizione della forza frenante

Lo spostamento del carico sugli assi che si produce durante la frenata è proporzionale alla decelerazione, al carico, alla distribuzione del carico sul veicolo e all'altezza del suo baricentro. In caso di frenata durante un percorso rettilineo, aumenta il carico sulle ruote anteriori e diminuisce sulle ruote posteriori. In caso di frenata in curva, aumenta il carico sulle ruote esterne alla curva. La maggior parte degli impianti frenanti è realizzata in modo tale da permettere il miglior comportamento in frenata, in condizione di decelerazione e carichi medi. In caso di forti frenate, però, le ruote posteriori si possono bloccare, facendo sbandare il veicolo. Tale pericolo è evitato grazie ai limitatori di frenata, utilizzati sui veicoli privi di ABS.

Limitatore di frenata (fig. 1, pag. 544). Comanda la pressione di frenata delle ruote posteriori. A partire da una determinata pressione di commutazione, le ruote posteriori ricevono una pressione minore rispetto a quelle anteriori.

Andamento della pressione in un sistema frenante privo di regolazione della pressione di frenata. La curva di colore blu indica l'andamento delle pressioni non regolate. Fino al punto di conversione (per esempio 40 bar), sull'assale anteriore e posteriore vige la medesima pressione di frenata. Oltre tale punto, l'ulteriore incremento della pressione di frenata sull'assale posteriore si riduce, evitando un bloccaggio dell'asse posteriore.

Si ottiene una frenata ottimale quando la pressione sull'assale posteriore cresce maggiormente rispetto a quella sull'asse anteriore.

La fig. 1 illustra questo processo in un veicolo carico e un veicolo scarico. A veicolo carico, le forze verticali che agiscono sulle ruote sono maggiori, per cui consentono anche forze frenanti superiori, generate dalle pressioni di frenata più elevate all'interno dei cilindretti.

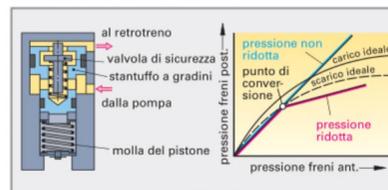


Figura 1: Limitatore di frenata

Limitatore di frenata dipendente dal carico (fig. 2).

Agisce come il limitatore di frenata normale, ma la pressione di commutazione è comandata in proporzione al carico e allo spostamento del carico assiale in frenata. Grazie alla modulazione della pressione di commutazione in funzione del carico, all'interno del range di regolazione, la pressione di frenata si adegua sempre alla pressione ideale.

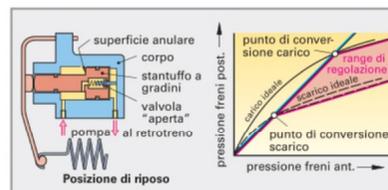


Figura 2: Limitatore di frenata dipendente dal carico

18.10.12 Freno meccanico

In genere, i freni meccanici sono utilizzati soltanto nei veicoli con impianto idraulico come freno di stazionamento del freno di servizio e nei motocicli di piccola cilindrata e nei rimorchi ad un solo asse come freno di servizio. Il rendimento della trasmissione meccanica della forza è ridotto (a seconda dello stato manutentivo soltanto ~50%). In inverno,

in condizioni di umidità e di gelo, gli elementi di azionamento del freno rischiano di congelare.

Cavi di comando del freno. Si tratta di cavi in acciaio o cavi flessibili in metallo (tiranti bowden). Per ridurre l'attrito e per proteggersi dal gelo e dalla corrosione, essi sono ricoperti da materiale plastico. I tiranti a vite permettono una precisa regolazione dei comandi a cavo flessibile.

Compensazione del freno (fig. 3). Viene utilizzata per far sì che sulle ruote di un asse agiscano le medesime forze.

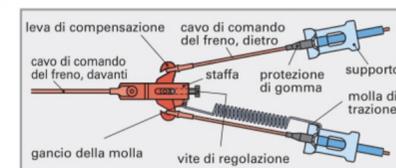


Figura 3: Compensazione del freno

Freno a inerzia (fig. 4). Viene utilizzato nei rimorchi. In fase di frenata della motrice, il rimorchio si avvicina a essa per effetto della propria inerzia. La spinta del rimorchio fa sì che la barra di trazione si comprima insieme a una molla di compressione. Il movimento risultante agisce, tramite una leva di rinvio e un comando a cavo flessibile, su un comando ad espansione, che produce una forza di serraggio sul freno.

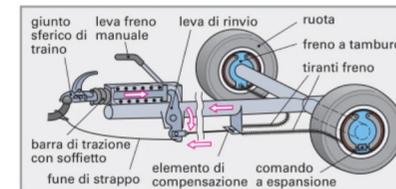


Figura 4: Freno a inerzia

DOMANDE DI RIPASSO

- 1 Quali tipi di servofreno si utilizzano per i freni idraulici?
- 2 Qual è la differenza di pressione utilizzata nel servofreno a depressione?
- 3 Come funziona il servofreno a depressione in caso di frenata a fondo?
- 4 Di quali elementi si compone l'impianto di un servofreno idraulico?
- 5 Che cosa si intende per spostamento dinamico del carico assiale in frenata?
- 6 Quali sono i principali tipi di limitatori di frenata?
- 7 Come funziona il limitatore di frenata?

18.10.13 Nozioni di base sui sistemi elettronici di regolazione dell'assetto

I sistemi elettronici di regolazione hanno la funzione di garantire il controllo dell'autoveicolo durante l'accelerazione, la sterzata e la frenata.

I sistemi di regolazione utilizzati sono i seguenti:

- **ABS** (Antilock Braking System, sistema antibloccaggio), impedisce il bloccaggio delle ruote durante la frenata;
- **ASR** o **ASC** (Acceleration Skid Control, dispositivo per il controllo dello slittamento in accelerazione), **ELSD** (Electronic Limited Slip Differential, differenziale a bloccaggio elettronico), impediscono lo slittamento delle ruote durante la partenza e l'accelerazione;
- **FDR** (Fluent Dynamic Regulation, sistema per il controllo dinamico della stabilità di marcia come **ESP** o **DSC**), mantiene la stabilità del veicolo in curva;
- **SBC** (Sensotronic Brake Control), riduce la distanza di frenata e incrementa la stabilità di guida durante la frenata in curva;
- **BAS** (Brake Assist System, assistenza alla frenata), riconosce situazioni di pericolo e garantisce l'uso della forza massima di frenata.

