IMPIANTO CARRELLI

Missione dell'impianto

L'impianto carrelli rappresenta un sistema fondamentale, complesso, pesante ed ingombrante preposto a numerose funzionalità:

- *Sostenere il velivolo a terra durante le fasi di handling.*
- *Permettere il rullaggio e la manovra sui piazzali e le piste.*
- *Permettere il decollo e l'atterraggio.*
- *Assorbire l'energia d'impatto soprattutto durante l'atterraggio.*
- *Sostenere gli assali ruote /freni.*
- *Alloggiare l'impianto freni, antislittamento ed orientamento(* ***steering****) del velivolo a terra.*
- *Trovano alloggiamento trasduttori per le condizioni di velivolo a terra o volo.*

Tecniche di realizzazione

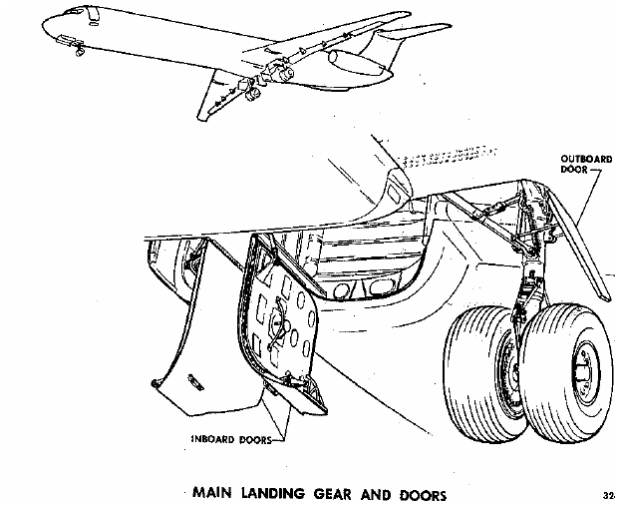
La tecnica di realizzazione si adatta alla tipologia di velivolo e sono possibili varie soluzioni:

- *Carrelli fissi o retrattili*
- *Carrelli con ruote, pattini, galleggianti.*
- *Carrelli rigidi o con ammortizzatori*
- *Carrelli tricicli con due gambe principali e ruotino di coda*
- *Carrelli tricicli con gamba anteriore e due, tre gambe principali.*
- *Carrelli con gamba anteriore e tre (DC10, MD 11) o quattro gambe principali (B747).*

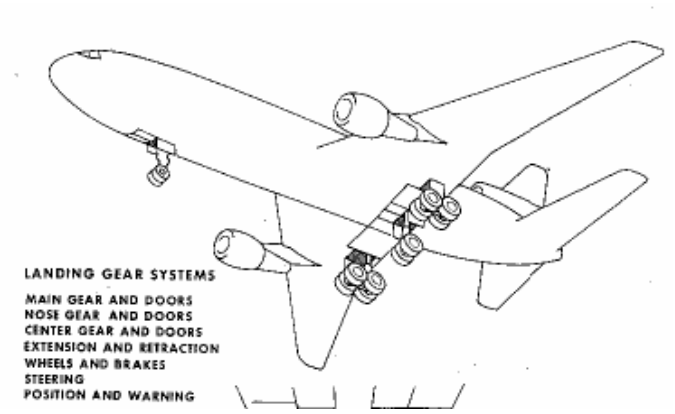
Le soluzioni dipendono dalla missione del velivolo, ed ogni soluzione presenta vantaggi e svantaggi in termini di peso, complessità costruttiva, costo di realizzazione e gestione, causa di avarie, ingombro, ecc. Vediamone alcune:

- *Gli elicotteri sono in genere dotati di una struttura rigida alla quale vengono collegati dei pattini.*
- *Gli aeromobili destinati ad operare sull'acqua possono avere la fusoliera immersa ed i galleggianti come elementi di stabilità laterale.*
- *Gli aeromobili anfibi possono operare sia su acqua che su piste normali.*
- *Gli aeromobili che operano su neve o ghiaccio dispongono di ski.*
- *I velivoli di piccola dimensione dispongono a volte di due gambe carrello poste sotto le ali, e di un ruotino di coda.*
- *I velivoli civili e militari di una certa dimensione dispongono di un carrello triciclo, che si compone di due gambe principali poste sotto le ali e di una anteriore posta all'altezza del muso e dotata di sistema d'orientamento.*
- *I velivoli di grandi dimensioni (wide body: B747, DC10, MD11, C5 GALAXY, ecc.) dispongono di tre o quattro carrelli principali.*

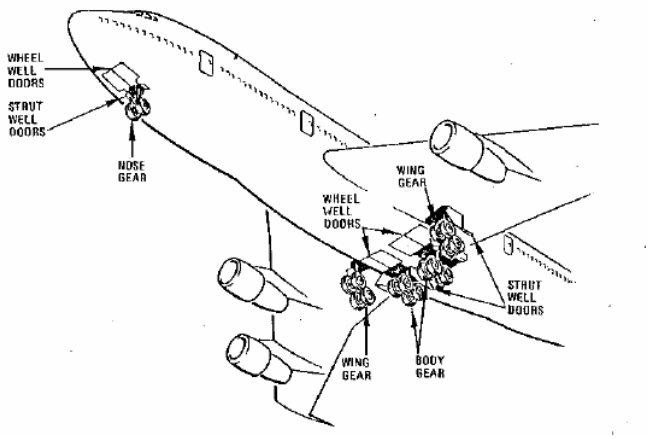
I velivoli di grandi dimensioni attuali raggiungono al momento del decollo a carico massimo pesi notevoli (oltre 400000/500000 kg) ed al momento dell'atterraggio la grande massa e l'impatto possono generare carichi dinamici anche superiori.



Sistema carrelli principali MD80



Sistema carrelli DC10/MD11



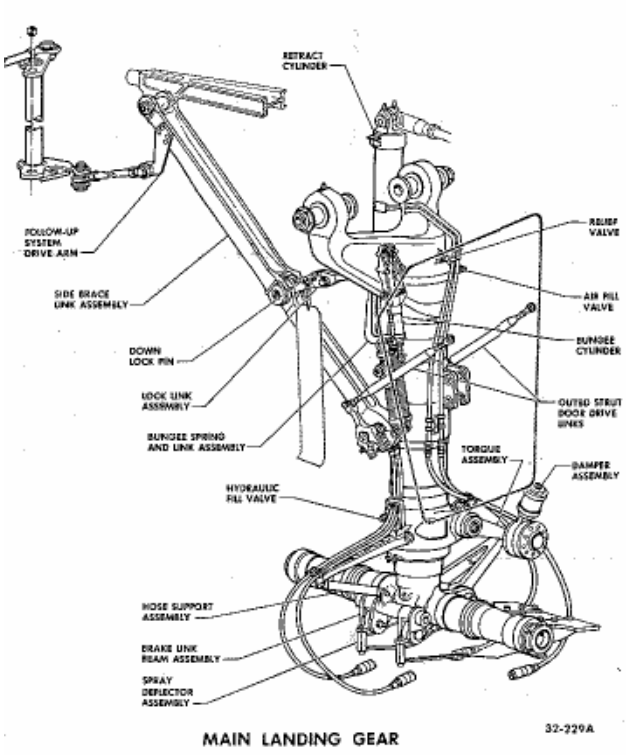
Sistema carrelli B747

Tale situazione genera sulla pista, sui pneumatici, sugli assali e sui carrelli e le loro articolazioni forti sollecitazioni, alle quali debbono essere aggiunte quelle dovute alle manovre a terra, all'azione frenante ed alle alte temperature raggiunte da ceppi freno, dai mozzi delle ruote e dai pneumatici.

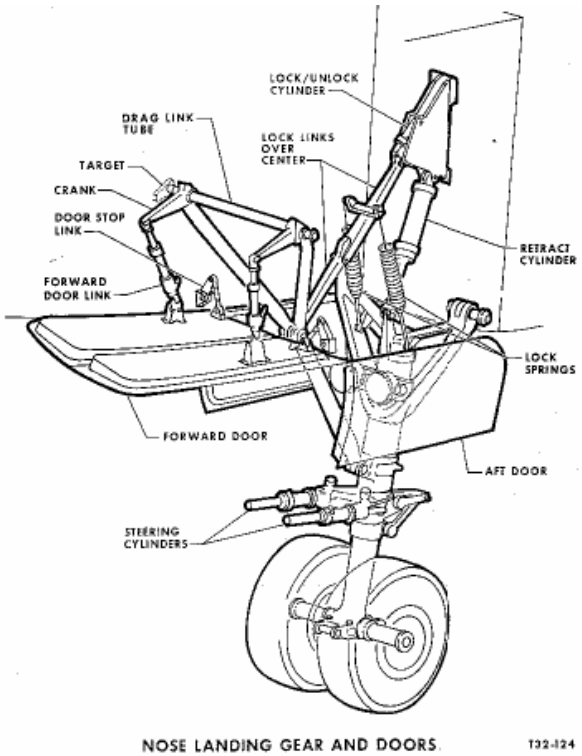
Il tema delle sollecitazioni, del peso della struttura carrello e della sua componentistica, il costo della manutenzione rendono la tecnologia dei carrelli d'atterraggio molto sofisticata.

La necessità di ***limitare le sollecitazioni sulle piste*** *porta a soluzioni costruttive di varia natura, quali ad esempi dotare la stessa gamba carrello di due o quattro ruote, a volte anche sei, oppure dotare il velivolo di tre / quattro gambe principali carrello(vedi MD11 e B747).*

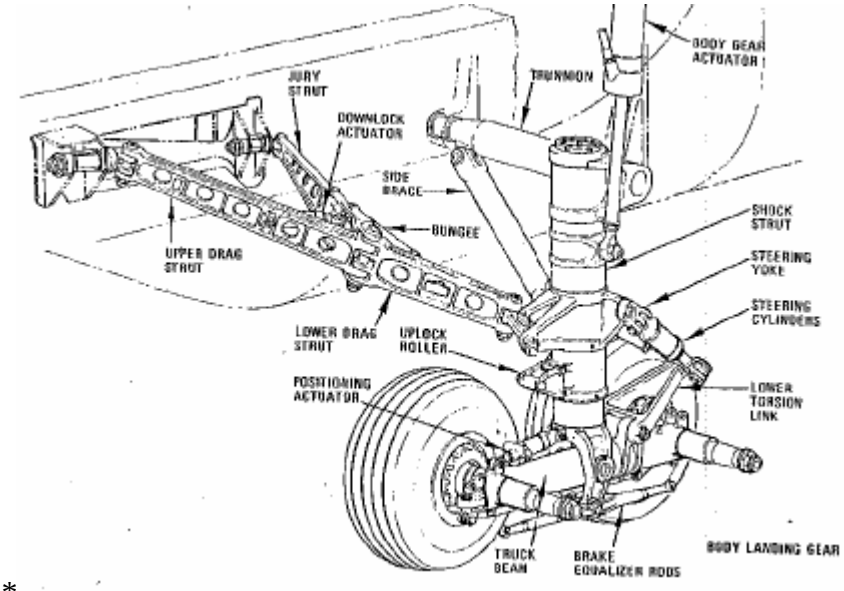
Gli aeromobili di piccole dimensioni dispongono di una ruota per carrello, mentre quelli di dimensioni superiori dispongono di due o più ruote per gamba carrello e questo rende più sofisticata l'installazione degli assali e/o delle travi porta assale.



