Università degli studi di Padova

Dipartimento di tecnica e gestione

dei sistemi industriali

Tesi di laurea di primo livello

“Confronto tra differenziali per applicazioni automobilistiche”

Relatore: Prof. Giovanni Boschetti

Laureando: Giulia Accardo

Anno accademico: 2014-2015

INDICE

Ringraziamenti 3

Introduzione: Il differenziale 4

CAPITOLO 1: Tipi di differenziale 6

1.1 Open 7

1.2 Locked 10

1.3 Torsen 12

1.4 Autobloccante 15

CAPITOLO 2: Il controllo elettronico del differenziale 18

2.1 "BTR" by Porsche 19

2.2 "E-Diff" by Ferrari 20

2.3 "DPC" by BMW 21

CAPITOLO 3: La trazione 22

3.1 Anteriore 23

3.2 Posteriore 24

3.3 Integrale 25

CAPITOLO 4: Simulazione 26

4.1 Differenziale aperto o differenziale autobloccante con scarso bloccaggio in potenza su una trazione posteriore 27

4.2 Differenziale aperto o differenziale autobloccante con scarso bloccaggio in rilascio su una trazione posteriore 27

4.3 Differenziale autobloccante con tarature potenza/rilascio corrette ma precarico Insufficiente 27

4.4 Differenziale autobloccante con tarature potenza/rilascio corrette ma precarico Eccessivo 28

4.5 Differenziale autobloccante correttamente tarato 28

4.6 Differenziale bloccato su una trazione posteriore 28

4.7 Tabella 29

Considerazioni finali 30

Sitografia 31

“Quando la tempesta sarà finita,

Probabilmente non saprai neanche tu come avrai fatto ad attraversarla e ad uscirne vivo.

Anzi, non sarai neanche sicuro se sia finita per davvero.

Ma su un punto non c’è dubbio.

Ed è che tu, uscito da quel vento, non sarai lo stesso che vi è entrato.”

- Haruki Murakami-

Alla mia famiglia, a Riccardo , agli amici e alle compagne di squadra che mi hanno aiutato e sostenuto in questo “temporale” conclusosi con un fantastico arcobaleno.

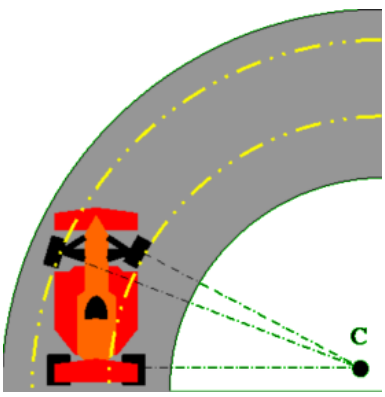
Grazie.

INTRODUZIONE: IL DIFFERENZIALE

La genesi del differenziale è alquanto variopinta. Secondo una leggenda l'imperatore cinese Huang Di nel 2634 a.C. utilizzò un carro con una specie di dispositivo differenziale collegato alle ruote che faceva sì che una statua puntasse sempre nella stessa direzione indipendentemente dalle curve che percorreva il carro. Nel II secolo a.C. la macchina di Anticitera usufruiva di un sistema di ingranaggi per calcolare la differenza tra due rotazioni in ingresso: una relativa al sole e l'altra alla posizione della luna nello zodiaco, fornendo in uscita indicazioni sulle fasi lunari. Più recentemente, nel 1810 l'inventore di un sistema a quattro ruote sterzanti, Rudolph Ackermann, fu erroneamente indicato come l'inventore del differenziale. Soltanto 17 anni dopo l'orologiaio francese Onésiphore Pecqueur brevettò il moderno differenziale per l'uso in un veicolo a vapore e, nel 1832, l'inglese Richard Roberts brevetta l'ingranaggio di compensazione: un sistema differenziale per locomotive stradali. James Starley nel 1876 concretizzò un differenziale basato su catene da usare sulle biciclette, che successivamente venne implementato da Carl Benz sulle sue automobili. Infine nel 1897 David Shearer realizzò il primo uso del differenziale su un veicolo australiano.

In ogni caso il differenziale divenne ben presto l'elemento chiave nel sistema di trasmissione di veicoli con più di due ruote.

Ma perché è necessaria la presenza del differenziale?



Facciamo un passo in dietro: la circonferenza di un cerchio si ottiene con la formula $2 \cdot \pi \cdot r$, quindi, più ci si avvicina al centro, più il valore del raggio diminuisce e di conseguenza anche la circonferenza, essendo quest'ultima dipendente solo dal valore del raggio.

Essendo una curva approssimabile ad un arco di circonferenza, nel percorrerla le ruote interne (più vicine al centro) dovranno compiere meno strada rispetto a quelle esterne. Dovendo tutte le ruote spazzare lo stesso angolo nella stesa unità di tempo, ma essendo diversi gli archi di circonferenza da percorrere, affinché le ruote interne non imbattano in scivolamenti o slittamenti, dovranno necessariamente viaggiare a velocità differenti rispetto a quelle esterne.

Quando le due ruote sono unite saldamente una all'altra, e quindi ruotano con la stessa velocità, quella interna alla curva slitta. L'ingegneria è stata in grado di collegare le due ruote al motore

senza scivolamenti o slittamenti durante la rotazione, consentendo alle due ruote motrici di girare con velocità diverse. Il dispositivo che rende ciò possibile è chiamato differenziale.

Il differenziale è un rotismo interposto tra gli assi motori di un veicolo allo scopo di attribuire a ciascuno di essi la velocità che gli compete in funzione della propria traiettoria: in rettilineo trasmette ugual numero di giri, in curva la ruota interna diminuisce di giri e li trasferisce a quella esterna.

I veicoli stradali utilizzano generalmente un differenziale che trasmette la coppia motrice, generata dal motore, alle due ruote trainanti. Nei veicoli a trazione integrale permanente sono presenti tre differenziali: uno centrale e uno per ogni asse; quello centrale ripartisce la coppia ai due assi anteriore e posteriore, e i relativi differenziali la ridistribuiscono alle ruote destra e sinistra; in questo modo si ha una differenza di velocità di rotazione sia fra anteriore e posteriore, che tra destra e sinistra.
I veicolo a trazione integrale inseribile utilizzano generalmente solo due differenziali: uno per asse, così facendo l'asse anteriore e quello posteriore sono costretti a ruotare alla stessa velocità creando però dei leggeri slittamenti delle ruote rispetto al fondo stradale per compensare le diverse velocità di rotazione dei due assi in corrispondenza di una curva (tendenzialmente in curva le ruote anteriori percorrono più strada rispetto a quelle posteriori).

Il differenziale può dunque essere definito come un organo meccanico che distribuisce il momento torcente tra le ruote motrici.

Nelle analisi che andremo ad affrontare parleremo ignorando la presenza di cambio, riduttore e rapporto della coppia conica del differenziale, che hanno in sostanza solo lo scopo di aumentare la coppia disponibile alle ruote e reciprocamente diminuire il numero di giri del motore; ciò che si andrà ad analizzare è la "funzionalità" del differenziale, sapere come si comporta nelle diverse situazioni d'uso e cosa ci si può aspettare.
Per l'analisi si utilizzeranno generalmente due leggi: la prima che descrive come sono legate fra di loro le velocità degli assi condotti e conduttore, e la seconda che esprime come sono legate tra di loro le coppie applicate e disponibili sui tre assi.

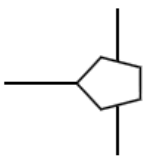
CAPITOLO 1

I tipi di differenziale

Se un'automobile fosse sprovvista di differenziale e avesse quindi un asse rigido si avrebbe un ottimo inserimento ad elevate velocità, ma si avrebbe una notevole usura dei pneumatici e sarebbe molto complicato effettuare manovre come il parcheggio a bassissime velocità.
Il differenziale *aperto*, presente nella maggioranza delle utilitarie, garantisce un buon confort di marcia e un'elevata economicità al guidatore, a scapito della sicurezza e delle prestazioni del mezzo.
Il differenziale *autobloccante*, insieme alle sue variazioni elettroniche o elettroattuate è una soluzione alquanto interessante.
Il differenziale a slittamento limitato autobloccante, destinato a veicoli ad elevate prestazioni, è un'ottima combinazione dei vantaggi dell'autobloccante e dell'aperto.

In ogni caso tutti i tipi di differenziali sono costituiti da un albero in entrata (albero o asse conduttore) e due alberi in uscita (alberi o assi conduttori).