Qualsiasi movimento può essere ottenuto mediante forze agenti sullo pneumatico, che sono:

- forza **tangenziale**, come forza motrice o frenante; essa agisce nel senso longitudinale dello pneumatico;
- forza **laterale**, derivante, per esempio, dalla sterzata o da influenze perturbatrici esterne quali il vento trasversale;
- forza **normale**, derivante dal peso del veicolo; essa agisce in direzione perpendicolare al piano stradale.

L'intensità di tali forze dipende dalle condizioni del manto stradale, dallo stato/tipo di pneumatici e dalle condizioni meteorologiche. La trasmissione delle forze tra pneumatici e piano stradale è determinata dalla forza d'attrito. Soltanto in caso di attrito statico tra pneumatico e piano stradale si garantisce una trasmissione ottimale delle forze. I sistemi elettronici di regolazione sfruttano al meglio detta aderenza. La forza tangenziale è trasmessa mediante l'aderenza al manto stradale sotto forma di forza motrice (F_A) o frenante (F_B). Il suo valore corrisponde al valore della forza normale F_N moltiplicato per il coefficiente di aderenza μ_H (da $\mu_{\text{ghiaccio}} = 0,1$ a $\mu_{\text{asciutto}} = 0,9$).

$$F_{A,B} = \mu_H \cdot F_N$$

$F_{A,B}$ forza motrice, forza frenante
 F_N forza normale
 μ_H coefficiente di aderenza

Il coefficiente di aderenza μ_H è determinato:

- dalla tipologia dei materiali impiegati per gli pneumatici e dal manto stradale;
- dalle condizioni meteorologiche.

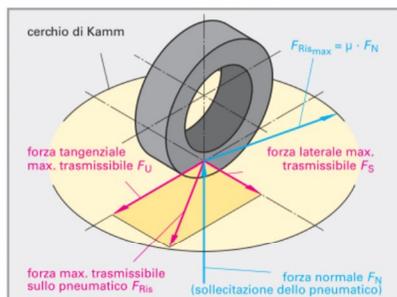


Figura 1: Forze agenti sulla ruota, cerchio di Kamm

Cerchio di Kamm (fig. 1). La forza massima che può essere trasferita al piano stradale ($F_{\text{max}} = F_N \cdot \mu_H$) viene rappresentata sotto forma di cerchio. Per garantire la stabilità di guida, la forza risultante F_{Ris} dalla somma tra forza tangenziale F_T e forza laterale F_S deve trovarsi all'interno del cerchio e, quindi, essere inferiore a F_{max} .

Se la **forza tangenziale** F_T raggiunge il suo valore massimo per effetto dello slittamento o del bloccaggio delle ruote, non è possibile trasferire alcuna forza laterale F_S . A quel punto, il veicolo diventa ingovernabile.

Se, percorrendo una curva alla massima velocità, la forza laterale F_S raggiunge il suo valore massimo, il veicolo non può essere né frenato né accelerato, altrimenti sbanderebbe.

Slittamento (fig. 2). Durante il rotolamento di uno pneumatico, si verificano deformazioni elastiche e slittamenti. Se, per esempio, una ruota con una circonferenza di rotolamento di 2 m percorre in frenata una distanza di soli 2,2 m al giro, la differenza in termini di distanza tra circonferenza dello pneumatico e corsa di frenata è pari a 0,2 m, equivalenti a uno slittamento del 10%. Se una ruota si blocca o slitta in partenza, si ha uno slittamento del 100%.

Una trasmissione della forza senza slittamento tra pneumatico e manto stradale non è possibile, in quanto il coefficiente d'attrito tra i due non permette una trasmissione della forza al 100%. Quindi avremo sempre delle piccole perdite di aderenza per slittamento in partenza o durante la frenata.

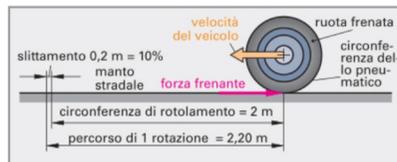


Figura 2: Slittamento di una ruota frenata

Relazione fra le forze agenti sulla ruota e lo slittamento

La relazione tra forza motrice, forza frenante, forza di reazione laterale e slittamento su un percorso rettilineo è rappresentata in forma semplificata nella fig. 1. Già a bassi valori di slittamento, la forza frenante aumenta rapidamente fino a raggiungere il suo valore massimo, per poi diminuire leggermente a valori di slittamento crescenti. Il decorso e il valore massimo della curva della forza motrice o frenante dipendono dal coefficiente d'attrito tra lo pneumatico e il manto stradale. Il valore massimo si colloca attorno a uno slittamento che va dall'8 al 35%. Il primo intervallo della curva è detto intervallo stabile, in quanto la ruota mantiene la sua stabilità di marcia e la sua governabilità. Inoltre, la ruota in questo intervallo presenta la migliore trasmissione di forza. I sistemi di regolazione elettronica lavorano, quindi, in questo intervallo di regolazione. A valori di slittamento più elevati, la forza di reazione laterale diminuisce significativamente: il veicolo non è più governabile e perde la sua stabilità di marcia. I sistemi di regolazione del veicolo impediscono l'uscita dall'intervallo stabile.

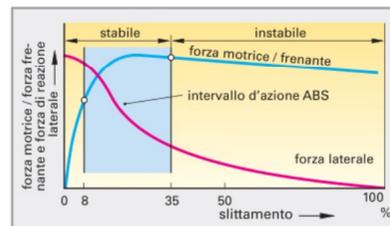


Figura 1: Forze agenti sulla ruota in funzione dello slittamento

18.10.14 Il sistema antibloccaggio (ABS)

I sistemi antibloccaggio (ABS) sono utilizzati negli impianti frenanti idraulici e ad aria compressa allo scopo di regolare la forza frenante.

I sistemi ABS regolano, durante la frenata, la pressione di una ruota in base all'aderenza sul manto stradale, in modo tale da impedirne il bloccaggio. Il veicolo può essere governato solo se le ruote non sono bloccate e se sono, quindi, in grado di trasmettere forze di reazione laterali.

Struttura

Un ABS è composto dalle seguenti parti:

- sensori della ruota (sensori del numero di giri) con corona ad impulsi;
- centralina elettronica;
- gruppo idraulico con elettrovalvole.

Le valvole elettromagnetiche sono comandate dalla centralina elettronica in tre fasi di regolazione: **aumento della pressione, mantenimento della pressione e riduzione della pressione**. Evitano il bloccaggio delle ruote.