**



Carrello principale MD80 carrello anteriore MD80



*

Carrello principale velivolo Wide Boby con trave porta-assale, sistema di assetto(tilt) e steering

Carrelli fissi e carrelli retrattili

I velivoli di piccole dimensioni e che operano alle basse velocità dispongono di carrelli di atterraggio fissi, ma pagano questa semplificazione con una forte ***resistenza all'avanzamento****, con elevati consumi ed anche con vibrazioni e rumore.*

I velivoli attuali, sia civili che militari, dispongono tutti di carrelli retrattili, e le uniche eccezioni sono rappresentate da alcuni piccoli velivoli utilizzati nella Aviazione Generale.

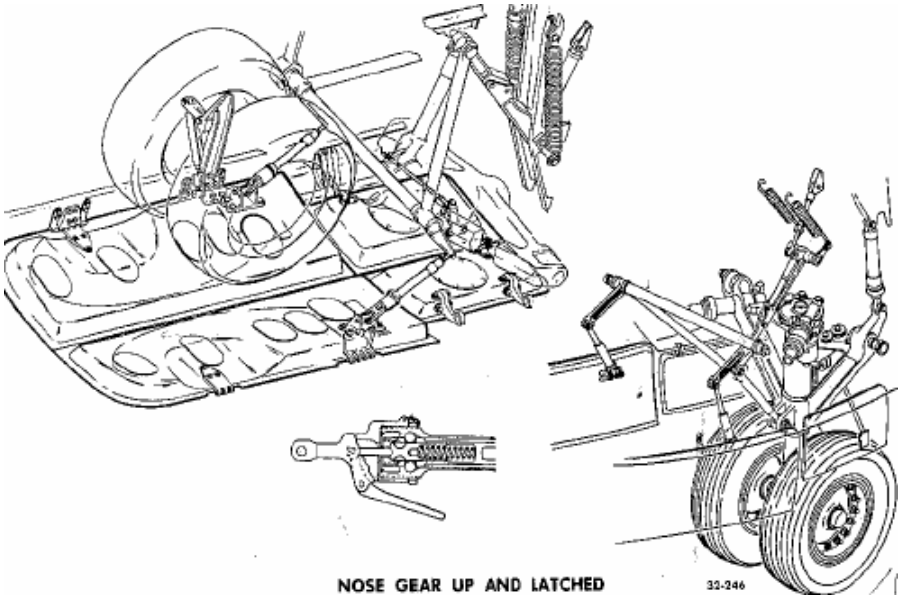
Questa soluzione costruttiva è evidentemente quella ideale dal punto di vista aerodinamico, dei consumi, dell'autonomia e del confort, ma è anche quella che comporta una notevole complicazione costruttiva, dei costi alti di costruzione e di esercizio, e che richiede costante impegno manutentivo.

Infatti, la soluzione dei carrelli retrattili comporta la necessità di prevedere:

- *Vani dedicati ad alloggiare i carrelli con l'ammortizzatore esteso.*
- *Un sistema di articolazione/blocco meccanico della struttura del carrello stesso.*
- *Un sistema di blocco carrelli nelle due posizioni.*
- *Un sistema di portelloni azionati in sequenza e perfettamente allineati al rivestimento di fusoliera per motivi aerodinamici.*
- *Un sistema di avviso conferma per corretto assetto e blocco.*
- *Un sistema di orientamento anteriore azionabile solo a carrello esteso.*
- *Un sistema controllo del riscaldamento dei freni e pneumatici.*
- *Dispositivi e delle procedure di emergenza in caso di mancata uscita del carrello.*
- *Sistema idraulico di estensione retrazione dei carrelli*

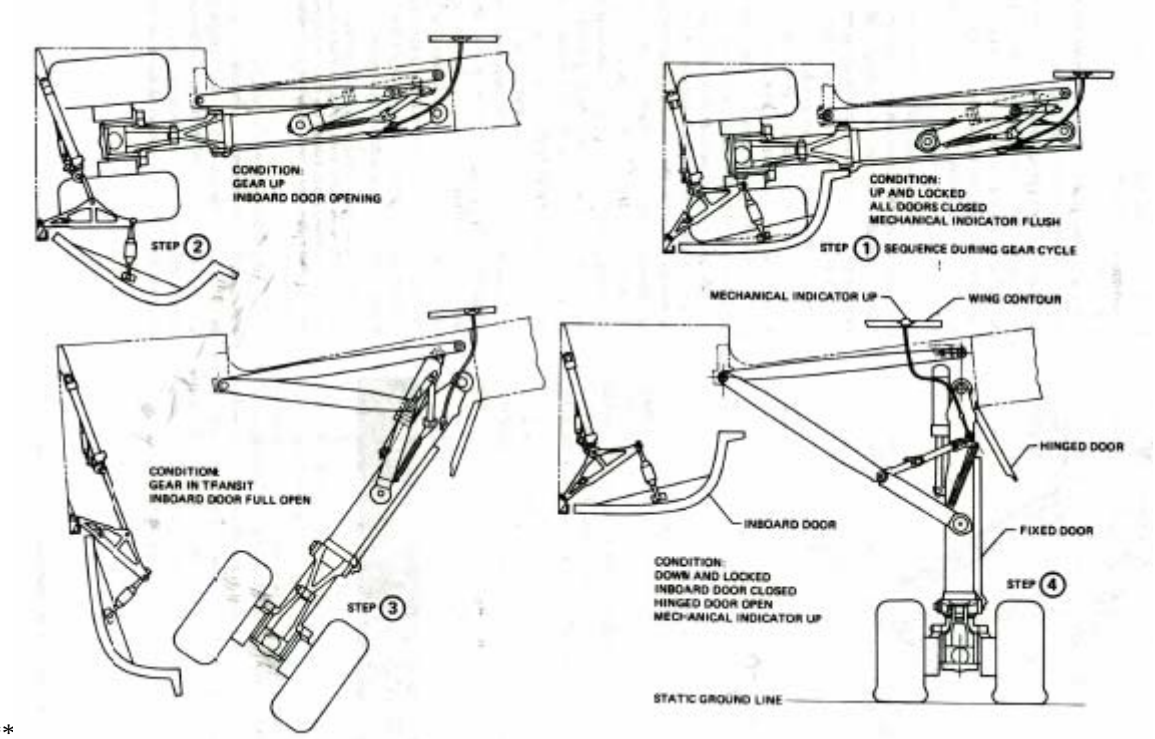
I vantaggi dei carrelli retrattili sono tali che questa è la soluzione comunemente adottata, ma le complicazioni costruttive sono notevoli.

La soluzione dei carrelli non retrattili è usata dove si abbia poco interesse alla ***resistenza aerodinamica*** *e dove non occorre assorbire grande energia in atterraggio, compito affidato in gran parte al pneumatico, come nel caso di piccoli ed economici velivoli da diporto.*



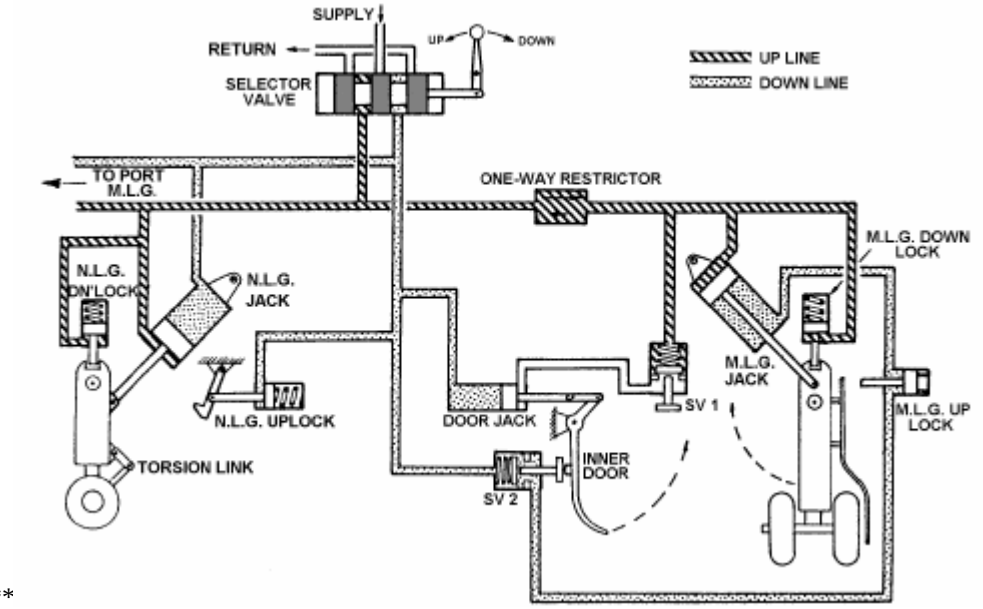
Schema carrello anteriore MD80 retratto ed esteso

Nelle figure che seguono vengono schematizzate le sequenze attraverso le quali una gamba carrello, dopo l'apertura dei portelloni, esce dal vano carrelli ed assume la posizione di carrello esteso e bloccato, per poi verificarsi la chiusura del portellone.
Uno schema idraulico elementare mostra tutti i componenti di base dalla leva di comando ai martinetti di sblocco, a quelli di uscita e rientro carrelli, a quelli di apertura e chiusura carrelli.