Per facilitare la comprensione delle leggi verrà utilizzata la seguente rappresentazione grafica:



Differenziale con asse conduttore e asse condotto

Nessuna rotazione

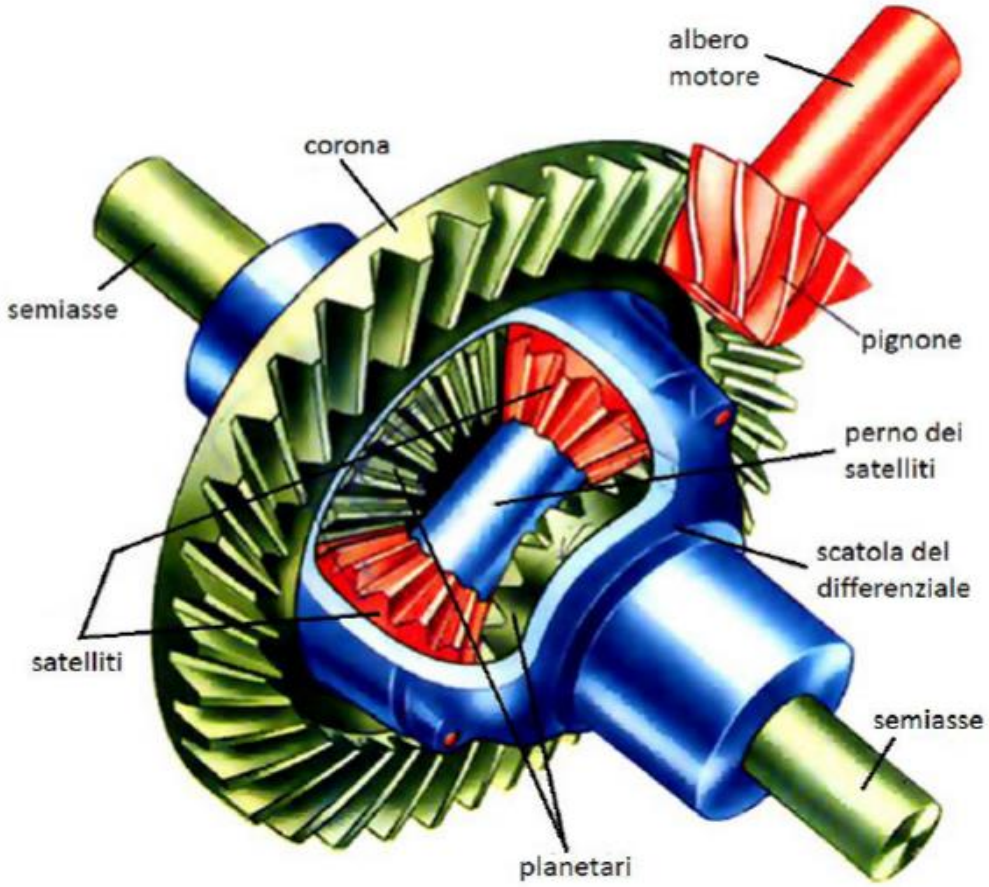
Velocità di rotazione

Velocità di rotazione doppia

Coppia disponibile o trazione disponibile su una ruota collegata a quell'asse, numericamente ottenuta dividendo la coppia per il raggio di rotolamento della ruota. Frecce entranti indicano assi conduttori, frecce uscenti assi condotti

1.1 Open

Il differenziale di tipo OPEN (o aperto) è una configurazione “base”.



La coppia motrice viene trasferita dall’albero motore al differenziale tramite alcuni ingranaggi: il pignone, solidale all’albero, è in presa diretta con la corona, a sua volta solidale con la scatola del differenziale ed il perno dei satelliti.

La coppia fra pignone e corona può essere conica o cilindrica: nel primo caso si ha una rotazione ad angolo retto del movimento rotatorio degli alberi, nel secondo caso si ha un trasferimento parallelo delle forze.

All’interno della scatola sono presenti quattro ingranaggi conici: due satelliti e due planetari. Ogni satellite è unito in “folle” su un perno rigidamente collegato alla scatola (liberi di muoversi attorno al loro perno). I planetari sono solidali con l’estremità del semiasse di una ruota motrice, collegati tra loro solo mediante l’interposizione dei satelliti e liberi rispetto alla scatola del differenziale.

Il differenziale di tipo open può essere descritto secondo due regole molto semplici:

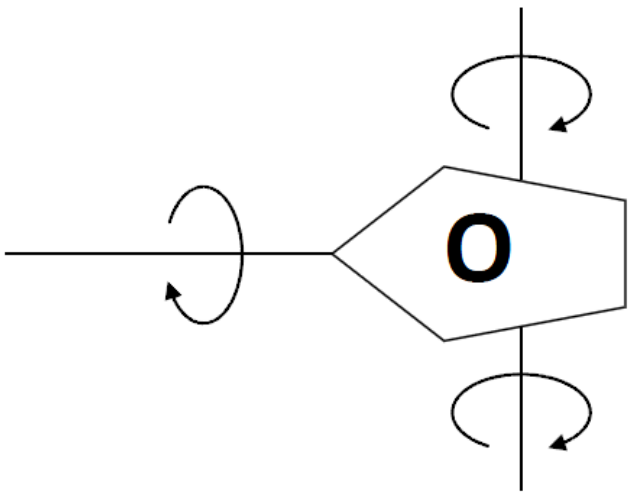
LEGGE 1:

la velocità di rotazione dell'albero conduttore è sempre il valore medio delle velocità degli alberi condotti.

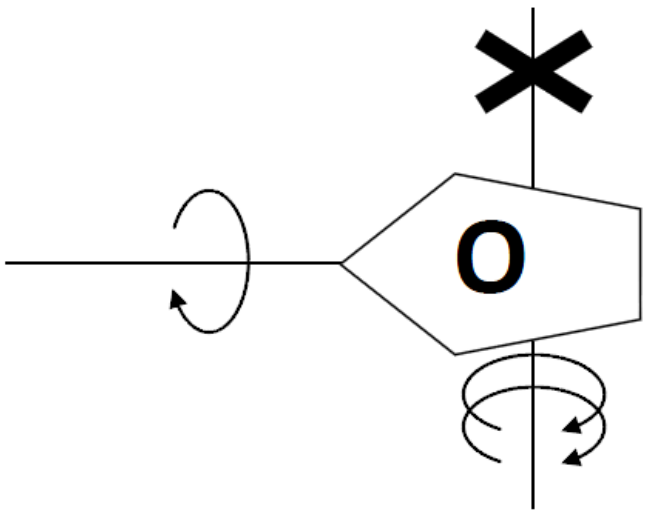
oppure

il doppio della velocità di rotazione dell'albero conduttore è uguale alla somma delle velocità degli alberi condotti.

Graficamente possiamo sintetizzare la legge con i due casi limite: il primo in cui entrambi gli alberi condotti ruotino alla stessa velocità, comportamento tipico della marcia rettilinea



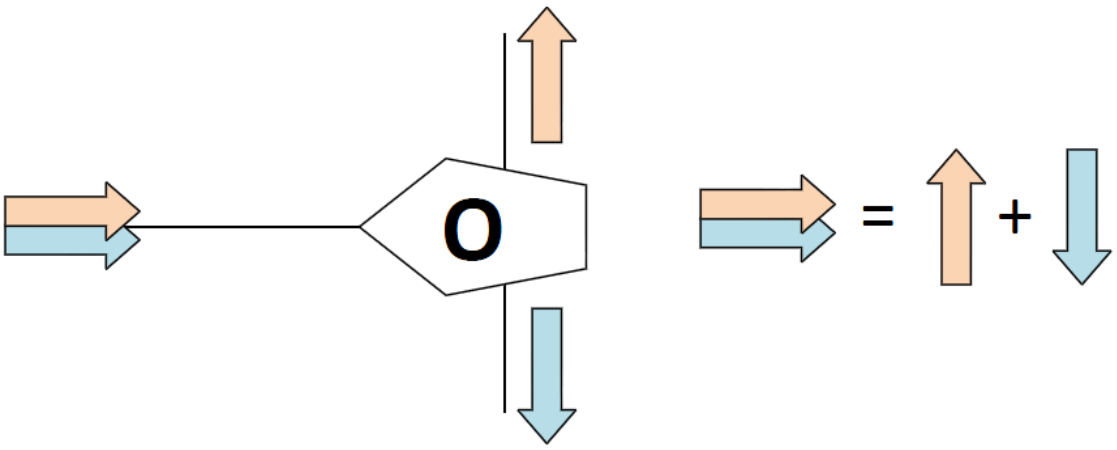
e il secondo in cui l'aderenza al suolo di una ruota sia così cattiva da lasciarla ruotare a vuoto



Ciò ci permette di dire che:

LEGGE 2:

la coppia disponibile su ciascuno degli alberi condotti è sempre la metà di quella applicata all'albero di entrata o conduttore.



Da queste due leggi si possono trarre alcune deduzioni: la potenza erogata, data dal prodotto "coppia x velocità_di_rotazione", su ogni albero condotto varia da zero al valore della potenza applicata all'albero conduttore, rispettivamente nei casi in cui l'albero condotto sia fermo e in cui l'albero condotto ruoti al doppio della velocità di rotazione dell'albero conduttore. Si deduce anche che l'aderenza al terreno è di vitale importanza per il corretto funzionamento di questo tipo di differenziale. In caso di una differenza rilevante di attrito al terreno, il semiasse con maggiore aderenza oppone più resistenza all'avanzamento rispetto a quello con scarsa aderenza. Questo fa si che i satelliti si mettano a girare attorno al loro perno, facendo girare molto più velocemente il semiasse con scarso attrito. Questa facoltà del differenziale di trasferire coppia motrice da una ruota all'altra diventa quindi un grave problema quando una delle due gomme perde totalmente aderenza: a causa della sua struttura il differenziale tende in questo caso ad erogare il 100% della coppia disponibile alla ruota priva di aderenza lasciando il veicolo in panne. Situazione analoga a quella appena descritta si può trovare anche in curva, quando per via del trasferimento dei pesi la ruota esterna ha più grip di quella interna.