I sistemi ABS presentano le seguenti caratteristiche:

- le forze di reazione laterali e la stabilità di marcia rimangono inalterate, riducendo lo slittamento;
- il veicolo rimane governabile;
- si ottiene una distanza d'arresto ottimale su strade normali (senza sabbia o neve);
- si evita un'usura non uniforme degli pneumatici, non essendovi il bloccaggio di nessuna ruota.

Sistemi antibloccaggio. In base al numero di canali di regolazione e di sensori e secondo il tipo di regolazione, si distinguono due sistemi.

Sistema a 4 canali con 4 sensori e suddivisione del circuito frenante di tipo X (diagonale) o TT (suddivisione per assi). Ciascuna ruota è comandata singolarmente.

Sistema a 3 canali con 3 o 4 sensori e suddivisione del circuito frenante di tipo X (diagonale). In questo caso, le ruote anteriori sono regolate separatamente, mentre le ruote posteriori sono sempre regolate congiuntamente.

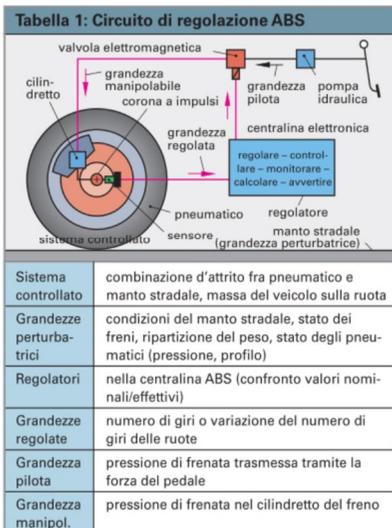
Regolazione individuale (IR). In questo caso, su ogni ruota è esercitata la massima pressione di frenata possibile, massimizzando la forza d'arresto. Poiché le ruote di un asse possono essere frenate con diversa intensità, per esempio in seguito alla presenza di ghiaccio soltanto su un lato della carreggiata, si genera un momento torcente del veicolo intorno all'asse verticale (imbardata).

Regolazione select-low (SLR). Il principio select-low prevede che sia la ruota con la minore aderenza al suolo a determinare la pressione di frenata comune di un asse. Si riduce in tal modo il momento di imbardata durante la frenata su manti stradali con aderenza irregolare, in quanto gli sforzi frenanti delle ruote posteriori sono pressoché uguali.

Le ruote anteriori sono regolate individualmente, quelle posteriori secondo il principio select-low.

Funzionamento

La maggior parte dei processi di frenata avviene in condizioni di ridotto slittamento in cui l'ABS non entra in funzione. Il circuito di regolazione dell'ABS (tab. 1, pag. 547) si attiva soltanto in caso di frenata brusca, conseguente a un maggiore slittamento, impedendo il bloccaggio delle ruote. Il campo di regolazione dell'ABS si situa nell'intervallo di slittamento dall'8 al 35%. A circa 6 km/h, in genere l'ABS si disattiva per permettere al veicolo di fermarsi. La corona ad impulsi e il sensore per la rilevazione del numero di giri generano, durante la rotazione, una tensione alternata per induzione.



La frequenza di tale tensione alternata è proporzionale al numero di giri della ruota. In base a essa, la centralina calcola l'accelerazione o il rallentamento di ciascuna ruota.

Aumento della pressione. La pressione generata dalla pompa viene trasmessa ai cilindretti.

Mantenimento della pressione. Se, durante la frenata, una ruota tende a bloccarsi e supera un valore predefinito di slittamento, la centralina riconosce tale stato e commuta la valvola elettromagnetica della ruota su "mantenimento della pressione". Si interrompe il collegamento pompa-cilindretti e la pressione di frenatura rimane costante.

Riduzione della pressione. Se lo slittamento e, quindi, la tendenza al bloccaggio continuano ad aumentare, la valvola elettromagnetica è commutata su riduzione della pressione. Così facendo, tramite la pompa di ritorno si crea un collegamento tra cilindretto e pompa idraulica e lo slittamento diminuisce. Se lo slittamento diminuisce fino a scendere sotto una determinata soglia, la centralina commuta nuovamente la valvola elettromagnetica, aumentando la pressione. Il ciclo di regolazione si ripete (4-10 volte al secondo) fino a quando il freno rimane azionato.

ABS con ritorno del liquido freni in un circuito chiuso

Durante la riduzione della pressione, il liquido dei freni scorre nell'accumulatore a pressione. Contemporaneamente, la pompa di ritorno fa ritornare il liquido nel circuito frenante della pompa idraulica.

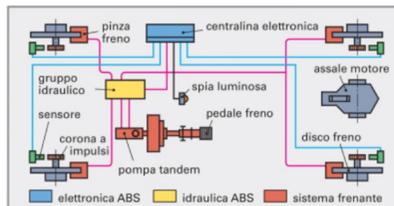


Figura 1: ABS con ritorno del liquido freni in un circuito chiuso (rappresentazione schematica)

Struttura (fig. 1). Oltre al tradizionale sistema di frenatura, l'ABS presenta i seguenti componenti:

- centralina elettronica;
- gruppo idraulico;
- spia luminosa;
- sensori delle ruote.

Centralina elettronica. Elabora i segnali inviati dai sensori e comanda le rispettive elettrovalvole. Grazie all'autodiagnosi, il funzionamento dell'ABS viene costantemente monitorato.

Spia luminosa. In fase di avvio, segnala il corretto funzionamento dell'ABS. In caso di difetto della regolazione ABS, la spia si illumina. Il veicolo può essere comunque frenato completamente, ma senza ABS.

Gruppo idraulico con pompa di ritorno. Contiene le valvole elettromagnetiche di comando, un accumulatore a bassa pressione per il liquido dei freni e una pompa di ritorno ad azionamento elettrico. È comandato tramite relè ed è sempre in funzione durante la regolazione dell'ABS.

Sensori delle ruote (sensori numero di giri, fig. 2). Sono disposti su ogni ruota. Ogni sensore possiede una corona ad impulsi o magnetica che gira insieme alla ruota. Esistono sensori passivi e attivi.

Sensori passivi. Sono sensori a induzione, chiamati passivi perché non possiedono una propria alimentazione. A seconda della velocità del veicolo, il sensore trasmette un segnale di tensione alternata compreso tra 30 mV e circa 100 V (fig. 1, pag. 548). L'informazione relativa al numero di giri viene determinata in base alla frequenza del segnale di tensione. Il funzionamento dei sensori induttivi può essere verificato misurando la resistenza e la tensione.