**

Sequenza dei movimenti di una gamba carrello e relativo portellone



***

Schema idraulico elementare portellone/gamba carrello

Componenti e Sottosistemi impianto carrelli

Il presente corso è riferito alle soluzioni adottate per i velivoli commerciali, i quali dispongono di carrelli retrattili, e per questo motivo vengono presentate le numerose funzionalità che debbono essere garantite dall'impianto e che vengono realizzate dall'insieme di ***componenti e sottosistemi*** *singolarmente complessi e che quindi – ai fin i didattici - vengono descritti separatamente.*

I componenti *fondamentali sono:*

- *Attacco carrello*
- *Gamba di forza/cilindro/pistone*
- *Ammortizzatore/assale/travi porta-assale*
- *Contro-ventature e sistema di blocco/sblocco contro-ventatura*
- *Sistema di tilt trave porta-assale*
- *Ceppi freno/ruote /pneumatici*
- *Valvole di comando e ceppi freno, impianto freni, sistema anti-slittamento*
- *Sensori di posizione, Sensori di temperatura, Trasmettitori giri ruota*

I sottosistemi *fondamentali sono:*

- *Impianto comando/estensione/retrazione carrelli e movimento portelloni.*
- *Impianto blocco/sblocco carrelli.*
- *Impianto assetto trave porta-assali.*
- *Impianto orientamento/by-pass carrello anteriore.*
- *Impianto frenante ed antislittamento.*
- *Sistema indicazioni posizione, temperature, avvisi di emergenza.*
- *Sistema estensione emergenza.*

*I sistemi di azionamento possono essere ad **attuazione idraulica o elettrica**, ma nella lezione si farà riferimento a sistemi idraulici che sono i più usati nei velivoli civili.*

I componenti significativi

- ***Attacco carrello***

Questa è la parte del carrello solidale alla struttura del velivolo e che permette la rotazione del carrello stesso sul perno di collegamento.
Nel caso della gamba carrello anteriore il suo attacco è solidale alla struttura del Vano Carrello Anteriore, mentre la gamba dei carrelli principali ha il collegamento nella zona centrale dei longheroni alari nel caso dei velivoli ad ala bassa, mentre nei velivoli ad ala alta (C130, ATR42, Bae 146, GALAXY, ecc.) il collegamento è sulla struttura della fusoliera.

L'attacco carrello è la sede dei cuscinetti sui quali ruota il perno della gamba di forza ed è anche il punto di trasferimento dei carichi statici e dinamici verticali, assiali e laterali durante le manovre.

- ***Gamba di forza carrello.***

*Con questo termine si intende l'insieme costituito dal **corpo cilindrico** esterno che con adeguate cerniere si collega (tramite perni di collegamento) all'attacco carrello, e dal **pistone** che scorre nel suo interno. Sia il corpo cilindrico che il pistone sostengono dei collari porta-guarnizioni il cui compito è garantire la tenuta dell'accoppiamento cilindro-pistone.*
*Il pistone a sua volta sostiene **l'assale** o la **trave porta-assali** per le ruote e gruppi frenanti.*
Sulla gamba di forza del carrello sono incernierate le articolazioni delle contro-ventature e si trovano le articolazioni di collegamento del martinetto di estensione e retrazione carrello.

Ammortizzatore

*All'interno del **corpo cilindro (gamba di forza)** può scorrere il corpo del **pistone** e questo genera una **camera di volume variabile** a seconda della escursione del cilindro.*
In termini costruttivi la gamba carrello risulta essere costituita da un cilindro esterno che nella parte superiore presenta la sede dei perni che ruotano nell'attacco carrello, e nella parte inferiore alloggia un collare con un pacco di guarnizioni di tenuta, e che costituisce anche il contrasto al pistone, mentre sulla sua testata del cilindro sono in genere ricavate la valvola per il rifornimento dell'azoto e dell'olio.

All'interno della camera(definita tra cilindro e pistone) viene immesso un fluido comprimibile ad alta pressione (azoto) che genera sulla testa del cilindro e su quella del pistone un campo di forze che da una parte sostiene il velivolo e dall'altra trasmette il carico sulla pista. La tenuta viene garantita da pacchi di guarnizioni.

Quando il velivolo è sollevato da terra il pistone si porta a fine corsa e realizza le condizioni di massimo volume disponibile. (Vedi figure allegate).
Quando il velivolo è a terra al suo carico massimo o quando è sottoposto a carichi dinamici, la camera interna si riduce al minimo ed il fluido raggiunge la pressione massima.

Il sistema fluido-cilindro-pistone costituisce un sistema elastico, con una frequenza propria di oscillazione, che nella dinamica delle fasi di atterraggio e decollo necessita di un sistema di

smorzamento. Per questo motivo all'interno della camera viene allocato anche dell'olio al quale viene attribuito il compito di realizzare lo smorzamento tramite particolari restrizioni destinate alla dissipazione della energia.

Volendo quindi riassumere abbiamo che il gas contenuto nella camera (che anche in condizioni di escursione massima si trova già ad altissima pressione) costituisce un sistema elastico che bilancia il carico che il velivolo trasmette dalla gamba di forza alla testa del pistone e da questo alle ruote e poi alla pista.

Poiché i carichi del velivolo sono mutevoli sia in condizioni statiche che dinamiche il gas contenuto nella camera mediante compressione o espansione si adatta al le necessità.

Il sistema si comporta quindi come un " molla" che per effetto della deformazione genera una forza variabile capace di contrastare un carico variabile rappresentato dal velivolo nel suo insieme sia in condizioni statiche che dinamiche.

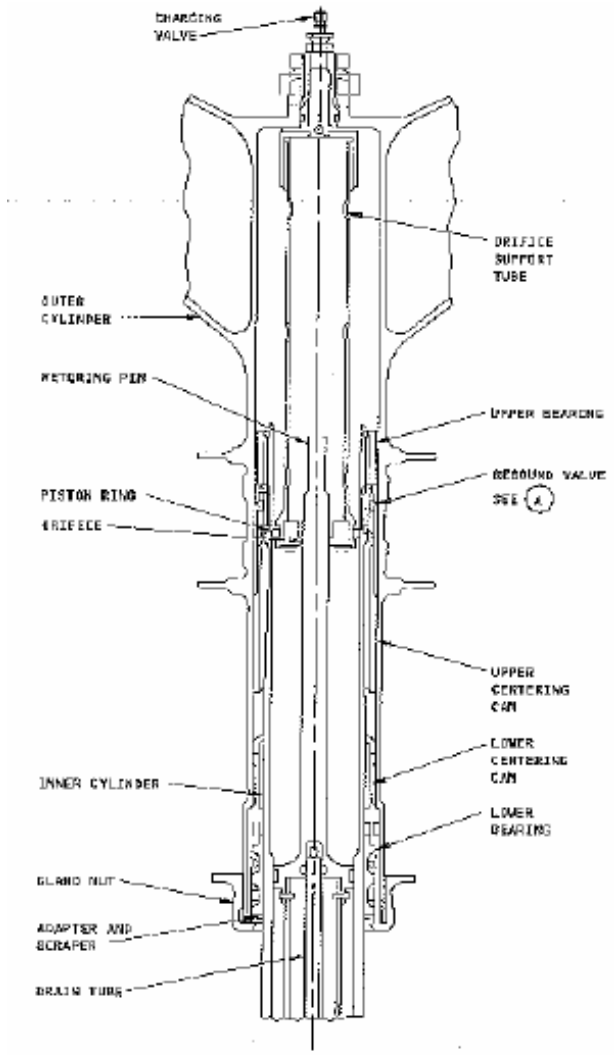
La variazione nel tempo della pressione del gas contenuto nella camera genera delle oscillazioni che debbono essere smorzate, altrimenti il velivolo si troverebbe ad essere sottoposto alla stessa eccitazione per lungo tempo.

*Questa **azione di smorzamento** in genere viene ottenuta mediante un sistema di smorzamento idraulico, che si basa sul semplice concetto di far passare una certa quantità di fluido incomprimibile attraverso dei fori calibrati di sezione ridotta ove il fluido passando con difficoltà disperde energia e quindi attiva una forma di smorzamento trasferendo l'energia meccanica al fluido sotto forma di calore.*

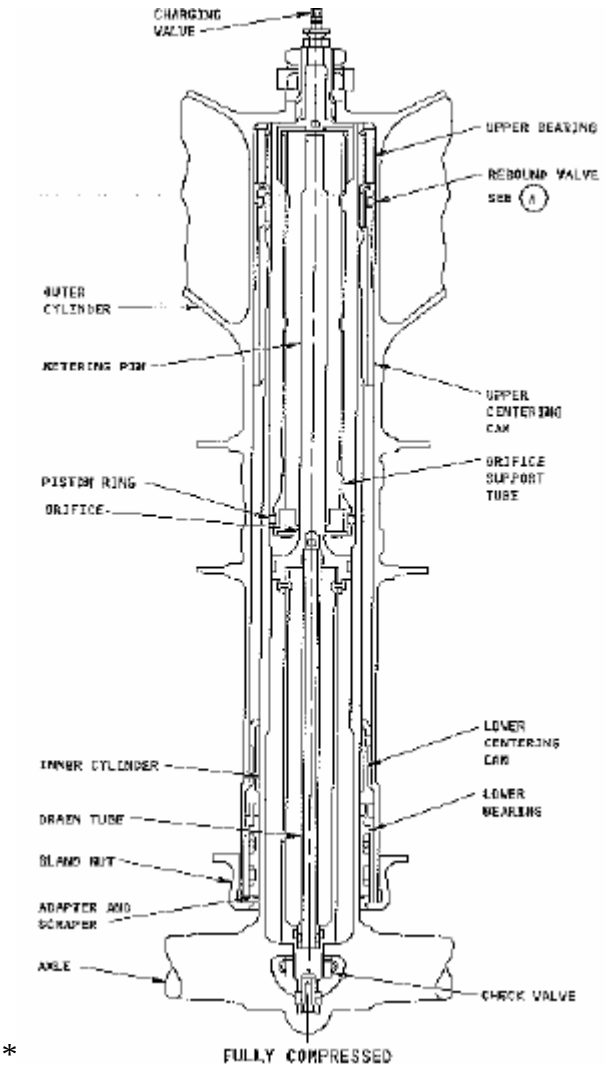
*La gamba carrello, oltre al **cilindro esterno** nel quale scorre il pistone, dispone anche di un **cilindro interno** coassiale e solidale al primo, dotato di un sistema di fori/restrittori per permettere il passaggio dell'olio durante l'estensione del pistone.*

Quando il pistone comprime il fluido elastico lo spazio disponibile destinato all'olio si riduce a quello della parte alta del cilindro e quindi deve andare ad occupare il volume delimitato dal cilindro interno che risulta accessibile solo attraverso fori calibrati (vedi figure allegate relative alle varie condizioni).