Il problema principale dei differenziali di tipo open è tutto qui: la motricità; ed è proprio questo problema che ha fatto si che la quasi totalità delle macchine più potenti abbiano dei differenziali più complessi. Esistono differenziali con più di due satelliti, differenziali bloccabili manualmente, automaticamente e addirittura, per le macchine più borghesi, elettronicamente, che essenzialmente, nella fase di accelerazione, riducono la possibilità di muoversi di un semiasse rispetto all'altro migliorando la motricità.

1.2 Locked

Come appena visto nel caso del differenziale aperto, in condizioni di scarsa trazione di una ruota, se non si vuole che la sua velocità di rotazione raggiunga elevati valori che causerebbero danni meccanici, si può applicare a quest'ultima solo una piccola coppia, e l'effetto del differenziale open sarà quello di trasferire lo stesso minimo valore di coppia alla ruota con condizioni di aderenza migliori facendone risultare una coppia applicata totale non sufficiente a far muovere il veicolo.

Per risolvere questo inconveniente sono stati ideati dei differenziali "locked" (bloccabili): tramite un comando meccanico/manuale viene azionato un meccanismo all'interno del differenziale che rende solidale la rotazione dei due assi condotti. Nel caso di perdita di aderenza di una delle ruote motrici, il differenziale bloccato obbliga la ruota con minore grip a ruotare alla stessa velocità di quella avente ancora aderenza, la coppia motrice viene così applicata alle due ruote e scaricata al suolo dalla ruota con maggiore attrito.

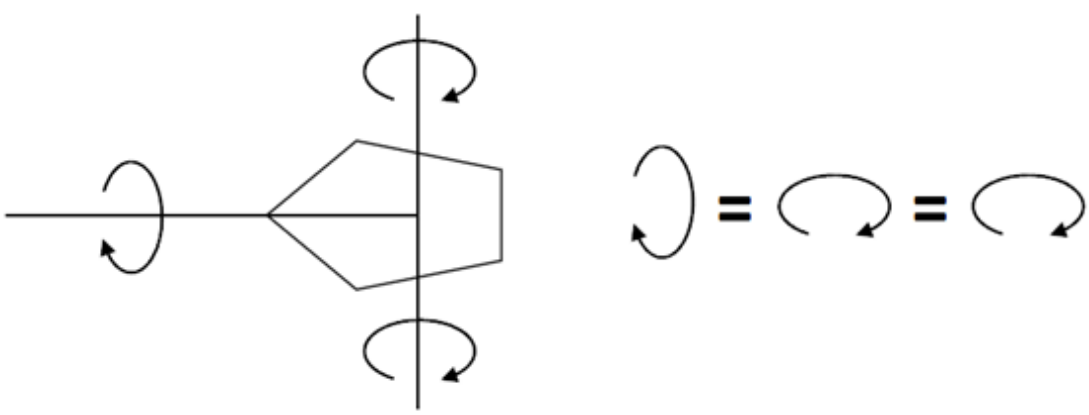
Alcuni differenziali di tipo locked invece di essere bloccabili sono sbloccabili, e lavorano in maniera diametralmente opposta: invece di essere bloccato quando necessario, il differenziale viene sbloccato quando serve. I due assi condotti sono quindi sempre solidali, ma se le condizioni di guida richiedono che ruotino con velocità differenti, questi vengono sganciati in modo di consentire a una delle due ruote di ruotare più o meno velocemente dell'altra.

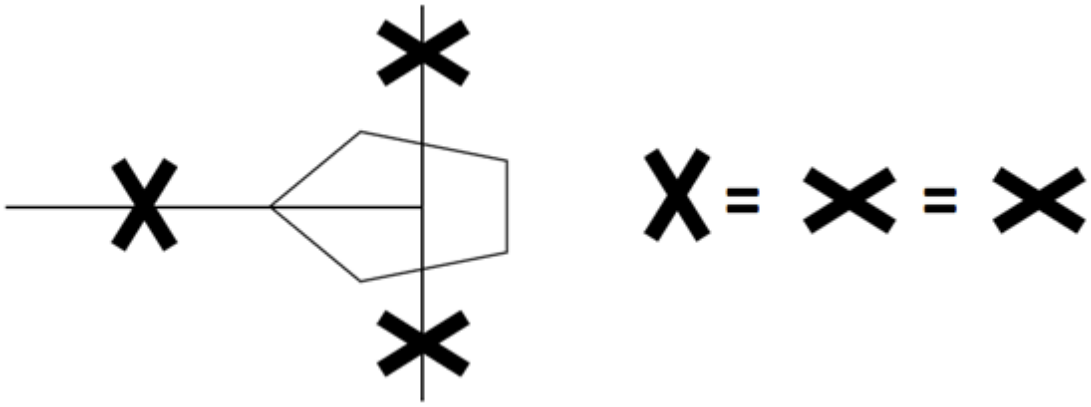
Il funzionamento dei differenziali bloccabili (o sbloccabili) è molto semplice, in quanto quando bloccati si comportano in maniera del tutto simile ad un asse rigido.

LEGGE 1:

le velocità di rotazione degli alberi condotti sono sempre uguali tra loro, e a loro volta uguali alla velocità di rotazione dell'albero conduttore.

Possiamo schematizzare graficamente questa legge come segue





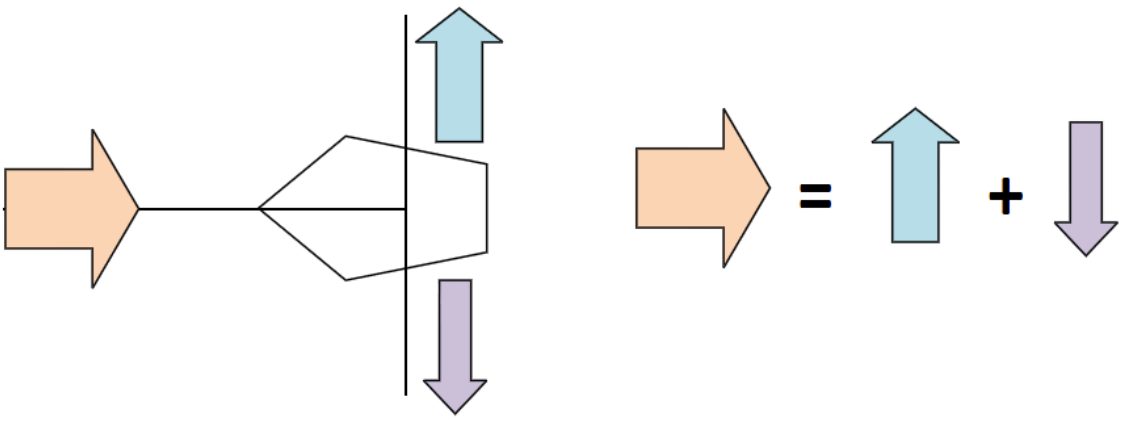
Per il modo in cui si distribuisce la coppia motrice dell'albero motore ai due assi condotti

LEGGE 2:

la somma della coppia motrice disponibile sui due assi condotti è uguale alla coppia motrice applicata all'asse conduttore.

Questa legge non dà nessuna informazione specifica di come la coppia motrice si distribuisce su ciascun asse condotto, ciò dipende dalle condizioni di aderenza al suolo: maggiore sarà il grip e maggiore sarà la coppia sull'albero che aziona tale ruota.

Supponendo che una delle due ruote abbia maggiore aderenza col manto stradale graficamente la distribuzione può essere così rappresentata



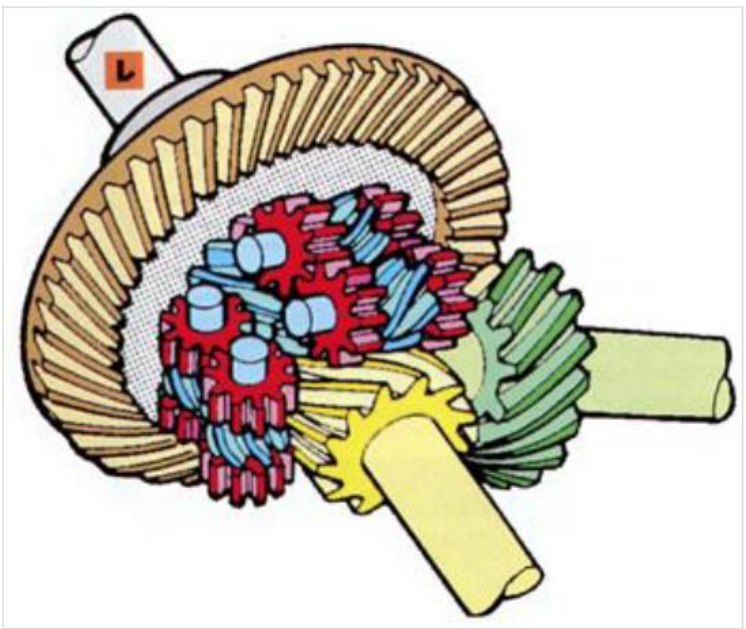
Diversamente dai differenziali open, dimensionati in modo da trasferire senza eccessiva torsione metà della coppia in entrata al differenziale, nei differenziali locked la coppia su ciascun asse condotto può variare da zero al valore massimo godibile sull'asse conduttore.