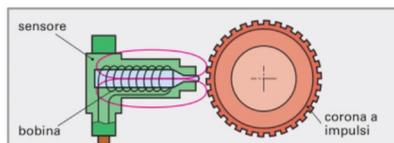


Figura 2: Sensore a induzione (sensore numero giri)

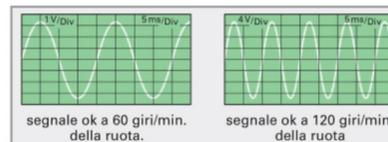


Figura 1: Oscillogrammi relativi ai sensori a induzione

Sensori attivi. Sono chiamati sensori attivi perché possiedono una propria alimentazione. Si distinguono in semplici sensori a regime di rotazione, che producono un segnale rettangolare con una frequenza variabile in funzione della velocità, e i trasduttori di Hall con funzioni avanzate.

Anello multipolare. È magnetico ed è munito alternativamente di poli nord e sud. In entrambe le tipologie costruttive, la tensione di Hall viene generata, per esempio, mediante un anello multipolare rotante integrato nel cuscinetto della ruota.

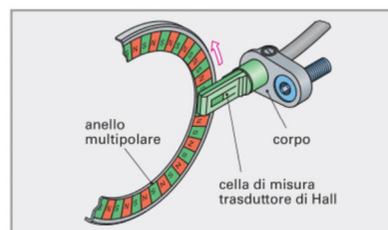


Figura 2: Trasduttore di Hall con funzioni avanzate

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Controllo degli anelli multipolari. Prima di procedere al montaggio, i segmenti degli anelli multipolari devono essere controllati mediante una scheda magnetica. Quando un magnete si rompe, si generano sempre due nuovi magneti. Se un anello multipolare è difettoso, produce un segnale anomalo.



Figura 3: Cuscinetto per ruote con anello multipolare difettoso

Trasduttori di Hall con funzioni avanzate. Con questi trasduttori, un segnale elettrico a modulazione di larghezza di impulso viene trasmesso alla centralina tramite due cavi di collegamento. Il numero di giri si ricava dalla frequenza del segnale. Ulteriori informazioni, come il senso di rotazione, l'arresto di una ruota e l'autodiagnosi, sono trasmesse tramite la variazione della larghezza di impulso del segnale elettrico (fig. 4).



Figura 4: Oscillogrammi del sensore Hall

I segnali elettrici possono essere visualizzati con un oscilloscopio. In tal caso, tuttavia, occorre integrare (come illustrato nella fig. 5) una resistenza di misura (shunt) nel cavo positivo del trasduttore. A quel punto, sullo shunt si verifica una caduta di tensione che può essere visualizzata sull'oscilloscopio. La caduta di tensione dipende dalla grandezza dello shunt, per esempio 75 Ω.

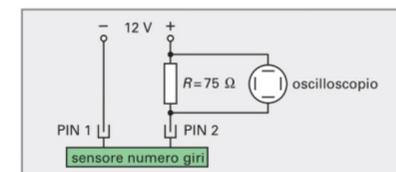


Figura 5: Circuito di misura per la rappresentazione dei segnali

La cella di misura del trasduttore contiene vari elementi di Hall, che consentono di individuare il senso di rotazione. Se due elementi di Hall si trovano contemporaneamente in prossimità, per esempio, del polo nord (fig. 1, pag. 549), il senso di rotazione viene determinato in base a quale dei due elementi registra per primo una variazione nella tensione di Hall. Se l'anello multipolare ruota, per esempio, verso destra, la cella di Hall 1 sarà la prima a rilevare una variazione di tensione.

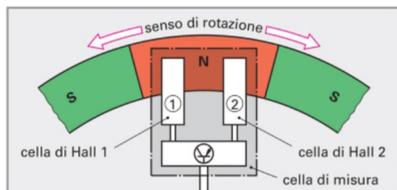


Figura 1: Cella di misura di un trasduttore di Hall con funzioni avanzate

Funzionamento con valvole elettromagnetiche 2/2 (fig. 2)

In questo sistema, il gruppo idraulico è dotato di valvole elettromagnetiche 2/2 molto piccole, leggere e reattive. Ogni canale di regolazione necessita di una valvola di entrata e una di uscita.

Nelle diverse fasi di regolazione, la centralina commuta le valvole elettromagnetiche nel seguente modo:

- **aumento della pressione**, valvola di entrata (VE) aperta, valvola di uscita (VU) chiusa;
- **mantenimento della pressione**, entrambe le valvole chiuse;
- **riduzione della pressione**, valvola di entrata chiusa e valvola di uscita aperta. La pompa di recupero riporta il liquido dei freni in eccesso dall'accumulatore al rispettivo circuito frenante.

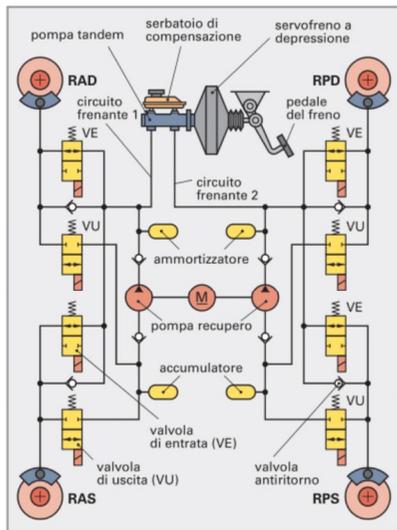


Figura 2: ABS con circuito chiuso e valvole elettromagnetiche 2/2 (circuitto idraulico)

ABS con ritorno del liquido freni nel circuito aperto e valvole elettromagnetiche 2/2 (fig. 3)

In un'operazione di regolazione, il liquido dei freni in eccesso scorre senza pressione nel serbatoio di compensazione. La centralina commuta la pompa idraulica attraverso la posizione del sensore corsa pedale. La pompa aspira, ad alta pressione e dal serbatoio di compensazione, il volume di liquido dei freni mancante nel circuito. Il pedale del freno, di conseguenza, ritorna alla sua posizione di partenza. A quel punto la pompa viene disattivata.

Struttura. Il sistema è composto da:

- centralina elettronica;
- sensori delle ruote;
- unità di azionamento;
- unità idraulica;
- spia luminosa.

Centralina elettronica. Elabora i segnali dei sensori e li trasmette come segnali di regolazione alle valvole elettromagnetiche.

I segnali del sensore corsa pedale comandano, durante la regolazione dell'ABS, la pompa idraulica. La centralina riconosce eventuali guasti e anomalie, disattiva l'ABS e accende la spia luminosa dell'ABS.