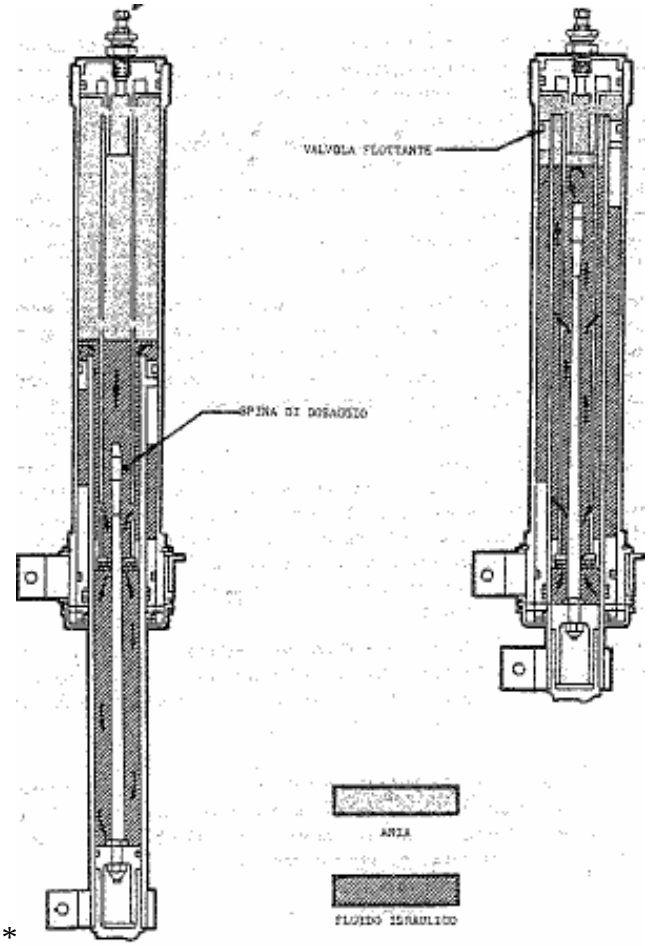
*L'insieme di luci che strozza il percorso dell'olio genera un **effetto smorzamento** sia nelle fasi di espansione sia di compressione, ed in alcune soluzioni costruttive tali luci hanno anche una **geometria variabile**, in quanto sul pistone stesso viene collocata porta una **spina calibrata** che muovendosi cambia la luce disponibile al passaggio dell'olio e quindi l'effetto smorzante si modifica con il procedere della compressione.*



* FULLY EXTENDED

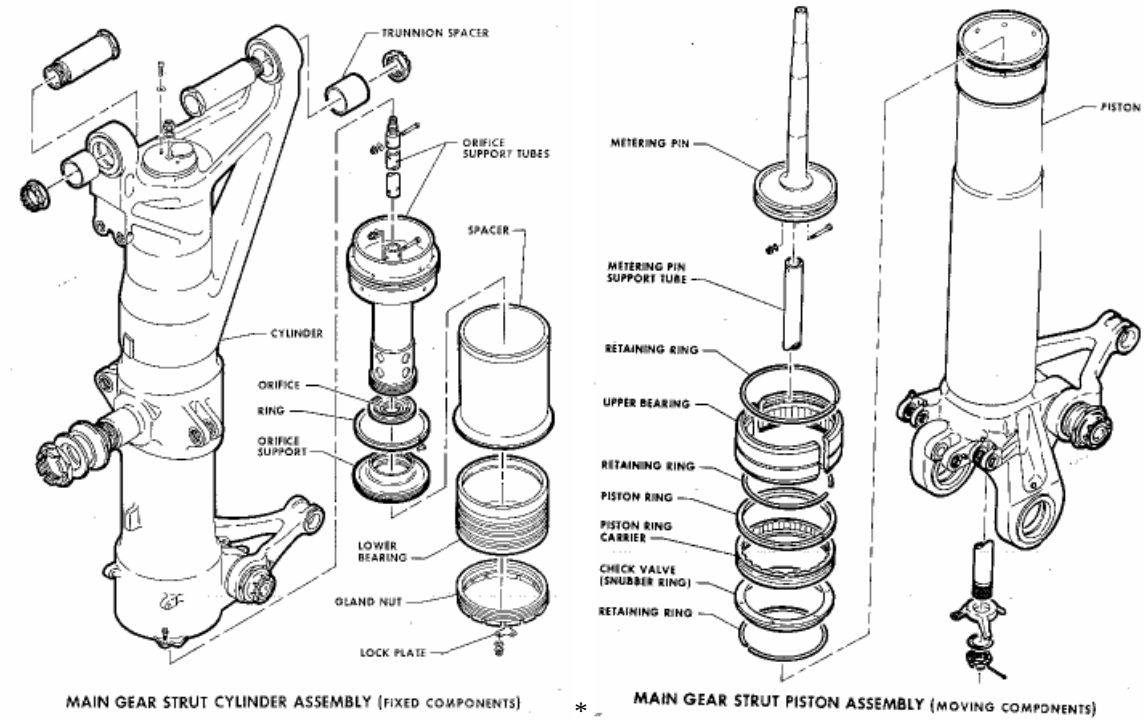


* FULLY COMPRESSED



***

Spostamento dell'olio durante ala compressione dell'ammortizzatore



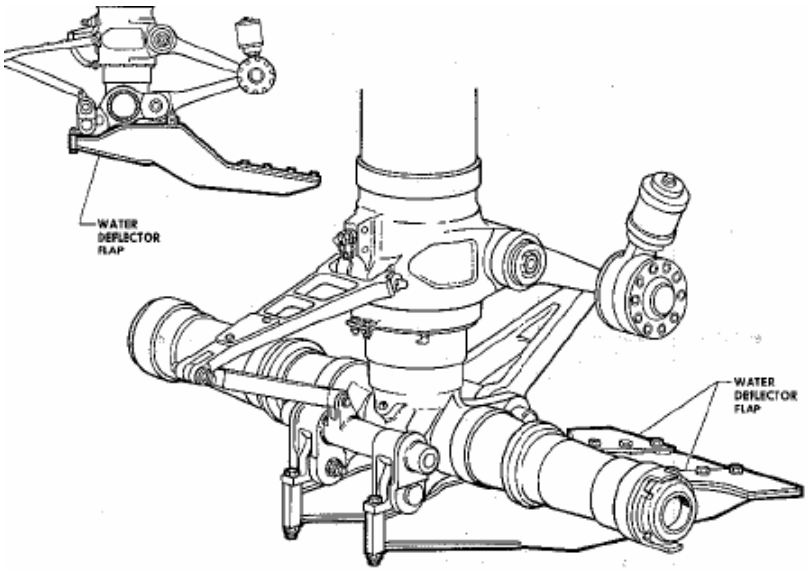
- *

- ***Vista di componenti della gamba di forza e del pistone, gruppi guarnizioni, compassi antitorcenti***

- ***Assale carrello***

La parte inferiore del pistone sostiene l'assale su cui sono installati i ceppi freno, le due ruote ed i cuscinetti di rotolamento.

Nel caso di carrelli con quattro o sei ruote (quindi due o tre assali) risulta necessaria una trave porta-assali che in questo caso sarà oscillante rispetto al pistone del carrello e dotata di un sistema idraulico di governo dell'assetto: vedi figure pagine precedenti.



**

Carrello principale, trave porta-assali,smorzatore, compassi antitorcenti

- ***Trave porta-assali***

Quando i carrelli principali dispongono di più assali per le ruote alla base del pistone viene invece montata una ***trave porta-assali oscillante****, dotata di* ***un sistema di assetto variabile*** *sulla quale vengono installati gli assali, e su questi i gruppi freno, i cuscinetti, le ruote ed i pneumatici.*
In questo caso la trave porta-assali oscillante deve disporre di un ***sistema di tilt,*** *azionato in genere idraulicamente ed asservito al sistema di comando in estensione o retrazione dei carrelli per assumere l'assetto corretto sia in atterraggio (angolo tra asse velivolo e pista), sia durante la retrazione (assetto del carrello alla massima estensione dell'ammortizzatore nel vano carrelli).*

In alcuni velivoli, ove la trave porta-assali venga sottoposta a sforzi laterali eccessivi durante il cambio di direzione (raggio di curvatura troppo stretto), la trave porta-assali di alcune gambe carrello principale sono dotate di un ***dispositivo di snodo****, e di conseguenza gli assali della stessa trave porta-assali non sono più paralleli durante la sterzata, ma convergono sul centro di curvatura della traiettoria del velivolo durante il rullaggio. (vedi figura pag.4)*

- ***Compassi antitorcenti***

L'insieme cilindro-pistone della gamba carrello sia principale sia anteriore dispongono sia del grado di libertà che consente gli spostamenti assiali (compressione ed espansione del fluido elastico) sia quello intorno all'asse di simmetria cilindrica.

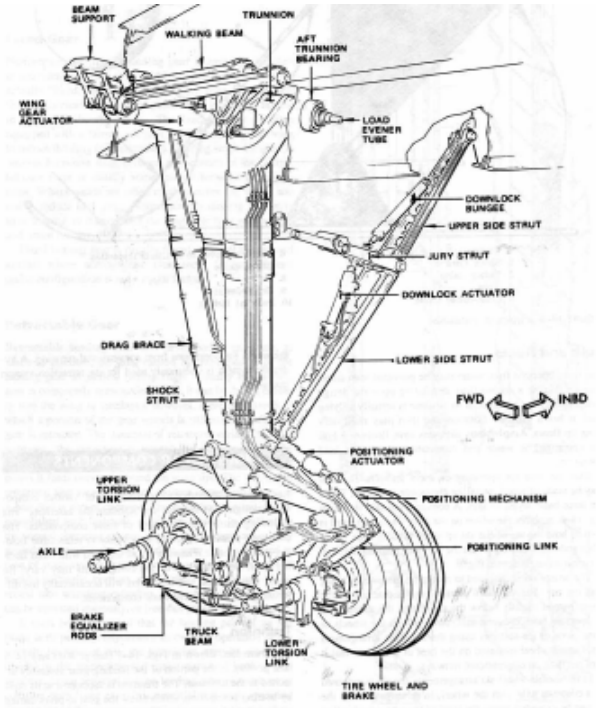
Nel caso dei ***carrelli principali*** *questa rotazione deve essere interdetta e per questo motivo sono dotati di due compassi antitorcenti (****torque links****) che ruotano su perni solidali uno al corpo del*

pistone e l'altro al corpo del cilindro e consentono il moto coassiale relativo cilindro-pistone, mentre ***rendono impossibile la rotazione del pistone rispetto alla gamba di forza.****(vedi figura).*