Per ciò che concerne gli effetti pratici, gli assi condotti di un differenziale di tipo locked devono essere in grado di sostenere una coppia motrice doppia rispetto a quella che sarebbe applicata da un differenziale di tipo open; per questo motivo nel caso in cui si adotti su un veicolo un differenziale di tipo locked bisognerà necessariamente utilizzare degli assi condotti rinforzati.
Non da meno bisogna sottolineare che il bloccaggio manuale del differenziale va utilizzato solamente in casi di scarsissima aderenza al suolo, pena un'eccessiva sollecitazione degli organi di trasmissione e un'usura irregolare dei pneumatici.

1.3 TorSen (Torque Sensing)

Il differenziale TorSen è un differenziale con un comportamento simile a quello di tipo open, permettendo quindi alle ruote di variare la velocità relativa in egual misura, ma nel caso in cui una delle due perda aderenza il TorSen non indirizza a questa la maggior parte della coppia motrice ma la direzione verso lo pneumatico con maggiore grip.

Il concetto originale prevedeva la presenza di due o tre coppie di ingranaggi trasversali rispetto agli assi condotti all'interno della scatola differenziale; tale configurazione essendo alquanto costosa è spesso rimpiazzata da configurazioni più semplici in cui sono presenti un numero minore di ingranaggi orientati come gli assi condotti.



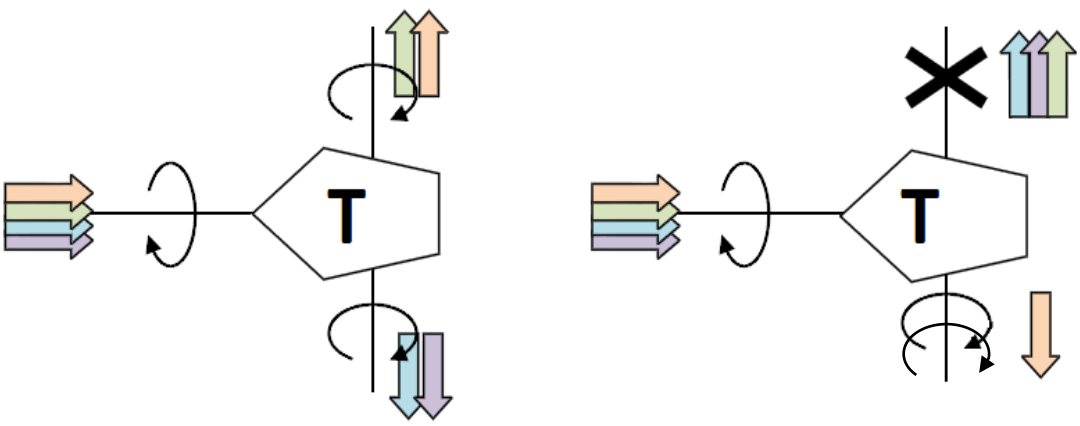
Indipendentemente dalla configurazione il TorSen sfrutta l'attrito interno agli ingranaggi affinché ci sia una coppia maggiore sull'asse che (nel differenziale di tipo open) ruota più lentamente. Per descrivere in modo più appropriato questo concetto è necessario introdurre il concetto di TBR – Torque Bais Ratio (rapporto di sbilanciamento di coppia) che fornisce il rapporto tra la coppia applicata alla ruota che gira più lentamente rispetto alla coppia applicata all'asse condotto che ha maggiore velocità.

I valori tipici di TBR variano da 2 a 6. Si prenda in esempio un differenziale di tipo TorSen TBR = 3 o TBR 1:3 al quale viene applicata una coppia di 2000Nm all'albero conduttore: tale differenziale trasmetterà una coppia pari a 500Nm alla ruota che slitta e una coppia di 1500Nm a quella con maggiore attrito col terreno.

Riprendendo le leggi utilizzate fino ad ora, per descrivere l'andamento della coppia si può dire che:

LEGGE 2:

la somma delle coppie disponibili sugli alberi condotti è sempre uguale a quella applicata all'albero condotto, ma l'albero che ruota più lentamente riceve TBR volte più coppia dell'albero che ruota più velocemente.



Per quanto riguarda la relazione tra le velocità di rotazione degli assi condotti rispetto all'asse conduttore, il differenziale TorSen ha un comportamento del tutto simile a quello del differenziale aperto, pertanto la prima legge è identica:

LEGGE 1:

la velocità di rotazione dell'albero conduttore è sempre il valore medio delle velocità degli alberi condotti.

oppure

il doppio della velocità di rotazione dell'albero conduttore è uguale alla somma delle velocità degli alberi condotti.

In condizioni di scarsa aderenza al terreno il TorSen, in base al valore di TBR, ha un comportamento intermedio tra il differenziale open e il locked: il locked ha un bloccaggio pari al 100%, mentre l'open dello 0%.
Un TorSen TBR = 1 si comporterà quindi in modo del tutto simile al differenziale aperto inviando la stessa coppia ad entrambi gli assi condotti generando quindi un ipotetico bloccaggio pari allo 0%; viceversa un TorSen TBR = 6 si avrà l'84% di coppia inviata alla ruota poggiata per terra e il 16% alla ruota con minore aderenza, comportamento similare al differenziale locked senza comunque arrivare ad un bloccaggio del 100%.

Precisamente il coefficiente di bloccaggio è dato dal rapporto:

% bloccaggio = (TBR - 1)/(TBR + 1)

Il differenziale Torque Sensing è quindi un compromesso che cerca di trarre il meglio dagli open e dai locked, prendendo dai primi la possibilità di permettere la rotazione a diverse velocità degli assi condotti, e dal secondo la trasmissione di una coppia maggiore alla ruota con più attrito.
Ovviamente l'efficacia di questo differenziale dipende sempre dall'applicazione che se ne vuole fare. In generale per rendere minime le reazioni negative al volante sarà conveniente adottare un TorSen con TBR maggiore sull'asse posteriore (che influenza meno la guida in curva) e minore sull'asse anteriore. Un altro accorgimento da prendere in considerazione, oltre all'ingombro non indifferente (difficile da adottare dove non previsto di serie), è generato dalla coppia: essendo maggiore rispetto a quella dei differenziali open si dovranno adottare degli assi rinforzati.

1.4 Autobloccanti - LSD

Si ricorre ai differenziali autobloccanti quando è richiesta un'importante precisione del veicolo e di guida.

Le parti che compongono un differenziale autobloccante sono: la scatola del differenziale, i planetari, i satelliti, le lamelle vincolate alla scatola del differenziale ed i mozzi di ancoraggio.

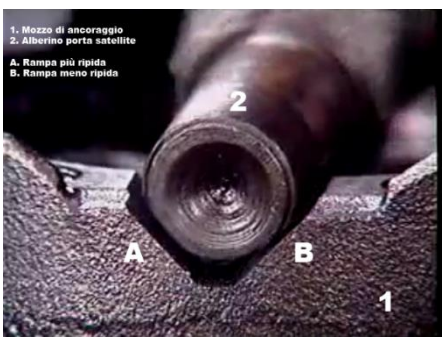
Sostanzialmente questo tipo di differenziale ha un corpo molto simile al differenziale di tipo open, fatta eccezione per la presenza di due frizioni poste dietro i planetari, che hanno il compito di rendere solidali i planetari in percentuale più o meno alta. Sostanzialmente quando una ruota motrice perde aderenza, viene frenata per permettere al differenziale di trasmettere più coppia motrice alla ruota che dispone maggiore aderenza. Il dispositivo di bloccaggio corregge quindi il difetto del differenziale aperto trasmettendo una coppia maggiore alla ruota con migliore aderenza.