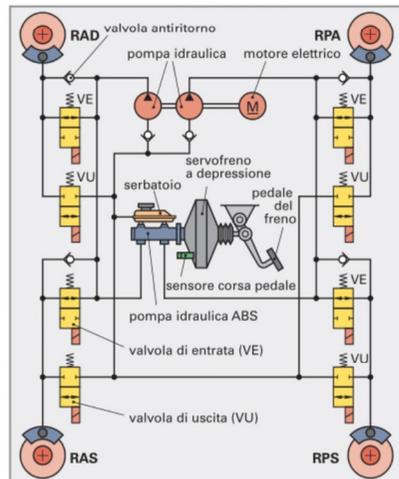


Figura 3: ABS con circuito aperto (circuitto idraulico)

Sensori delle ruote. Sono posizionati su ogni ruota e trasmettono il regime di rotazione di quest'ultima.

Unità di azionamento. È costituita da un servofreno a depressione, che possiede un trasduttore della corsa del pedale (sensore corsa pedale) inte-

grato, e dalla pompa tandem ABS con il serbatoio di compensazione. Il sensore corsa pedale segnala la posizione del pedale del freno alla centralina.

Unità idraulica. Essendo un gruppo pompa-motore, si compone di una pompa idraulica a doppio circuito e ad azionamento elettrico e di un gruppo di valvole. Quest'ultimo è provvisto di due valvole elettromagnetiche 2/2 per ciascun circuito di regolazione, ossia una valvola di entrata (VE) e una valvola di uscita (VU), con una valvola antiritorno collegata in parallelo.

Funzionamento della centralina

Se la centralina riconosce una tendenza al bloccaggio, per esempio sulla ruota anteriore sinistra, essa chiude la valvola d'entrata e apre la valvola di uscita. Il liquido dei freni scorre senza pressione nel serbatoio di compensazione. Quando aumenta la pressione, si chiude la valvola di uscita e si apre quella di entrata. Il volume di liquido freni mancante dal cilindretto è compensato dal pistone della pompa principale. Quest'ultimo, così come il pedale del freno, si spostano leggermente. Il sensore corsa pedale informa la centralina; questa inserisce la pompa idraulica che pompa il liquido finché il pedale del freno non ritorna nella sua posizione di partenza.

Circuito elettrico di un ABS

Lo schema (fig. 1) mostra un ABS a 4 canali con ritorno del liquido freni in circuito chiuso, 8 valvole elettromagnetiche 2/2 e 4 sensori. Al momento dell'accensione dell'interruttore di marcia, la bobina di comando del relè elettronico di protezione riceve tensione dal morsetto 15. Di conseguenza, essa commuta e collega la centralina tramite il PIN 1 (collegamento a spina sulla centralina) al morsetto 30 (positivo). Contemporaneamente si accende la spia luminosa, perché è collegata al positivo tramite il morsetto 15, al relè delle valvole tramite il morsetto L1 e a massa tramite il diodo. A questo punto, la centralina controlla se l'ABS presenta eventuali anom-

lie. Se tutto è regolare, la centralina collega il PIN 27 e, quindi, la bobina di comando nel relè delle valvole a massa. Il relè delle valvole commuta. Il PIN 32 sulla centralina e il catodo del diodo ricevono contemporaneamente il segnale positivo dal morsetto 30. La spia luminosa si spegne e le valvole elettromagnetiche sono così collegate al segnale positivo. Se la centralina riconosce un pericolo di bloccaggio della ruota anteriore destra, essa mette a massa il PIN 28. Il relè del motore accende la pompa di ritorno. A questo punto, la valvola elettromagnetica della ruota anteriore destra può essere commutata su tutte le fasi di regolazione e, a tal fine, la centralina mette a massa il PIN 35 o 37.

INDICAZIONI PER LE OFFICINE

Controllo dell'impianto elettrico. Può essere eseguito con un tester o un ohmmetro, un diodo di controllo o con un apparecchio specifico.

Spegnere l'accensione prima di togliere la spina della centralina.

1. **Controllo. Alimentazione della centralina:** accensione "on"; tra PIN 1 e massa, $U > 10 V$.
2. **Funzionamento del relè delle valvole:** PIN 27 a massa, accensione "on"; rilevare commutazione nel relè, ossia tra PIN 32 e massa, $U > 10 V$. Circuito elettrico bobina di comando: accensione "off"; ohmmetro tra PIN 1 e PIN 27, $R \approx 80 \Omega$.
3. **Resistenza sensore numero di giri RAD:** accensione "off"; tra PIN 11 e PIN 21, $R = 750 \Omega \dots 1,6 k\Omega$. Funzionamento: girare la ruota, tra PIN 11 e PIN 21, per esempio, per 1 giro della ruota al secondo $U > 30 mV$ tensione alternata.
4. **Funzionamento relè motore:** accensione "on"; PIN 28 a massa, rilevare la commutazione, ossia tra PIN 14 e massa, $U > 10 V$, è in funzione la pompa di ritorno (rumore).

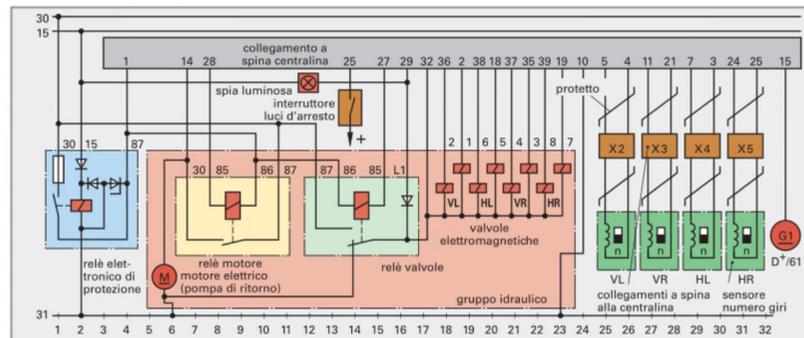


Figura 1: Schema circuitale per un ABS a 4 canali

DOMANDE DI RIPASSO

- 1 Quali sistemi di regolazione elettronica del telaio vengono utilizzati?
- 2 Quali forze agiscono sulla ruota del veicolo?
- 3 Che cosa s'intende per slittamento?
- 4 In quale intervallo di slittamento il veicolo rimane governabile e stabile?
- 5 Quali sono i compiti dell'ABS?
- 6 Elencate i componenti di un ABS.
- 7 Elencate e spiegate i concetti del circuito di regolazione dell'ABS.
- 8 Elencate le fasi di regolazione dell'ABS.
- 9 In che cosa si differenziano fondamentalmente i sistemi idraulici ABS?