Il ***carrello anteriore*** *dispone di un sistema simile di compassi antitorcenti, che in condizioni normali mantiene il* ***ruotino anteriore centrato sull'asse velivolo.***
*Quando invece il velivolo deve cambiare direzione (****Steering****) tale limitazione deve essere disinserita e per questo la coppia di compassi antitorcenti carrello anteriore è dotata di un ulteriore* ***dispositivo che permette di disporre del grado di libertà necessario.***
Il dispositivo consiste in un collare ***collegato alla gamba di forza e che può ruotare se comandato da due martinetti idraulici.*** *La rotazione controllata intorno al suo asse avviene quando i martinetti sono alimentati dalla* ***valvola di orientamento,*** *altrimenti determina le condizioni di blocco idraulico e ruotino centrato.*
Durante le operazioni di ***Traino a terra (Towing)*** *il sistema idraulico di orientamento deve essere disinserito e posto in by pass, oppure si sgancia meccanicamente il compasso antitorcente collegato al pistone, rendendo libero il carrello anteriore alle rotazioni a sinistra o destra.*

- ***Contro-ventature***

Le contro-ventature sono un sistema di articolazioni a compasso che debbono permettere al carrello, sia principale che anteriore, di mantenere la posizione estesa anche se sottoposti alle forti sollecitazioni dei carichi laterali o longitudinali; inoltre, ripiegandosi, consentono alla gamba carrello di rientrare durante la fase di retrazione nel proprio vano.
Quando i martinetti idraulici di comando mettono in movimento la gamba carrello le contro-ventature si ripiegano per consentire la retrazione o si dispongono in assetto di contrasto quando il carrello è esteso.
Per motivi di sicurezza il loro assetto deve essere garantito a carrello esteso anche in assenza di pressione idraulica e per questo sono dotate di meccanismi di ***fuori-centro meccanico*** *che garantisce l'assetto anche sotto carico laterale, e di martinetti di blocco/sblocco, per gestire le fasi di manovra dei carrelli. Tutto il* ***sistema delle sequenze viene*** *gestito dalle valvole di comando carrelli che alimentano anche questi martinetti di sblocco nelle giuste fasi, garantendo il sincronismo tra movimento dei carrelli, portelloni, contro-ventature e dei meccanismi di blocco e sblocco.*



**

- ***Smorzatori anti-shimmy***

*Il carrello anteriore, dotato del sistema di orientamento, subisce durante il decollo e l'atterraggio una serie di oscillazioni (**shimmy**) che debbono essere smorzate ed a questo fine una modalità di ridurre le vibrazioni è quella di avere uno **smorzatore idraulico.***

Lo smorzatore è costituito da un cilindro solidale ad una parte della struttura nel quale un pistone interno si posiziona a formare due camere completamente piene di olio e comunicanti tra loro tramite un sistema di orifizi calibrati ricavati nella testa del pistone, che a sua volta è collegato all'altra parte della struttura di cui si vogliono attuare smorzamenti.
Quando il cilindro viene sottoposto ad un moto relativo al cilindro costringe l'olio a passare da una camera all'altra e la resistenza offerta da questo orifizio dissipa energia e genera lo smorzamento alle oscillazioni.Il principio fisico di funzionamento è identico a quello su cui si basa lo smorzamento degli ammortizzatori dei carrelli principali.
Sullo stesso principio sono realizzati altri tipi di smorzatori installati anche sui carrelli principali, per assorbire le vibrazioni innescate dal gruppo freni, ed anche in alcuni comandi di volo.

- ***Pneumatici***

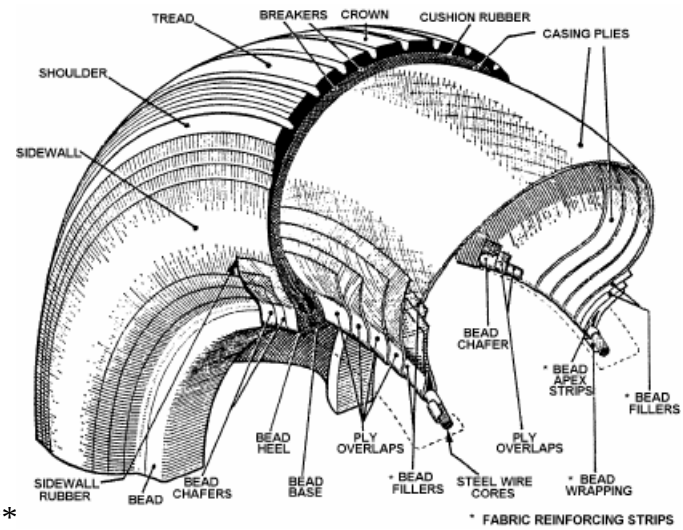
*I pneumatici e le ruote dei carrelli sono sottoposti a fortissime **sollecitazioni** e gli eventuali danneggiamenti possono causare incidenti gravissimi; ne consegue che la **tecnica costruttiva** e le **norme di manutenzione** sono pertanto molto severe.*

*I **pneumatici** sono soggetti a **carichi** e **velocità** molto elevate ed inoltre durante la corsa di decollo/atterraggio sono sottoposti ad un forte riscaldamento a causa dell'attrito volvente, reso ancora più critico se la pressione del pneumatico non è perfetta.*
Il riscaldamento, in atterraggio, è causato anche dal calore generato dai freni e che viene smaltito mediante lo scambio con l'aria esterna, ed in alcuni casi anche con dei ventilatori.
*Si deve tenere presente che rispetto ad un veicolo industriale la **velocità** ed il **carico** di un pneumatico di aereo è anche cinque/sei volte superiore.*
*Il pneumatico è costituito fondamentalmente di due parti: la **carcassa** ed il **battistrada.***

*La **carcassa** è formata di diversi strati di filo di nylon gommato, chiamati tele, il cui numero dipende dal carico da sopportare.La tele sono ancorate a dei cavetti di acciaio ad alta resistenza che formano i talloni, il cui compito è quello di dare rigidità alla carcassa e farla aderire al cerchione.La parte esterna della carcassa è ricoperta da uno strato di gomma di spessore variabile denominato battistrada, che è dotato di una serie di scanalature per consentire l'aderenza anche quando la pista risultasse bagnata e quindi ridurre il fenomeno dell'hydroplanning.*
In esercizio il battistrada viene sottoposto a logoramento e superati certi limiti di usura oltre i quali si sostituisce la ruota ed in assenza di danni particolari può essere ricoperto.

*Per il pneumatico la corretta **pressione di gonfiaggio** è fondamentale:*

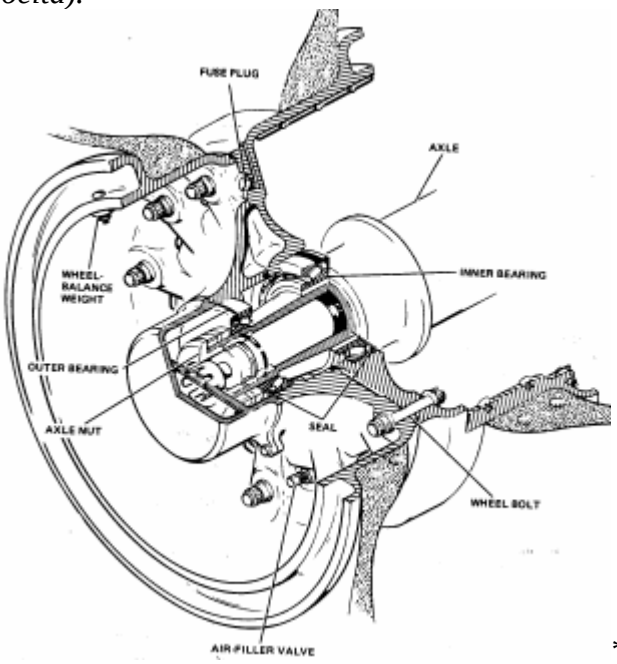
- *Un difetto di pressione può indurre una usura irregolare e delle sollecitazioni anomale su tutta la struttura riscaldamento eccessivo.*
- *Un eccesso di pressione riduce l'aderenza alla pista, rende il battistrada più vulnerabile ai danni e riduce l'elasticità della carcassa rendendola vulnerabile.*



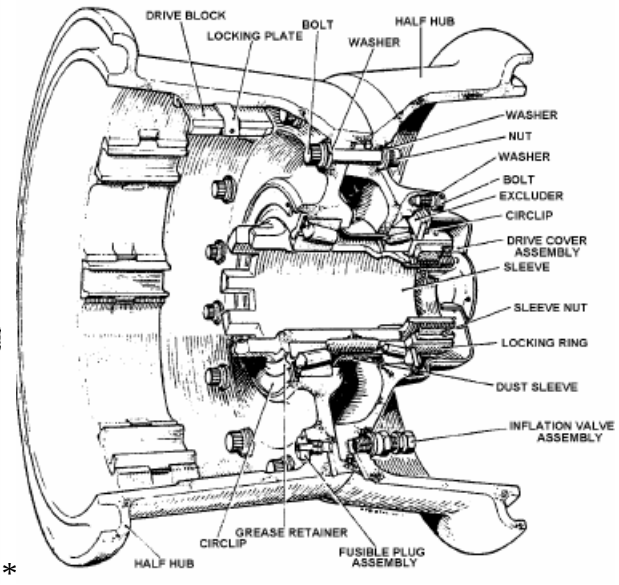
**

- ***Ruote***

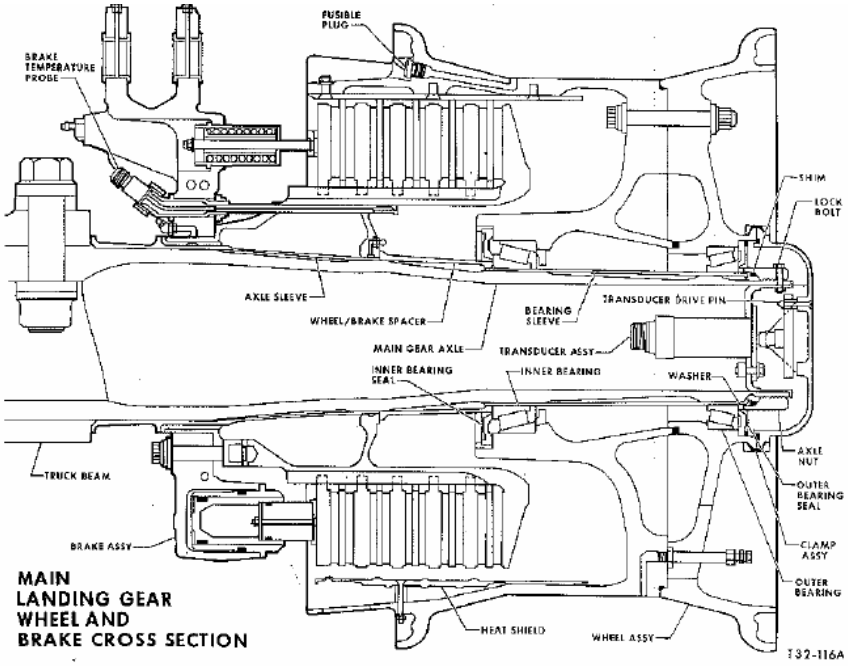
Le ruote dei velivoli vengono realizzate in lega di alluminio o magnesio mediante fusione o forgiatura, e sono costituite da due parti accoppiate con strettissima tolleranza di coassialità mediante bulloni ad alta resistenza e rigorosa taratura.
Le ruote portano al loro interno le sedi per i cuscinetti conici che vengono poi serrati sugli assali con severo controllo della taratura.
Le ruote sono dotate della ***valvola di gonfiaggio*** *e di* ***tappo di materiale basso-fondente,*** *che ha la funzione di garantire lo sgonfiaggio automatico quando la temperatura interna diventa tanto alta da far rischiare l'esplosione del pneumatico (ad esempio dopo un decollo interrotto ad alta velocità).*