La coppia che può essere trasmessa è determinabile in base alle condizioni di aderenza ed al valore di bloccaggio del differenziale autobloccante "S"

$$S = \frac{differenza\ delle\ coppie\ delle\ ruote}{somma\ delle\ coppie\ delle\ ruote} \cdot 100\%$$

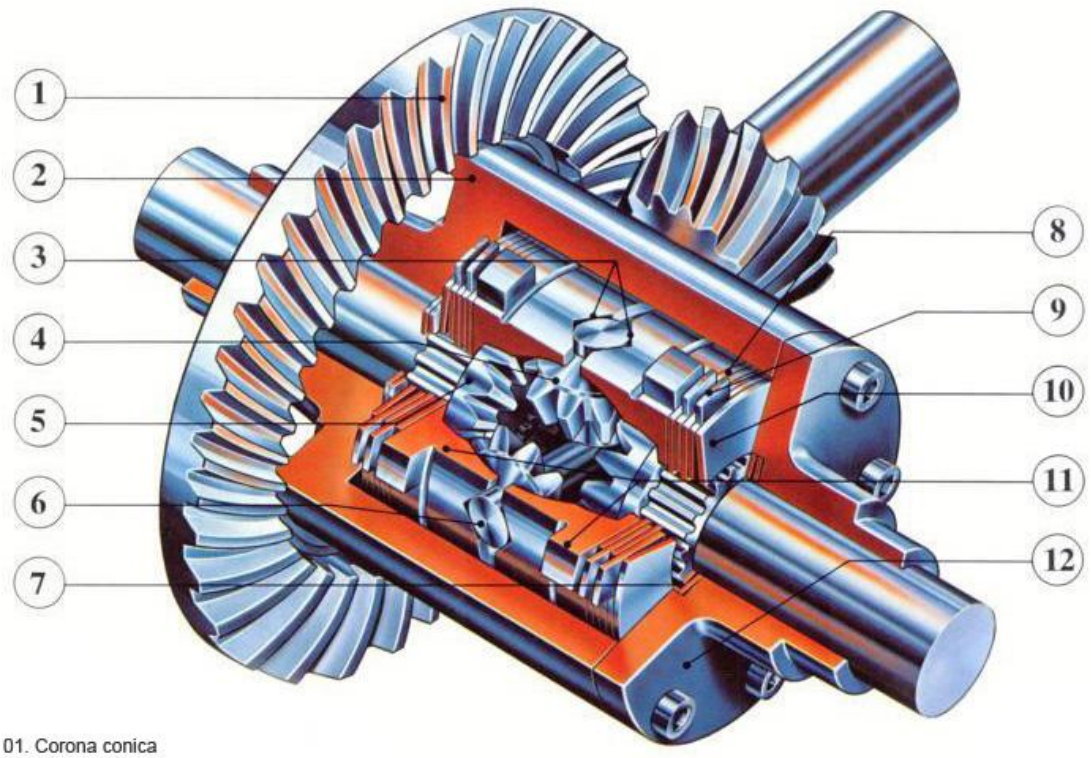
che indica la maggiore differenza di coppia possibile tra la ruota motrice destra e sinistra in entrambe le direzioni rispetto al valore nominale (un bloccaggio del 40% vuol dire che la ruota motrice con migliore aderenza può trasmettere il 40% di coppia motrice in più rispetto a quella con minore aderenza).

Il differenziale può in questo modo adattare la trasmissione della coppia alle diverse situazioni di guida.



Quando una ruota (e di conseguenza relativi semiasse e planetario) gira molto più velocemente dell'altra, si genera una forza che spinge lateralmente i satelliti (4) che porterà quindi gli alberi dei satelliti (6) a risalire le rampe ricavate nei mozzi di ancoraggio (3). La differenza di velocità di rotazione ha come conseguenza l'espansione del nucleo costituito dai quattro satelliti che girano intorno ai planetari, che viene sfruttata per innestare "automaticamente" delle frizioni.

La progressione con cui interviene l'autobloccaggio è definita dall'inclinazione delle rampe ricavate nei mozzi di ancoraggio: più saranno ripide e maggiore sarà la difficoltà con cui il differenziale tenderà al bloccaggio. Ad una inclinazione pari a 0° corrisponde una spinta assiale (lungo l'asse longitudinale dei pacchi di lamelle) nulla. L'inclinazione può essere differente da un lato e dall'altro della rampa, per permettere di avere differenti interventi in potenza ed in rilascio.



01. Corona conica
02. Scatola del differenziale
03. Rampe dei mozzi di ancoraggio
04. Satellite
05. Planetario
06. Albero porta satellite
07. Ruota dentata dell'albero porta planetario
08.
09. Lamella vincolata alla scatola del differenziale
10. Lamella vincolata all'albero porta planetario
11. Mozzi di ancoraggio
12. Coperchio scatola differenziale

Questo sistema a frizioni è semplice ed efficace, però è soggetto ad usura tanto più rapido quanto più è intenso l'uso del veicolo in fuoristrada puro.

Questi differenziali hanno l'importante caratteristica del **settaggio**: il come, quanto e quando un differenziale si blocca condiziona pesantemente sia la fase di frenata e inserimento in curva che quella di accelerazione in uscita di curva.

- ***Preload – precarico***

  Indica la differenza di coppia dei semiassi necessaria per permettergli di ruotare a velocità diverse. Il *preload* può essere visto come un valore che determina i tempi di intervento del differenziale (maggiore è il preload e più spesso sarà bloccato il differenziale)

- ***Coas – rilascio***

  Indica la percentuale di bloccaggio in fase di rilascio. In fase di staccata/inserimento in curva, un differenziale più bloccato in *coast* farà si che le ruote girino a velocità più simili, con l'effetto di ridurre il rischio che la ruota interna si blocchi (permettendo di frenare di più) e di aumentare il sottosterzo in ingresso curva.

- ***Power – accelerazione***

  Indica la percentuale di bloccaggio in fase di accelerazione.

  In fase di accelerazione/uscita di curva, un differenziale più bloccato in power farà sì che le ruote girino a velocità più simili, con l'effetto di ridurre il rischio che la ruota interna slitti (permettendo quindi di accelerare di più) e di aumentare il sovrasterzo (sottosterzo per le Trazioni Anteriori) di potenza quando si supera il limite di tenuta delle gomme, dal momento che entrambe le gomme slitteranno insieme.

Per questo tipo di differenziali possiamo scrivere le seguenti leggi:
la prima uguale al tipo open

LEGGE 1:

la velocità di rotazione dell'albero conduttore è sempre il valore medio delle velocità degli alberi condotti.

oppure

il doppio della velocità di rotazione dell'albero conduttore è uguale alla somma delle velocità degli alberi condotti.

e la seconda, che ci dice che dentro al differenziale autobloccante c'è una frizione

LEGGE 2:

se è disponibile, l'asse condotto che ruota a velocità minore riceve una quantità fissa di coppia.

Nel caso in cui non sia disponibile, non c'è abbastanza coppia per permettere agli assi condotti di ruotare a velocità differenti e il differenziale si comporta come se fosse un locked.

CAPITOLO 2

Il controllo elettronico del differenziale

Nelle macchine da corsa su pista il differenziale autobloccante ha un funzionamento puramente meccanico basato sulla quantità di coppia proveniente dall'albero motore e sulla differenza di coppia che giunge ai due semiassi. In ambiti come quello rallystico e quello delle auto stradali ad elevate prestazioni il differenziale implementa sempre più spesso controlli di tipo elettronico: in questo caso i parametri di funzionamento sono virtualmente infiniti e possono includere ad esempio l'angolo di imbardata del veicolo o l'angolo di sterzata delle ruote anteriori.
Idealmente possono essere immaginati come un sistema composto da differenziale aperto e sensori di velocità sulle ruote in cui vengono azionate le pinze dei freni in modo da frenare indipendente la ruota destra da quella sinistra a seconda delle esigenze. Nel momento in cui una ruota ha una perdita di grip, questa viene frenata in modo da farle riprendere aderenza e permettere all'altra ruota di trasmettere nuovamente coppia motrice a terra.
In realtà si tratta di complessi differenziali al cui interno,oltre ai classici componenti, ci sono organi meccanici che ne consentono automaticamente il blocco per attrito di dischi, tramite fluidi a densità controllata e variabile.

In veicoli stradali convenzionali un differenziale elettronico è di solito un differenziale meccanico che utilizza un computer di bordo per controllare direttamente e regolare la ripartizione della coppia e la differenza di velocità delle ruote attraverso il perno.

Questo si ottiene da attuatori elettronici coinvolgenti pacchi frizione e meccanismi di blocco per raggiungere la condizione di trazione desiderata: si tratta essenzialmente di un LSD controllato da computer e dal blocco del differenziale in uno. Ciò evidenzia che il computer può calcolare la coppia ottimale suddivisa variabili nella condizione di moto.

Andremo in questa sezione a descrivere il differente funzionamento del controllo elettronico del Limited Slip Differential implementato dalle case automobilistiche Porsche, Ferrari e BMW.

2.1 “BTR” by Porsche

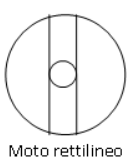
La Porsche 911 Carrera S (trazione posteriore) implementa il sistema PTM (Porsche Thecnology Management) per il controllo di stabilità, che a sua volta comprende il PTV (Porsche Torque Vectoring). Il PTV serve per affrontare sportivamente le curve senza perdere aderenza al terreno: migliora le manovre e la precisione di sterzata con interventi di frenata mirati della ruota posteriore destra o sinistra. Affrontando dinamicamente una curva la ruota posteriore interna alla curva subisce una leggera frenata in funzione dell’angolo di sterzata. In questo modo si esercita una diversa forza motrice fra la ruota posteriore interna e quella esterna alla curva.

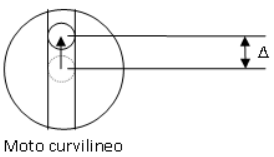
Ma come è possibile questo? Grazie al BTR, il controllo elettronico del differenziale che implementa la casa automobilistica, che consiste in un pacco frizioni compresso ad olio.