18.10.15 Regolazione dello slittamento in accelerazione (ASR)

Il sistema ASR previene lo slittamento delle ruote motrici in fase di partenza e di accelerazione e il bloccaggio delle ruote in fase di rilascio del pedale dell'acceleratore.

In tal modo, il veicolo è stabilizzato in senso longitudinale intorno all'asse verticale, si mantiene la tenuta di strada in curva e si evita l'imbardata. L'ASR è un'estensione dell'ABS. Entrambi i sistemi si servono di sensori e attuatori comuni e spesso sono provvisti di una centralina unica, il cui scambio dei dati avviene generalmente tramite CAN-bus. In caso di guida con catene da neve montate, è possibile disattivare l'ASR, dal momento che in questa situazione è necessario un certo slittamento.

Vantaggi

- Miglioramento della trazione durante l'avvicinamento o l'accelerazione.
- Aumento della sicurezza di guida in condizioni di elevata forza motrice.
- Adattamento automatico della coppia alle condizioni di aderenza.
- Segnalazione al conducente circa il raggiungimento dei limiti della dinamica di marcia.

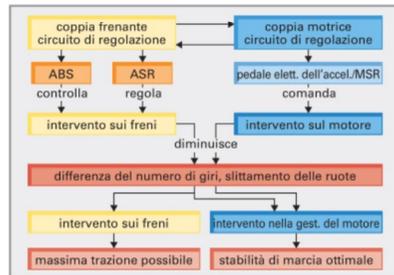


Figura 1: Schema a blocchi dell'ASR

ASR con intervento sul motore e sui freni

A seconda della situazione di guida, il sistema interviene sul motore e/o sui freni. Lo schema a blocchi della fig. 1 rappresenta l'interazione tra l'intervento sul motore e l'intervento sui freni per evitare lo slittamento delle ruote durante l'avvicinamento (funzione ASR) o durante la fase di rilascio (regolazione della coppia resistente del motore).

Struttura. Il sistema è composto da:

- centralina ABS/ASR-MSR;
- unità idraulica ABS/ASR;
- pedale elettronico dell'acceleratore con centralina;
- trasduttore del valore nominale, servomotore e valvola a farfalla.

Funzionamento (fig. 2). Nella centralina di comando ABS/ASR sono rilevati i regimi di rotazione di tutte le ruote. Se una o due ruote tendono a slittare, entra in funzione la regolazione ASR.

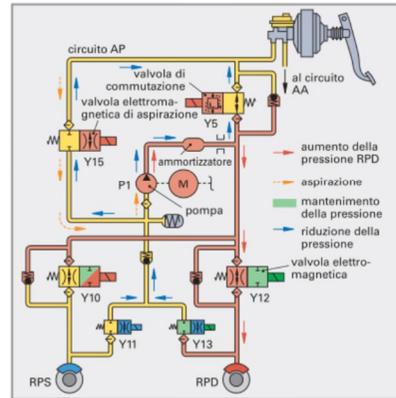


Figura 2: Schema idraulico ASR aumento di pressione

Regolazione in partenza (fig. 2 e fig. 3). Se una ruota tende a slittare (in questo caso, la posteriore destra), lavora soprattutto la regolazione della coppia frenante, in quanto è importante avere la massima trazione. La centralina aziona la pompa P1. La valvola elettromagnetica di aspirazione Y15 si apre, mentre la valvola di commutazione Y5 e quella elettromagnetica Y10 (RPS) posteriore sinistra si chiudono.

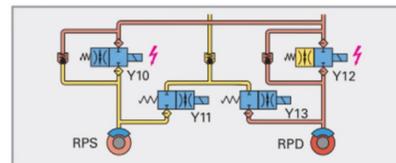


Figura 3: Schema idraulico ASR mantenimento pressione

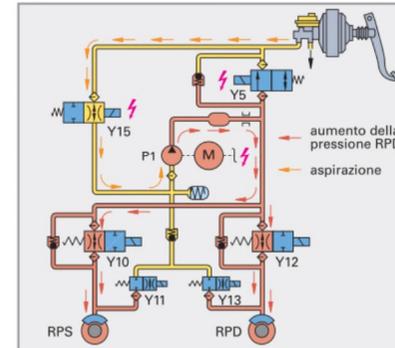
In tal modo, la pressione della pompa decelera la ruota (RPD). Tramite le valvole elettromagnetiche Y12 e Y13 dell'unità idraulica, è possibile regolare la coppia frenante attraverso l'aumento della pressione, la riduzione della pressione e il mantenimento della pressione.

Mantenimento della pressione (fig. 3, pag. 551). Oltre alle valvole attivate in fase di aumento della pressione, si aziona anche la valvola Y12. La pressione frenante sulla ruota posteriore destra rimane invariata.

Riduzione della pressione. Oltre al motore P1, si attivano anche le valvole Y5, Y12 e Y15. La pressione idraulica è convogliata nel serbatoio di compensazione della pompa idraulica tramite Y13, P1 e Y5.

Regolazione durante la marcia

Se, per esempio, entrambe le ruote tendono a slittare, lavora soprattutto la regolazione della coppia motrice, al fine di ottenere una trazione ottimale. La coppia del motore è ridotta.



e desiderato (valore nominale), il sistema interviene, frenando la ruota corrispondente e garantendo pertanto la stabilità del veicolo. Collegati tra di loro attraverso un bus dati, tali sistemi regolano la frenata secondo il numero di giri delle ruote, la pressione di frenata, l'imbardata, l'angolo di sterzata, l'accelerazione trasversale e i diagrammi caratteristici memorizzati. Il sistema ESP decide quale ruota frenare, l'entità di tale decelerazione e se ridurre la coppia motrice.

Sottosterzo. Se il veicolo tende a sottosterzare (fig. 1), la parte anteriore si allarga verso l'esterno della curva. Il sistema ESP manda pressione di frenata alla ruota posteriore interna alla curva tramite una pompa (fig. 2). Il momento di imbardata così prodotto gira il veicolo attorno all'asse verticale e si oppone al comportamento sottosterzante.

Sovrasterzo. Se il veicolo tende a sovrasterzare (fig. 1), il sistema frena più intensamente la ruota anteriore esterna alla curva, stabilizzando il veicolo.



Figura 1: Veicolo sottosterzante e veicolo sovrasterzante

Schema idraulico. Rappresenta il circuito frenante con suddivisione diagonale.