**

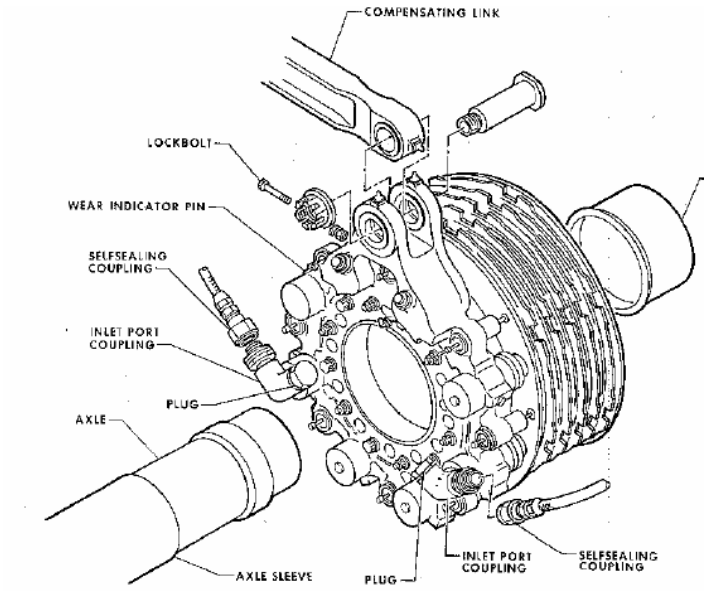


*



MAIN LANDING GEAR WHEEL AND BRAKE CROSS SECTION

* *



** MAIN GEAR WHEEL BRAKE ASSEMBLY REMOVAL/INSTALLATION

- ***Impianto freni***

Il peso dei velivoli e la loro velocità di atterraggio condizionano la tecnologia dell'impianto freni, che unitamente all'impianto di inversione spinta, spoilers di terra, ecc. ha il compito di assorbire l'energia cinetica del velivolo dopo l'atterraggio o dopo un decollo interrotto.

L'impianto è costituito da vari componenti tra cui:

- *Pedaliera con cui i piloti danno il comando*
- *Doppio circuito idraulico di alimentazione*
- *Valvole di alimentazione idraulica ed accumulatore di emergenza*
- *Doppia serie di pistoncini di attuazione, per ridondanza*
- *Ceppo freno*
- *Valvole antislittamento*
- *Circuito di ritorno al serbatoio idraulico*

Un componente fondamentale risulta essere il ceppo freno che a seconda delle caratteristiche del velivolo può essere realizzato in vari modi: freni a ***ganascia****, a* ***disco singolo*** *e* ***multi disco.***

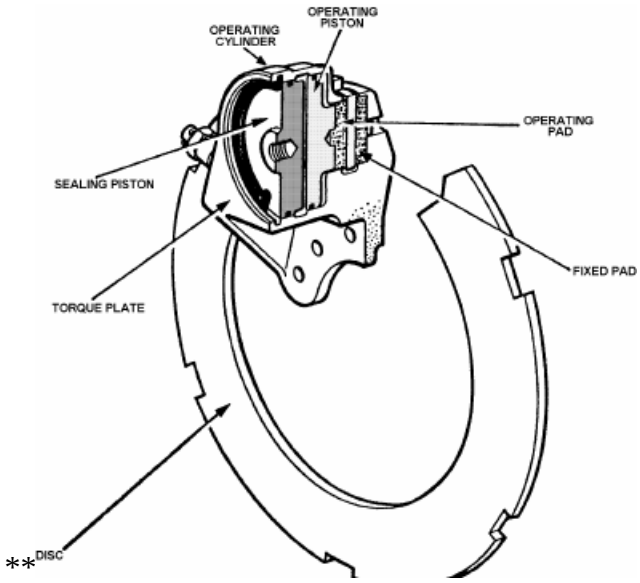
Nella pratica i freni utilizzati sono a ***disco singolo*** *per velivoli piccoli e lenti, e* ***freni multi-disco*** *per quelli grandi e veloci.*

L'azione frenante è in genere realizzata mediante un servocomando impianto idraulico che nei velivoli leggeri è fornita e modulata dalla azione esercitata dal pilota sul fluido tramite una pompa collegata al pedale del freno, mentre quando il velivolo è pesante lo sforzo sarebbe troppo grande ed in questo caso si utilizza la ***servo-pressione*** *dell'impianto idraulico gestita tramite apposite valvole dette* ***metering valve.***
Per motivi di sicurezza il sistema di alimentazione idraulica è in genere doppio e si dispone anche di accumulatori idraulici per permetterne il funzionamento anche in casi estremi.

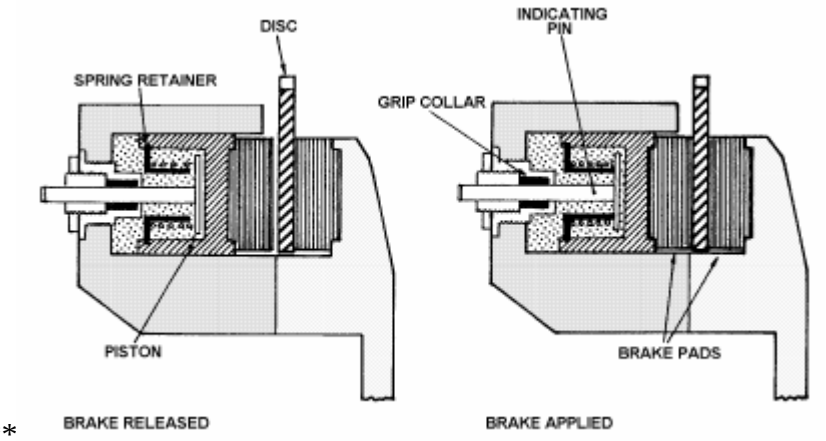
Il compito dei ceppi freno è quello di convertire l'energia cinetica in calore e poi smaltire il calore stesso (alcuni velivoli dispongono di ventilatori di raffreddamento).Durante la frenata l'azione deve essere modulata per evitare che il pneumatico si blocchi con conseguente riduzione della azione frenante e danneggiamento del battistrada.
Per questo motivo nei velivoli moderni, in particolare quelli di grandi dimensioni, il rallentamento viene ottenuto combinando l'azione dell'inversione spinta dei motori, dei comandi di volo e l'azione dei freni sui quali si aggiunge la modulazione di un ***sistema antislittamento****.*

- ***Freni a disco singolo e dischi multipli***

Nel primo tipo il disco ruota solidale alla ruota, mentre solidale all'assale è il meccanismo sede delle guarnizioni frenante è solidale all'assale. Questo sistema è in pratica identico a quello comunemente usato sulle auto e sulle moto.
La pressione dell'impianto idraulico, tramite una serie di pistoncini, realizza l'azione frenante tra disco solidale alla ruota e la ganascia solidale all'assale.



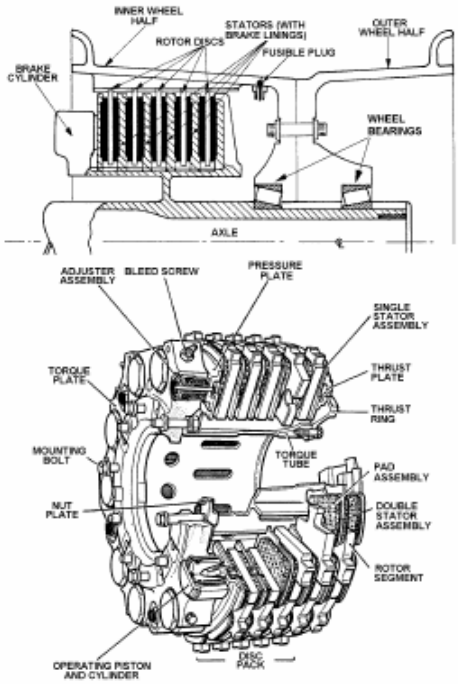
Schema di freno a disco semplice



**

Schema di pistoncino di attuazione

Nel caso di freni a disco multiplo questi funzionano sullo stesso principio del freno mono-disco, ma si amplifica l'azione mettendoli in parallelo.



**

Schema di freno a dischi multiplo

Costruttivamente si tratta di un pacco frenante costituito dall'alternanza di ***rotori*** *dotati di dentatura periferica esterna che si calettano all'interno della ruota, e di* ***statori*** *installati su un canotto porta-statori flangiato da una parte per collegarsi all'assale.*
Il pacco dei dischi alterna quindi dischi statici calettati sul canotto solidale all'assale e dischi rotanti che girano con la ruota.
L'insieme è contrastato da una ***piastra di contrasto*** *ove sono installate due serie di pistoncini alimentati da impianti diversi e comandati dalla stesa valvola, anche questa solidale all'assale.*

Quando i pistoncini, alloggiati su un supporto che risulta solidale a canotto porta statori, vengono messi in pressione la piastra di contrasto trasmette la forza sul pacco di rotori e statori, si ha il serraggio dei rotori e degli statori sulle guarnizioni di attrito; in questo modo si sviluppa l'azione frenante con una grande produzione di calore pari alla riduzione di energia cinetica del velivolo.