L’olio pressurizzato arriva dalla canalina (4) che schiaccia il pistone (3) che a sua volta schiaccia il differenziale sul pacchetto lamellare (9). Questo effetto domino ha come conseguenza il rallentamento della ghiera e la frenata del solare. Con il BTR si riesce ad avere una percentuale di bloccaggio del 22% in tiro e del 27% in rilascio, maggiore in rilascio per evitare spiacevoli testa-coda.

La compressione ad olio è comandata da un controllo elettronico basato sul moto relativo.

Consiste in un basso cilindro al cui interno è scavato un altro semicilindro, che funge da guida, posto longitudinalmente al cui centro è posizionata una sfera. Nel moto rettilineo la sfera ha una velocità relativa alla macchina nulla e quindi resta al centro della guida. Quando la vettura inizia a sterzare, a causa della forza centrifuga la sfera tenderà a muoversi e quindi a spostarsi in avanti all’interno della guida rispetto alla sua posizione di quiete. Dei sensori rilevano lo spostamento Δ e in base alla sua ampiezza l’elettronica della macchina decide di quanto aumentare la temperatura del’olio e quindi di quanto bloccare il semiasse interessato.


Moto rettilineo



Moto curvilineo

Il risultato? Sterzate più dirette e dinamiche in curva, straordinaria aderenza al terreno e agilità elevata indipendentemente dalla velocità.

2.2 “E-Diff” by Ferrari

La Ferrari F430 a partire dal 2004 implementò una soluzione usata per anni in Formula 1 per il controllo elettronico del differenziale, che garantisce la massima aderenza in uscita di curva, eliminando lo slittamento delle ruote e migliorando la tenuta di strada: l'E-Diff.

L’E-Diff possiede due pacchi frizione multi-disco, ognuno responsabile di uno dei semiassi posteriori.
Un attuatore idraulico, ricevuti in input la posizione dell’acceleratore, l’angolatura dello sterzo, la velocità di rotazione della ruota e la presenza o meno dell’imbardatura dovuta all’accelerazione, decide quando e quanto bloccare il differenziale esercitando una pressione contro ciascuno dei pacchi frizione, e decidendo quindi quando e come inviare coppia a ciascuna ruota.

Quindi è sostanzialmente costituito di tre sottosistemi principali:

- un sistema idraulico ad alta pressione, in comune con il cambio F1 (se presente);
- un sistema di controllo costituito da valvole, sensori e centralina elettronica;
- un'unità meccanica alloggiata nel lato sinistro del cambio

La coppia viene continuamente ripartita tra le ruote tramite due serie di dischi di attrito (uno per ogni semiasse) controllati da un attuatore idraulico. La quantità di coppia effettivamente trasmessa alle ruote dipende dalle condizioni di guida.

Questa soluzione permette di ottenere e garantire una maggiore motricità in fase di accelerazione, nonché una elevata precisione, stabilità e maneggevolezza in ingresso curva; proprio nell’ingresso delle curve più tecniche il differenziale viene completamente bloccato conferendo al retrotreno (sistema composto dalle ruote posteriori e dai dispositivi di sospensione ad esso connessi) la massima stabilità. Nel momento in cui si alleggerisce la pressione sul pedale del freno e si gira lo sterzo, il differenziale si apre gradualmente per limitare il sottosterzo e facilitarne l’ingresso in curva; quindi si riblocca parzialmente per stabilizzare l’assetto. Dal punto di corda, momento in cui si ricomincia ad aprire il gas, l’E-Diff si riapre tutto e si mantiene pronto a chiudersi nuovamente qualora la ruota interna iniziasse a pattinare sull’asfalto.

2.3 “DPC” by BMW

L’X6 della BMW implementa il controllo elettronico del differenziale chiamato DPC (Dynamic Performance Control); questo commuta la potenza tra le ruote posteriori destra e sinistra per stabilizzare il veicolo in pochi millisecondi e contribuisce ad aumentare la trazione e l'accelerazione laterale garantendo così una gestione di guida più leggera e precisa sia durante le normali condizioni di guida che in quelle più difficili.

Ma come funziona il DPC? Immaginiamo di essere in canoa: se si vuole girare a destra quando la canoa è nella corrente principale, è possibile frenare con la pagaia sul lato destro della canoa: questo è come i programmi di stabilità elettronici più comuni funzionano. In alternativa, è possibile pagaiare intensamente sul lato sinistro della canoa in modo da avere un maggiore controllo nel progredire in avanti e girando a destra: questo è il principio alla base di Dynamic Performance Control.

Traducendo questo concetto applicandolo alle autovetture, il DPC non rallenta la ruota interna alla curva o quella con minore grip, ma bensì velocizza l’altra. Ciò è reso possibile accoppiando ad un normale differenziale open con una coppia conica due riduttori epicicloidali (uno all’uscita di ogni semiasse) con rapporto di trasmissione $1:1{,}1$ controllati da frizioni multi disco comandate da una logica elettronica. Gli epicicloidali hanno un’attivazione magnetica tramite un’onda quadra a 300Hz.

Il suo sistema meccatronico combina informatica, elettronica e meccanica per elaborare dati complessi, quali il tasso di imbardata, velocità delle ruote, angolo di sterzata e coppia del motore in modo che possa reagire immediatamente: quando richiesto, il sistema assicura che la distribuzione coppia motrice alle ruote posteriori possa essere liberamente variata e aumentata ai lati come necessario.

Il Dynamic Performance Control aumenta la stabilità direzionale in fase di accelerazione in uscita di curva e fornisce al guidatore un supporto supplementare quando si tratta di condizioni di guida difficili. Prima della tendenza al sottosterzo o al sovrasterzo, la vettura viene mantenuta in carreggiata dalla ruota con il maggiore controllo laterale.

Anche quando le ruote posteriori si trovano su fondi con grip diverso, il Dynamic Performance Control migliora la trazione, fornendo una coppia maggiore alla ruota che presenta migliore aderenza. La differenza di coppia teorica massima tra la ruota posteriore sinistra e quella destra ammonta a 1.800 Nm. Questo apporta notevoli benefici alla stabilità del veicolo e alla trazione.

CAPITOLO 3

La trazione

I mezzi di locomozione si muovono grazie alla forza che, generata dal motore, viene trasferita alle ruote sotto forma di energia cinetica dall'albero di trasmissione passando prima per il differenziale. La trazione è dunque un tipo di trasmissione della forza motrice di un veicolo dal motore alle ruote.

I n generale i mezzi possono essere a una, due, quattro, sei o otto ruote motrici, e in base al numero di ruote motrici si può dire se un mezzo è o meno a trazione integrale.

Il numero di ruote di trazione dipende sia dal numero complessivo delle ruote che dalla necessità di trazione del mezzo:

- 1WD *(Wheel Drive)*: trazione tipica delle motociclette e di alcuni veicoli a tre ruote, dove la ruota di trazione è generalmente quella singola posta posteriormente;
- 2WD: soluzione largamente adottata nelle autovetture a quattro ruote come macchine e camion leggeri;
- 4WD: per i veicoli a quattro ruote tale sigla indica che tutte e quattro le ruote sono motrici, quindi il mezzo a quattro ruote è a trazione integrale; per le vetture che hanno più di quattro ruote la trazione non è integrale (es.: camion a sei ruote, di cui le quattro posteriori motrici);
- 6WD: usata praticamente ed esclusivamente su veicoli a sei ruote come i camion;
- 8WD: usata praticamente ed esclusivamente su veicoli a otto ruote fra cui mezzi militari e alcuni camion.

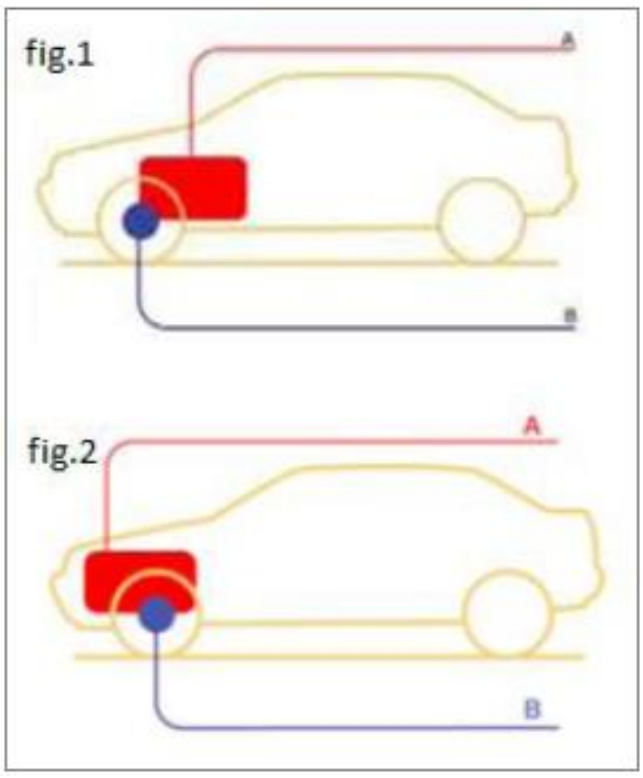
Analizzando nello specifico gli automezzi a quattro ruote, in base al numero e alla posizione delle ruote motrici si possono avere tre differenti configurazioni: trazione anteriore, trazione posteriore e trazione integrale.