Aumento della pressione (fig. 2). In caso di intervento dell'ESP (sulla ruota posteriore sinistra), si attivano l'elettrovalvola di commutazione USV, la valvola pilota ad alta pressione HSV e la valvola di entrata VE anteriore destra. Tramite l'HSV aperta, la pompa di ritorno PE aspira il liquido dei freni dalla pompa idraulica. All'interno della pinza può generarsi una pressione fino a 200 bar. La ruota posteriore sinistra (RPS) viene frenata.

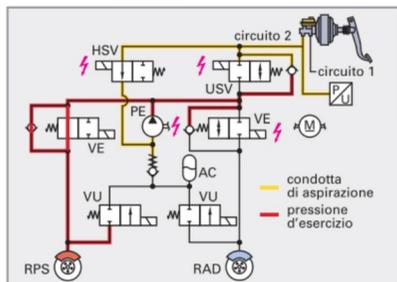


Figura 2: Aumento della pressione RPS

Mantenimento della pressione (fig. 3)

In questa fase di regolazione, l'elettrovalvola di commutazione USV non è più attivata. La pompa convoglia il liquido tramite l'USV e l'HSV aperte. Contemporaneamente si attiva la valvola di entrata VE posteriore sinistra. La pressione di frenata sulla ruota posteriore sinistra (RPS) rimane costante.

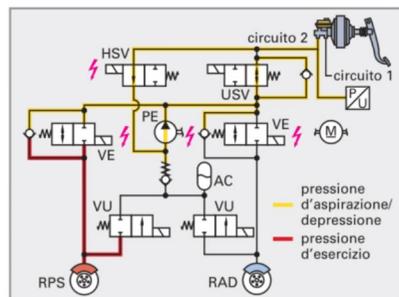


Figura 3: Mantenimento della pressione RPS

Riduzione della pressione (fig. 4)

La valvola di uscita VU posteriore sinistra è azionata e si apre. Si riempie l'accumulatore a bassa pressione AC. Tramite l'USV, il liquido dei freni ritorna al serbatoio della pompa idraulica. La pressione di frenata diminuisce.

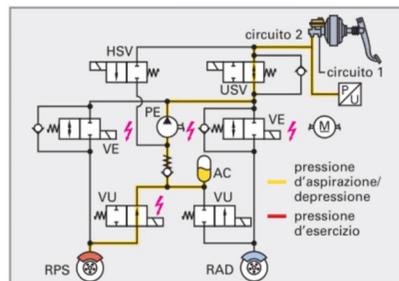


Figura 4: Riduzione della pressione RPS

Programma di stabilità elettronico (ESP II, ESP plus) (fig. 1, pag. 554).

Oltre all'intervento sui freni, questi sistemi intervengono anche sullo sterzo tramite un sistema di regolazione attiva dello sterzo. Se il veicolo è dotato di ammortizzatori a regolazione elettronica, anch'essi possono essere integrati nella regolazione ESP.

I vantaggi che ne derivano sono i seguenti:

- maggiore comfort di marcia;
- migliore stabilizzazione del rimorchio;
- minore distanza di frenata in condizioni d'attrito differenti sui due lati (μ -split).

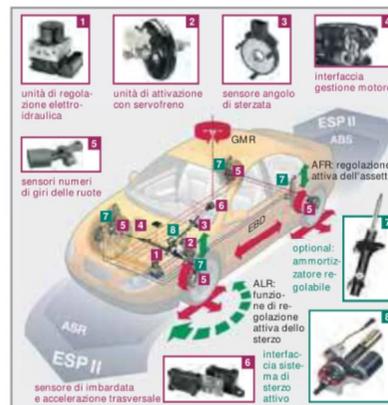


Figura 1: ESP II con intervento sullo sterzo

18.10.17 Sensotronic Brake Control (SBC)

Il freno elettroidraulico SBC (chiamato anche EHB) è un sistema "brake by wire", ossia il comando di frenata del conducente viene trasmesso tramite un cavo elettrico. Il sistema accorpia le funzioni di ABS, ASR, BAS ed ESP.

Struttura. Il sistema SBC (fig. 2) è costituito sostanzialmente da unità idraulica con accumulatore a pressione, unità di azionamento, centralina e sensori del numero di giri e di imbardata. Nell'SBC, la pressione di frenatura delle ruote viene regolata singolarmente. I sensori rilevano la situazione di marcia attuale e, in base a essa, la centralina calcola la pressione di frenata ottimale per ciascuna ruota. Ciò consente di frenare maggiormente le ruote di sinistra che, in caso di curva a destra, possono trasmettere una forza frenante maggiore. In fase di frenata in curva, si garantisce pertanto una decelerazione ottimale e la stabilità del veicolo. Il sistema non necessita di servofreno. L'SBC, inoltre, può assolvere alle seguenti funzioni: asciugatura dei dischi freni, partenza assistita in salita, soft-stop per evitare il beccheggio in fase di frenata.

Funzionamento. Il conducente preme il pedale del freno e genera una pressione in entrambi i circuiti frenanti della pompa. La pressione viene registrata dal sensore b1.

Frenatura SBC. Alimentando le due valvole separatrici $y1$ e $y2$, la centralina chiude il collegamento idraulico all'asse anteriore. A questo punto, la pressione viene convogliata all'impianto frenante da parte dell'accumulatore 3. All'interno dell'accumulatore, la pressione viene generata dalla pompa idraulica ad azionamento elettrico $m1$, e, quindi, misurata dal sensore $b2$. Essa raggiunge al massimo

i 150 bar. Se scende al di sotto di un determinato valore, si riattiva la pompa idraulica. La centralina calcola, per ciascuna ruota, la pressione di frenata ottimale e la regola di conseguenza tramite le valvole di entrata $y6$, $y8$, $y10$, $y12$ e le valvole di uscita $y7$, $y9$, $y11$, $y13$. I sensori di pressione $b3$, $b4$, $b5$, $b6$ comunicano alla centralina le pressioni effettive dei singoli cilindretti. Le valvole di bilanciamento $y3$ e $y4$ garantiscono, ad ogni frenata, la compensazione della pressione sulle ruote di un asse. In caso di frenata in curva e di regolazione della dinamica di guida, esse vengono attivate e chiuse, consentendo di regolare individualmente la pressione su ciascuna ruota.