*La **temperatura** del pacco frenante raggiunge valori molto alti e diventa fonte di sollecitazione anche per la ruota e per il pneumatico e per questo motivo viene monitorata tramite un sistema di sensori ed indicata in cabina piloti.*

- ***Freni al carbonio***

*La tecnologia dei freni al carbonio ha portato grandi vantaggi alla tecnica costruttiva in quanto pesano il 30 / 40% in meno di quelli tradizionali, lavorano a temperature molto più alte, e sono caratterizzati dal fatto che il **coefficiente d'attrito** cresce con la temperatura, al contrario di altri materiali, ed inoltre hanno anche una migliore conducibilità termica e questo migliora la dispersione del calore.*
Altro aspetto interessante è che la vita operativa è superiore e questo genera vantaggi economici sulla gestione e riduce gli oneri finanziari delle scorte.

- ***Sensori di posizione***

Il sistema dei carrelli retrattili comporta non solo il movimento del carrello e delle sue contro-ventature, ma anche del relativo portellone che deve aprirsi e chiudersi in fase con il movimento del carrello stesso.
*Il forte assorbimento idraulico comporta che tali movimenti in sequenza richiedano del tempo da quando si muove la leva comando a quando il ciclo sia completato e per questo motivo una serie di **sensori** controlla la posizione della leva di comando carrelli, del portellone e delle contro-ventature, e trasmette ad appositi **luci di posizione** lo stato delle sequenze e degli assetti.*

Le luci di avviso hanno in genere colori diversi (verde, giallo, rosso) per indicare assetti corretti, fasi di transito, condizioni di insicurezza.
I sensori sono a volte dei micro-interruttori meccanici, a volte sensori di prossimità sensibili ai campi magnetici.

- ***Dispositivi ottici controllo carrelli***

La corretta posizione relativa tra gamba del carrello ed assetto delle contro-ventature è determinante ai fini della sicurezza durante l'atterraggio, in particolare nel caso di emergenza idraulica ed il carrello venisse esteso per caduta o quando le sequenze delle luci avviso fossero discordanti.
*In questo caso, prima dell'atterraggio, l'equipaggio può verificare visivamente, mediante appositi dispositivi ottici, l'**allineamento dei riferimenti posti sulle contro-ventature**, peraltro anche illuminati, al fine di avere la certezza che i carrelli siano bloccati in modo corretto.*
*L'accesso ai dispositivi ottici avviene in genere attraverso appositi **sportelli posti sul pavimento** della cabina pressurizzata che con un sistema a cannocchiale consentono di traguardare i riferimenti.*

- ***Sistema estensione /retrazione carrelli***

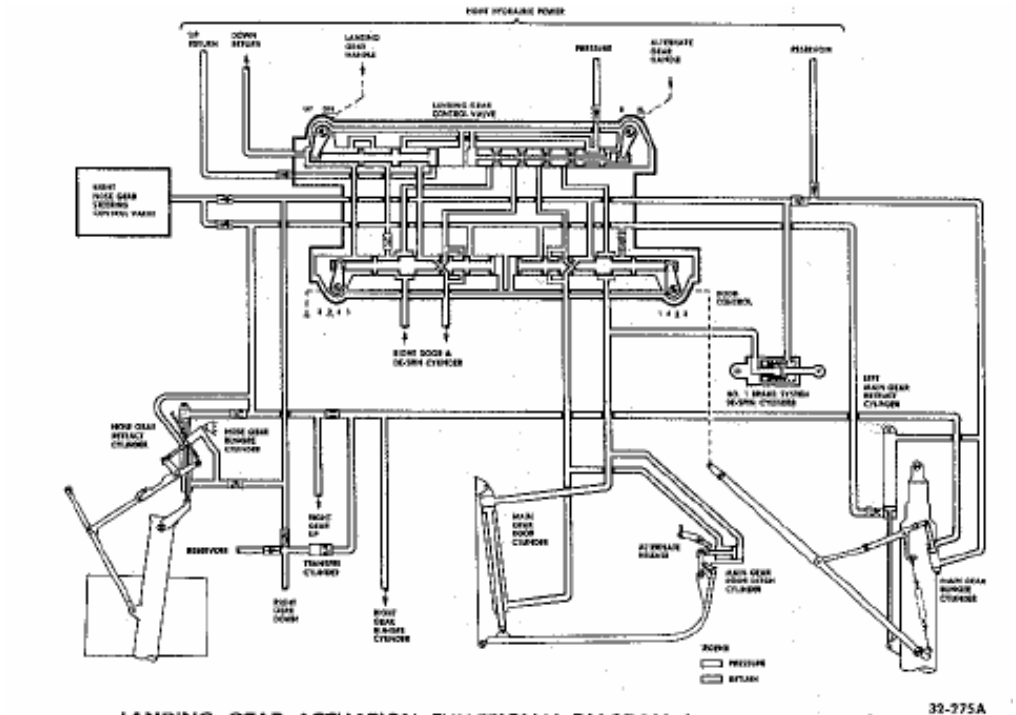
La necessità di ridurre la resistenza aerodinamica comporta l'adozione di carrelli retrattili movimentabili mediante sistemi di attuazione in genere idraulici

*Il comando, dato con **la leva comando carrelli** alla valvola di azionamento, mette in atto una serie di sequenze di apertura/chiusura portelloni, azionamento meccanismi di blocco/sbocco, movimento delle gambe di forza in estensione/retrazione, meccanismi di assetto trave porta-assali, predisposizione sistema di orientamento e sistema frenante.*

*Il movimento dei carrelli mediante **sistema elettrico** è anche usato, ma quello **idraulico** è il più diffuso per azionare carrelli che richiedono grandi sforzi e tempi di manovra contenuti, come nel caso di velivoli da trasporto civile e militare di certe dimensioni.*

Per alloggiare i carrelli in fusoliera sono necessari spazi dedicati (Vani Carrello) ed un sistema di movimentazione portelloni che consenta il ripristino della continuità aerodinamica.

Per motivi di sicurezza richiedono dispositivi d'aggancio dei carrelli quando sono in condizione retratta per non affidarsi alla sola e continua azione dell'impianto idraulico.



** LANDING GEAR ACTUATION FUNCTIONAL DIAGRAM (HYDRAULIC-EXTENDED)

*Con riferimento al sistema idraulico riportato in figura e relativo al velivolo MD80 si vede che il comando è dato in cabina piloti tramite una **leva comando carrelli** che agisce sulla **valvola comando** carrelli e portelloni: il comando attiva la valvola di comando ed una serie di **controlli di sequenza** tra una serie d'eventi.*

*Prendiamo il caso di **comando carrello giù (down)** si ha una sequenza del tipo:*

- *Comando sblocco ganci carrelli " **up** "*
- *Comando apertura portelloni*
- *Comando martinetto carrello " **down** "*
- *Alimentazione martinetto blocco contro-ventatura*
- *Comando chiusura portelloni*

*Se prendiamo il caso di **comando carrello su (up**) si ha una sequenza simmetrica alla precedente.*

- ***Sistema di estensione alternato***

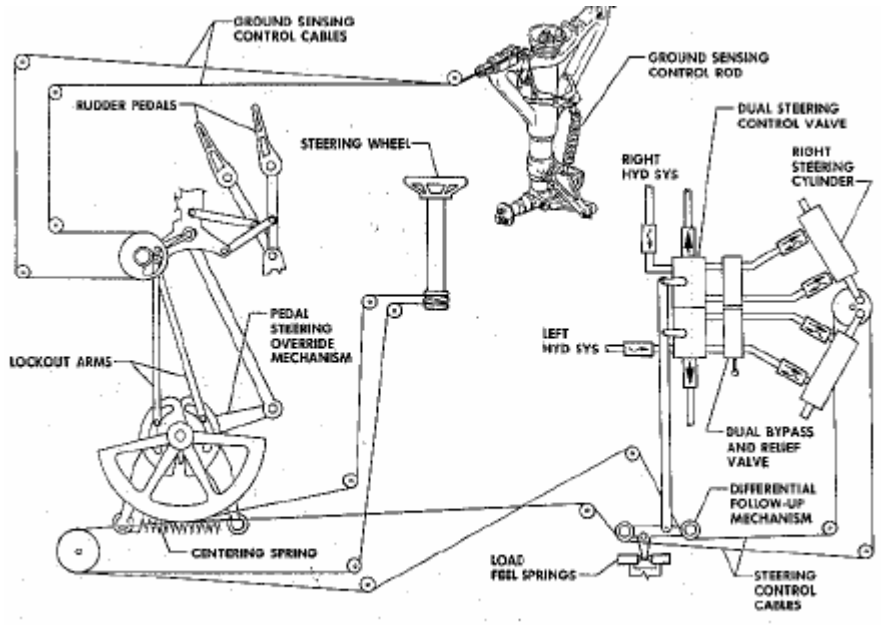
Gli impianti ad azionamento idraulico dispongono di sistemi alternati in caso di perdita di alimentazione idraulica, del tipo: riserva di aria compressa, impianto idraulico dedicato, sistema di caduta libera per gravità (il sistema idraulico è messo in bypass ed il carrello esce grazie al peso).

- ***Sistema orientamento ruotini anteriori***

Questo impianto ha la funzione di permettere le manovre a terra de velivolo sia durante il taxing sia durante la corsa di decollo, viene azionato idraulicamente ed è comandabile tramite le ***pedaliere*** *per escursioni contenute (15/20°) e tramite un* ***volantino*** *(lato comandante) per escursioni superiori (60/70°) necessarie durante le manovre a terra.*

In condizioni di volo il comando è interdetto *e le ruote del carrello anteriore sono centrate mediante un meccanismo interno al carrello stesso.*
In condizioni di terra il comando orientamento diventa azionabile grazie ad un dispositivo che avverte la posizione relativa del pistone carrello anteriore rispetto al cilindro (ammortizzatore compresso) denominato ***ground shift mechanism*** *in alcuni velivoli, o un sistema di analoga funzione.*