3.1 Trazione anteriore

L'espressione trazione anteriore indica negli automezzi gommati la ripartizione della potenza completamente sulle ruote anteriori, le quali, a loro volta, si possono dividere in base alla posizione del motore rispetto all'asse anteriore, infatti possono essere con il motore arretrato o con il motore frontale (rispettivamente fig.1 e fig.2).

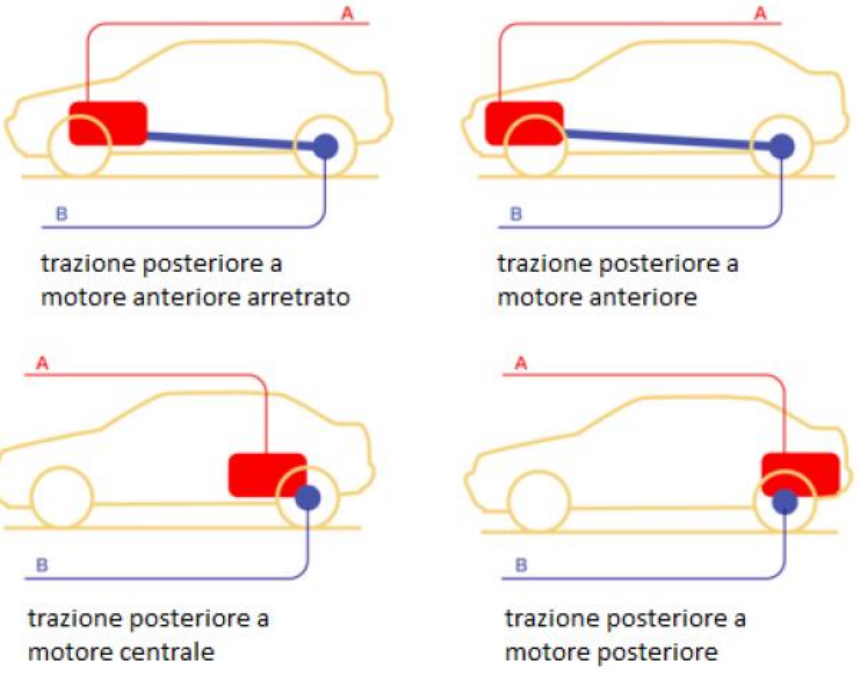
Uno dei vantaggi che contraddistingue la trazione anteriore, oltre al minor peso in quanto non necessita di lunghi alberi di trasmissione per portare il moto alle ruote posteriori, è la capacità di una facile ripresa del controllo anche da parte del guidatore meno esperto in caso di emergenza (sottosterzo e sovrasterzo).

Se molto potenti le trazioni anteriori possono presentare un trasferimento di carico sull'asse posteriore in fase di accelerazione, causando una diminuzione dell'aderenza sull'asse anteriore, portando a slittamento lo pneumatico. Tale ostacolo può essere risolto con l'ausilio di un differenziale autobloccante, che gestisce la distribuzione della coppia motrice in base all'aderenza col suolo.



3.2 Trazione posteriore

Le vetture a trazione posteriore sono quelle che hanno le ruote nella parte posteriore che trasmettono il moto, ciò però non impedisce il posizionamento del motore sia anteriormente che posteriormente. Si possono avere quindi quattro diverse configurazioni:



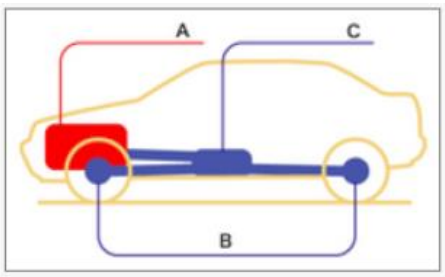
Nelle configurazioni a trazione posteriore a motore anteriore, arretrato o frontale, l'autovettura presenta un peso maggiore rispetto al posizionamento centrale o posteriore del motore dovuto alla presenza di un lungo, pesante e resistente albero di trasmissione.

In fase di accelerazione le autovetture a trazione posteriore presentano una maggiore aderenza sull'asciutto, in quanto tale fase aumenta il carico sulle ruote posteriori aumentando il peso del retrotreno. Ricordiamo che nelle autovetture a trazione anteriore "potente" la fase di accelerazione poteva portare perdite di aderenza agli pneumatici anteriori proprio a causa di questo fenomeno.

La trazione posteriore ha dalla sua parte una risposta più sportiva ma, se non ben controllata dagli ausili elettronici, il suo assetto può andare facilmente in crisi e causare testa-coda; inoltre risulta maggiormente instabile su fondi con scarsa aderenza, e rimane sempre difficoltoso recuperare il controllo dell'automobile in sovrasterzo da parte di piloti con "scarsa" esperienza. Con l'adozione di un differenziale autobloccante i problemi di tenuta su fondi a scarsa aderenza vengono agevolati.

3.3 Trazione integrale

Si definisce trazione integrale quella gamma di veicoli in cui la coppia motrice viene ripartita su tutte le ruote di cui è dotato il mezzo. Generalmente viene utilizzata la denominazione *n*x*n* per veicoli a *n*ruote. La più conosciuta (grazie alle automobili) è la 4x4, ma ad esempio l'autocarro militare Iveco ACTL (*AutoCarro Tattico Logistico*) dotato di 8 ruote a trazione integrale prende la denominazione 8x8.



A: Motore
B: Trazione
C: Differenziale

La trazione integrale può essere permanente o inseribile, e l'inserimento a sua volta può essere deciso dal conducente che, una volta ritenuta necessaria la trazione integrale agisce su comandi meccanici (leve) o elettrici (pulsanti) i quali operano sul ripartitore tramite appositi attuatori, o comandato dall'elettronica del veicolo: nel caso in cui le ruote normalmente in trazione presentino una perdita di aderenza, tale perdita viene rilevata da adeguati sensori che agiscono autonomamente sulla centralina elettrica inserendo la trazione su tutte le ruote del veicolo.

Nella trazione integrale permanente la trazione è sempre resa operativa su tutte le ruote del veicolo, mentre in quella inseribile la trazione è parzialmente anteriore o posteriore rendendo comunque possibile l'inserimento della trazione integrale su tutte le ruote in caso di necessità.

Nel linguaggio comune per identificare i veicoli con quattro ruote a trazione integrale si usa il termine "4x4", ma molte case automobilistiche utilizzano una propria denominazione per identificale; fra queste ricordiamo:

- *Quattro* → Audi
- *xDrive* → BMW
- *4RM* → Ferrari
- *4* → Porsche
- *AWD* → Volvo
- *4Matic* → Mercedes-Benz
- *Q4* → Alfa Romeo

CAPITOLO 4

SIMULAZIONE

In una vettura a trazione anteriore un differenziale autobloccante rappresenta il massimo: effettuando derapate (in fase di rilascio gas) o leggere sbandate del posteriore per inserirsi meglio in curva la vettura difficilmente diventerà incontrollabile, riducendo il rischio di perdere il posteriore, specie in fase di rilascio.

Aumentando la percentuale di bloccaggio, su una trazione anteriore, la vettura tenderà ad essere sempre più precisa sia in fase di accelerazione che di frenata, in ogni caso con bloccaggi eccessivi risulterà sottosterzante e difficile da inserire in curva; riducendo la percentuale di bloccaggio, la vettura otterrà sempre più inserimento sino al rischio di perdita di motricità e possibile conseguente perdita di controllo mezzo.

Il differenziale autobloccante è largamente implementato nelle autovetture che presentano la trazione posteriore, in modo da facilitarne l'uso e, per quanto possibile, ridurre i problemi di tenuta su fondi a scarsa aderenza ed accompagnare egregiamente il pilota nelle fasi di ingresso, centro e uscita di curva.
Maggiore sarà il bloccaggio in rilascio e migliore sarà l'inserimento in curva della vettura; valori eccessivi porterebbero alla totale perdita del posteriore con sovrasterzi marcati e possibilità di testa-coda.
Maggiore sarà il bloccaggio in potenza e maggiore sarà la capacità del veicolo di sovrasterzare in apertura di gas all'uscita di curva (si tende ad evitare il sovrasterzo in uscita di curva altrimenti il pilota sarà costretto a lasciare il gas più volte per effettuare delle correzioni e con il risultato che si può destabilizzare il mezzo. Si cerca quindi un leggero sovrasterzo in entrata e un leggero sottosterzo in uscita dalla curva).
In ingresso curva, praticamente, il pilota rilascia il gas (fase di rilascio) e l'autobloccante deve essere tarato in maniera tale da permettere l'inserimento in curva agevolmente e impedire sovrasterzo. Quando si raggiunge il centro curva, si inizia a dare gas (fase di potenza) ed il differenziale deve evitare il sovrasterzo ma essere comunque abbastanza bloccato da permettere una trazione efficace.
Nonostante l'adozione di un differenziale autobloccante, se questo non viene correttamente tarato la sua implementazione potrebbe risultare inutile e paragonabile ad un differenziale normale di tipo open o locked.