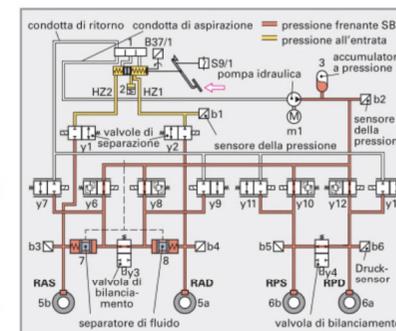


Figura 2: Schema idraulico SBC

18.10.18 Ulteriori funzioni dell'impianto frenante

Partenza assistita in salita, Hill Holder. L'assistente HHC (Hill Hold Control) fa sì che, in caso di partenza in salita, il veicolo non retroceda. In fase di arresto, la pressione di mantenimento del freno viene immagazzinata, anche se non viene premuto il pedale del freno. A tale proposito, la pendenza del veicolo viene rilevata da un apposito sensore di inclinazione. Al momento della partenza, la pressione di frenatura rimane attiva per un massimo di 2 secondi finché il motore non raggiunge una coppia sufficiente a evitare che il veicolo indietreggi. L'HHC è una funzione supplementare dell'ESP.

Discesa assistita, Hill Descent. In caso di discesa su terreni sterrati, premendo l'interruttore dell'HDC (Hill Descent Control) si ottiene una limitazione della velocità di guida tra gli 8 e i 35 km/h, a seconda delle preferenze del conducente. Questa funzione è possibile soltanto in 1ª o in retromarcia. Una spia di controllo sul cruscotto e le luci dello stop segnalano che la funzione è attiva. Qualora la coppia frenante del motore non fosse sufficiente per frenare il veicolo, le ruote sono ulteriormente frenate singolarmente e interviene la regolazione dell'ABS.

Asciugatura dei dischi freni, BDW (Brake Disc Wiping). L'asciugatura dei dischi freni si attiva a seconda delle condizioni di bagnato (sensore della pioggia sul parabrezza) e consiste in un avvicinamento delle pastiglie ai dischi dei freni. L'eliminazione degli spruzzi d'acqua migliora la risposta del freno.

18.10.19 Assistente di frenata (BAS)

In caso di frenata d'emergenza, l'assistente attiva immediatamente la massima frenata servoassistita, riducendo sensibilmente la distanza di arresto. Dal 2011, i sistemi BAS sono obbligatori per tutte le autovetture e gli autocarri immatricolati nell'Unione Europea.

Molti conducenti, in situazioni critiche, sono in grado di premere velocemente il pedale del freno, ma non lo premono con sufficiente forza. Ne consegue che lo spazio di frenata è più lungo del necessario, per cui possono verificarsi tamponamenti. Nella **fig. 1** è evidenziato un confronto, in termini di ritardo di frenata, tra un conducente esperto e un principiante all'inizio della fase di frenata. Più rapido sarà il tempo di intervento, minore sarà lo spazio di arresto del veicolo.

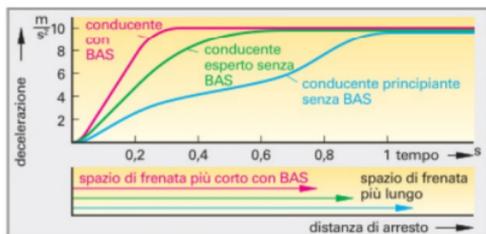


Figura 1: Dinamica di frenata con e senza BAS

Struttura. L'assistente di frenata (**fig. 2**) è costituito dai seguenti componenti:

- centralina BAS (integrata nella centralina ESP);
- elettromagnete di commutazione;
- interruttore d'allentamento;
- sensore corsa pedale.

Funzionamento

Il sensore corsa pedale segnala alla centralina BAS ogni cambiamento di resistenza dovuto al movimento del pedale. Se la centralina riconosce una velocità di azionamento elevata (per esempio in una frenata di emergenza), si attivano gli assistenti di frenata idraulici e pneumatici.

Pneumatico. Si attiva l'elettromagnete di commutazione del servofreno, che apre il passaggio alla camera di lavoro del servofreno. In tal modo, si genera la massima forza di frenata (servoassistita) pneumatica. Dopo l'allentamento del freno, quando il pedale del freno ha raggiunto la sua posizione di riposo, l'interruttore d'allentamento disinserisce

l'elettromagnete di commutazione del servofreno e termina così l'azione del sistema BAS.

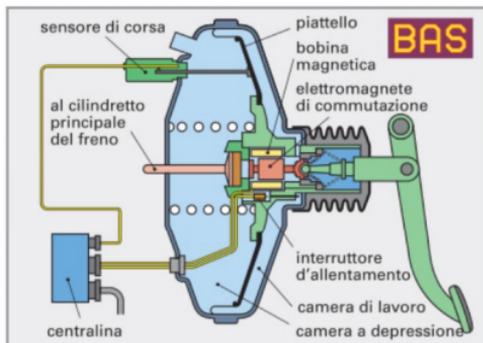


Figura 2: Assistente di frenata

Iraulico. HBA (Hydraulic Brake Assist). In questo caso, tutte le ruote ricevono, se necessario, la massima pressione della pompa di recupero: la frenata è totale. L'ABS regola e impedisce il bloccaggio delle ruote. Per permettere lo scambio dei dati, la centralina BAS è collegata tramite CAN-bus alle centraline di altri sistemi di regolazione dell'assetto, quali l'ABS e l'ASR. Nei veicoli dotati di ESP, tutti i sistemi di regolazione possono essere collegati tra loro tramite la centralina ESP. Se la centralina individua la presenza di un guasto, l'assistente di frenata viene disattivato. Il guasto è indicato mediante una spia luminosa gialla (**fig. 2**).

18.10.20 Assistente alla frenata d'emergenza, Active Brake Assist (ABA)

Lo scopo dell'assistente alla frenata d'emergenza è minimizzare gli incidenti o le velocità di collisione. Il sistema, infatti, si attiva nel momento in cui il conducente non interviene di sua spontanea volontà. Il veicolo frena autonomamente.

Le distanze rispetto ai veicoli che precedono e che seguono sono calcolate per mezzo di sensori e telecamere a infrarossi, laser e con radar. Attraverso il GPS, inoltre, nel sistema possono confluire anche informazioni sulla situazione del traffico.

DOMANDE DI RIPASSO

- 1 Che cosa s'intende per sistema ASR?
- 2 Quali sono i vantaggi dei sistemi ASR?
- 3 Descrivete il funzionamento del sistema ASR con interventi sul motore e sui freni.
- 4 Quali sono i vantaggi dell'ESP?
- 5 Come interviene il sistema ESP/FDR in caso di veicolo sovrasterzante?
- 6 Spiegate il funzionamento dell'SBC.
- 7 Come lavora l'assistente di frenata?
- 8 Come lavora l'assistente alla frenata d'emergenza?