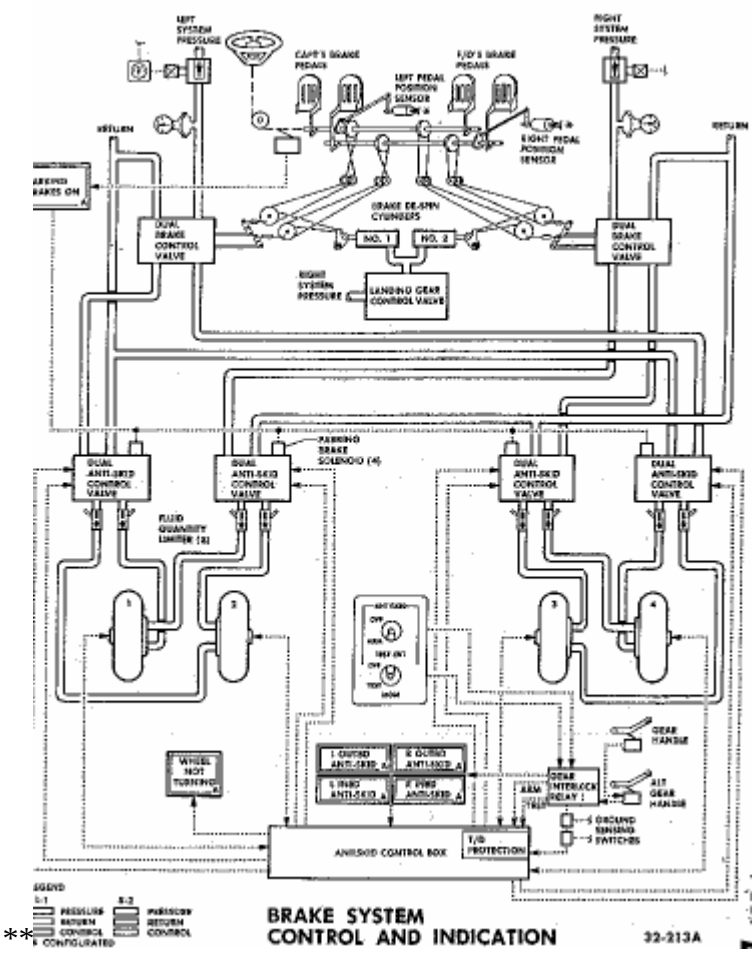
Un ***sistema di inseguimento*** *con cavi e meccanismi vari fornisce lo zero alla valvola quando il carrello anteriore ha raggiunto la posizione voluta.*
*L'****attuazione*** *avviene mediante due martinetti alimentati da impianti idraulici separati alimentati dalla valvola orientamento (****steering valve)*** *che agiscono sulla struttura di un collare che permette la rotazione relativa del pistone rispetto al cilindro della gamba di forza.*
In condizioni di blocco idraulico dei martinetti il pistone ed il cilindro del carrello anteriore sono centrati.
Quando il velivolo è a terra e deve essere trainato si disimpegna il sistema di steering mettendo in ***bypass*** *il sistema idraulico o* ***sganciando*** *il compasso antitorcente del carrello anteriore.*



** NOSE WHEEL STEERING SYSTEM 32-285

- ***Impianto freni***

L'attuazione avviene tramite un comando diretto meccanico per aeromobili piccoli e con comando idraulico servo-assistito per quelli più grandi.
Nei piccoli velivoli a volte si ha un circuito idraulico dedicato ed il pedale del freno agisce direttamente su una pompa che aziona i pistoncini di attuazione, mentre il ritorno è dato da molle di richiamo. Nei velivoli di grandi dimensioni l'impianto freni è servo-assistito data la dimensione dei gruppi frenanti correlata alla quantità energia cinetica da smaltire. La servo-pressione è quella dell'impianto idraulico principale modulata dalla ***valvola comando freni*** *(* ***metering valve*** *) che permette di modulare la pressione inviata ai pistoncini attuatori mediante un sistema a spola che parzializza l'apertura delle luci di ritorno al serbatoio.*
La valvola di comando in genere è doppia e consente di prelevare pressione idraulica da due impianti indipendenti per motivi di sicurezza, ed alimenta due serie di pistoncini.
La ridondanza riguarda quindi la valvola, l'impianto idraulico e le serie dei pistoncini.
Inoltre gli impianti dispongono spesso di un ***accumulatore idraulico*** *con una riserva di pressione in caso di perdita di tutti i sistemi idraulici primari.*
Le tubazioni idrauliche dei freni tra valvola e gruppo frenante sono dotate ***limitatori di flusso*** *per proteggere il tratto di impianto in caso di rottura delle stesse.*
Altra funzionalità importante è quella di evitare che le ruote dopo il decollo e la retrazione continuino a girare per inerzia nel vano carrelli, e per questa finalità il circuito di retroazione dispone di un accorgimento per frenare le ruote utilizzando i ritorni dalla camera del martinetto retrazione lato down.



- ***Impianto antislittamento***

*Questo impianto (**anti-skid)** ha la funzionalità di garantire in ogni condizione la massima azione frenante e di proteggere i pneumatici evitando fenomeni di slittamento che ridurrebbero l'aderenza, oltre a creare danno al pneumatico, vibrazioni ed anche causare asimmetrie del moto del velivolo.*
Lo stato delle piste (pioggia, neve, ecc) ed il carico non omogeneo sui pneumatici in alcune rende questo dispositivo determinante per una frenata ottimale.

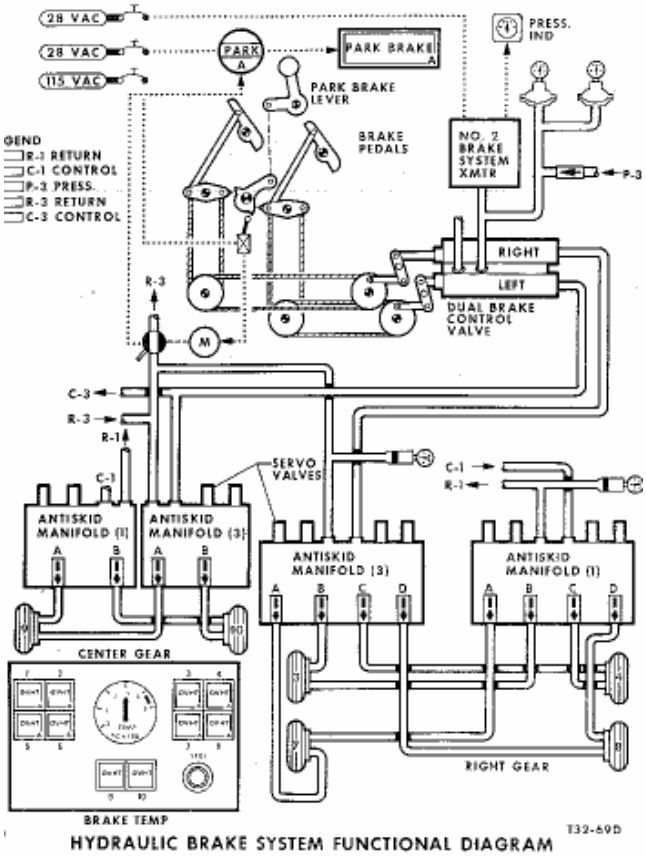
Il principio di funzionamento è quello di agire a valle della valvola comando freni cortocircuitando sui ritorni la pressione inviata al gruppo freni quando la ruota relativa tende a bloccarsi. Il sistema tipo è costituito da una serie di elementi funzionali:

- *trasduttori di velocità su ogni ruota*
- *calcolatore di controllo, comando e sistema di test*
- *servo-valvole di comando*
- *pannello di comando ed avvisi in cabina piloti*

Prima dell'atterraggio il sistema anti-skid taglia la pressione e dopo l'atterraggio alle basse velocità si esclude in automatico.

Il funzionamento si basa sulla informazione di velocità della singola ruota e sulla capacità del calcolatore anti-skid di rilevare le variazioni di velocità in riduzione troppo rapide rispetto ad un valore di riferimento.

*La **capacità derivativa** del sistema permette di anticipare mediante la valvola anti-skid il blocco della ruota ed ottenere la migliore frenata, oltre che proteggere il pneumatico.*
La logica dell'impianto è anche in grado di riconoscere che l'aeromobile sia realmente a terra tramite il confronto della rotazione di ruote di diversi carrelli (in genere le ruote interne del carrello di sinistra e destra) in modo da attivarsi solo nelle condizioni corrette.



HYDRAULIC BRAKE SYSTEM FUNCTIONAL DIAGRAM

- ***Sistema indicazione temperatura***

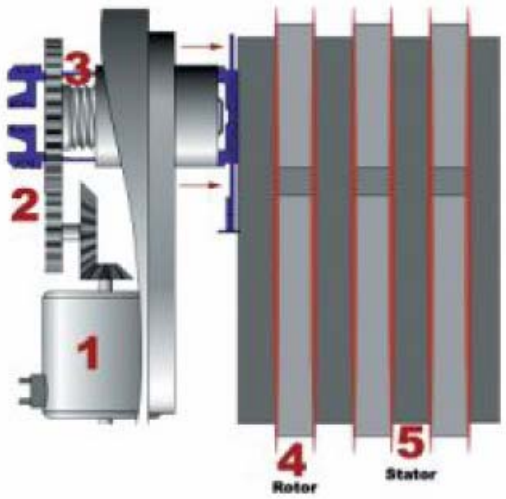
L'impianto freni ha anche un sensore di ***temperatura*** *per ogni gruppo dischi ed il valore della temperatura viene trasmesso in cabina piloti.*

Nuove tecnologie nell'impianto freni

La impostazione delle presenti lezioni è stata data facendo riferimento alle soluzioni impiantistiche adottato nei velivoli commerciali oggi in esercizio, ma alcuni modelli oggi in fase avanzata di sperimentazione sono prossimi all'ingresso sul mercato per cui si darà almeno un accenno alle nuove tendenze.

Il tema trainante è sempre quello della riduzione di peso degli impianti e della riduzione dei costi di esercizio nel tempo.

- *Il primo step è stato l'uso delle tecniche By Wire nell'impianto idraulico freni con il comando analogico prodotto dal pedale del freno trasformato in segnale elettrico digitale e trasmesso, tramite un computer, ad una servo-valvola d'alimentazione dell'impianto idraulico.*
  Il computer, che opera in condizioni di ridondanza su molti canali in parallelo, riceve non solo il segnale dell'intensità della frenata richiesta, ma anche le indicazioni per la protezione antislittamento.
  Il segnale digitale d'uscita dalla servo-valvola modula la pressione sia per quanto riguarda l'intensità della frenata sia per quanto riguarda la protezione anti-slittamento. In questo modo si ha una totale integrazione di valvole di comando e sistema anti-slittamento, con riduzione di pesi.
- *Un secondo step sono i Freni Elettrici ove tutto l'impianto idraulico e le relative valvole/tubazioni/ecc sono eliminate.*
  Il segnale digitale prodotto dal predale del freno transita attraverso un computer multi canale dal quale esce l'alimentazione ad una serie di servo motori che prendono il posto dei pistoncini. Ogni servo motore agisce su un sistema reversibile di Vite & Madrevite che viene serrato o rilasciato in base al verso di rotazione del motore.
  Tale sistema elimina totalmente l'impianto idraulico (tubazioni, valvole, accumulatori, valvole anti-slittamento, tubi di ritorno, ecc).
  Lo schema allegato da una idea di massima di tale dispositivo.



**

Schema di freno elettrico multi-disco