4.1 Differenziale aperto o differenziale autobloccante con scarso bloccaggio in potenza su una trazione posteriore

Se il differenziale autobloccante, applicato ad una vettura con trazione posteriore, presenta uno scarso bloccaggio in fase *power*, durante un'accelerazione rettilinea su fondo stradale omogeneo non si avvertono problemi di trazione evidenti. In accelerazione rettilinea su fondo stradale disomogeneo il veicolo può persino restare fermo e non avere alcuna trazione in quanto presenterebbe un comportamento del tutto simile a quello di un differenziale di tipo open. In accelerazione durante l'uscita da una curva (avendo quindi le ruote sterzate), mentre il mezzo è sottoposto all'azione del rollio ed il carico si trasferisce alle ruote esterne alla curva, si può avvertire il motore salire di giri senza alcun beneficio sulla trazione (i giri salgono ma il veicolo non avanza): questo significa che la ruota interna alla curva sta iniziando a slittare a mano a mano che il carico su di essa si riduce e il bloccaggio del differenziale è scarso oppure non vi è alcun bloccaggio.

Oltre a perdere trazione il veicolo si destabilizza e tende ad allargare la traiettoria sottosterzando.

4.2 Differenziale aperto o differenziale autobloccante con scarso bloccaggio in rilascio su una trazione posteriore

Se il differenziale autobloccante, applicato ad una vettura con trazione posteriore, presenta uno scarso bloccaggio in fase *coas*, nella fase di entrata in curva in decelerazione (frenando prima e sterzando poi) si osserva una notevole imprecisione del mezzo sin dalla fase di frenata. Il veicolo può quindi sbandare e raggiungere il momento dell'ingresso nella curva con la ruota esterna alla curva bloccata portando il veicolo in sovrasterzo. Il veicolo si riallinea ma tale sensazione non è percepibile dal pilota che non percepisce nemmeno la motricità del suo mezzo facendolo sembrare imprevedibile ed ingovernabile. Tale fenomeno tenderà a far sbandare il mezzo e nei casi più gravi a mandarlo in testa-coda. Qualora il veicolo riesca ad entrare comunque in curva, la fase di rilascio sarebbe comunque dominata da un allargamento di traiettoria alternato a possibili sbandate che portano improvvisi sovrasterzi.

4.3 Differenziale autobloccante con tarature potenza/rilascio corrette ma precarico insufficiente

Prendendo in esame un differenziale autobloccante con *preload* insufficiente montato su una vettura a trazione posteriore, gli effetti del precarico del differenziale sono maggiormente riscontrabili durante i cambi di traiettoria (chicane, staccate, bagarre, slalom...) ovvero nel frangente in cui si passa dal dare gas al toglierlo. Un precarico insufficiente può dare inizialmente

una sensazione di maggiore inserimento la quale, aumentando la velocità, si traduce in una facile perdita di controllo del veicolo dovuta all'instabilità dello stesso nel frangente "pressione gas/rilascio gas". Nel caso dello slalom questa situazione si verifica ripetutamente e permette quindi di rendersi conto più facilmente delle problematiche.

4.4 Differenziale autobloccante con tarature potenza/rilascio corrette ma precarico eccesivo

Un precarico eccessivo dell'autobloccante può stabilizzare eccessivamente il veicolo, fino all'estremizzazione di impedirgli di entrare in curva e seguire la corda. Il veicolo tenderà quindi ad allargare la traiettoria.

4.5 Differenziale autobloccante correttamente tarato

L'azione di un differenziale autobloccante comporta un insieme di fenomeni immediatamente riconoscibili ed attribuibili allo stesso: il veicolo rimarrà sempre in trazione durante un lungo curvone eseguito a piena potenza. Il veicolo fermo è difficile da manovrare e si oppone alla sterzata. Nel momento in cui si dà gas la ruota interna alla curva (che in teoria dovrebbe girare meno di quella esterna) è obbligata ad avere una velocità di rotazione maggiore del dovuto in quanto in fase *power* il bloccaggio presenta un valore elevato. La velocità aumenta notevolmente e il carico si trasferisce sulle ruote esterne alla curva: la ruota motrice interna alla curva perde grip generando un leggero slittamento e trasferendo la coppia motrice alla ruota con maggiore attrito al terreno. Infine il veicolo è perfettamente in grado di sovrasterzare anche se una ruota motrice non ha un perfetto contatto con il suolo.

4.6 Differenziale bloccato su una trazione posteriore

Nel caso in cui una vettura a trazione posteriore monti un differenziale di tipo locked, la vettura risulterebbe eccessivamente stabile, avrebbe difficoltà in fase *coas* negli ingressi in curva e presenterebbe un sovrasterzo eccessivo in fase *power* all'uscita di curva.
Tale settaggio può rivelarsi utile solo in talune gare in salita e durante la guida mediante tecnica del drift.

4.7 Tabella

Tipo Differenziale	Fase			Effetti
	Power	Coas	Preload	
Autobloccante	-	=	=	Rettilineo: comportamento affine al differenziale Open Curva: Sottosterzo
Autobloccante	=	-	=	Sovrasterzo – ruota esterna bloccata In casi estremi può portare a “testa-coda”
Autobloccante	=	=	-	Facile perdita del controllo in fase di coas/power/coas
Autobloccante	=	=	+	Stabilità eccessiva Sottosterzo – in casi estremi non segue la curva
Autobloccante	=	=	=	Veicolo sempre in trazione Una maggiore coppia alle ruote interne e il carico che si sposta sulle ruote esterne porta ad un leggero slittamento delle ruote interne che comporta una diminuzione della coppia su queste ed un aumento della stessa su quelle esterne che risultano avere maggiore aderenza
Lockd				Eccessiva stabilità Difficoltà in fase coas Eccessivo sovrasterzo in fase power Adatto ad alcune gare in salita o nella tecnica del drift

CONSIDERAZIONI FINALI

Il differenziale aperto viene impiegato sui comuni veicoli stradali a trazione anteriore, per la sua economicità: una comune utilitaria si stringe benissimo nelle curve lente, è molto manovrabile, ma risulta imprecisa durante le curve ad elevata velocità o sulle irregolarità del fondo stradale date da fondi sconnessi o da differenti coefficienti di attrito delle superfici (bagnato, neve, ghiaccio, ghiaia, terriccio...). In situazioni in cui anche solo una ruota motrice può perdere aderenza, il differenziale aperto è incapace di trasmettere la necessaria coppia motrice ad entrambe le ruote. Non risulta dunque adatto né all'uso sportivo né "corsaiolo" di un mezzo che necessita due particolari situazioni: avere una sorta di differenziale aperto alle basse velocità e avere una sorta di assale rigido quando una ruota motrice perde aderenza, come potrebbe essere l'utilizzo di un mezzo fuoristrada.

Nei mezzi tipo le jeep, o ancora più semplicemente nei trattori (puro utilizzo in fuoristrada), si implementa un differenziale aperto che, in caso di necessità, tramite un comando azionabile manualmente blocca i due assali in modo solidale facendo passare il differenziale da aperto a chiuso. Bisogna sempre tenere in considerazione il fatto che un blocco causa comunque una maggiore sollecitazione degli organi meccanici, riducendone a lungo termine l'affidabilità.

Per avere gli stessi vantaggi di fuoristrada e trattori nelle vetture utilitarie e/o di maggiore prestigio, cioè la compresenza dei vantaggi del differenziale open e locked, si implementano dei differenziali autobloccanti e, in alcuni dispendiosi casi di maggiore pregio, differenziali autobloccanti con controllo elettronico.
Il differenziale, come nel caso dell'autobloccante, può migliorare e assistere il guidatore in situazioni di guida più ostiche, quali quelle causate da una trazione posteriore.

A ogni vettura viene giustamente attribuito il tipo di differenziale che più le si addice, in base all'utilizzo che se ne intende fare, alle dimensioni del mezzo e in base alla categoria della vettura che si possiede.

SITOGRAFIA

http://flyingpigpedia.wikifoundry.com/page/Differenziale

http://spazioinwind.libero.it/jos4x4sicilia/r_6.htm

http://tag19.altervista.org/Meccanica.html

http://wiki.answers.com/Q/How_does_electronic_differential_in_automobiles_works

http://www.autoblog.it/post/7810/bmw-dynamic-performance-control

http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/technology_guide/articles/mm_dynamic_performance_control.html

http://www.ferrari.com/Italian/GT_Sport_Cars/F1_to_GT/Pages/Article_E_diff.aspx

http://www.garagetorino.com/tecnica/Differenziale.asp

http://www.gnu.org/software/emacs/manual/html_mono/ediff.html

http://www.ingegnerando.it/technology/differenziali/torsen.html

http://www.italiaspeed.com/new_models/new_models_2004/f430/diff.html

http://www.offroadweb.it/officina_pappalardo/differenziale.html

http://www.omniauto.it/magazine/196/tra-ruota-e-motore

http://www.roverworld.com/diff.htm#Limited

http://www.scuderie-rbc.it/differenziale.html

http://www.scuderie-rbc.it/set_trasmissione.html

http://www.youtube.com/watch?v=Fk9yz9ppmnA