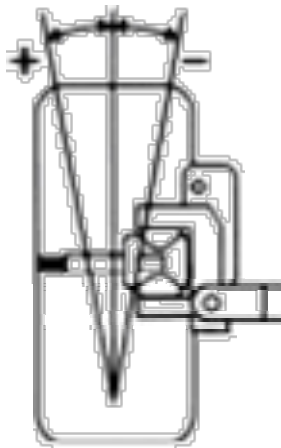


L'angolazione delle ruote

L'angolo di campanatura (camber)

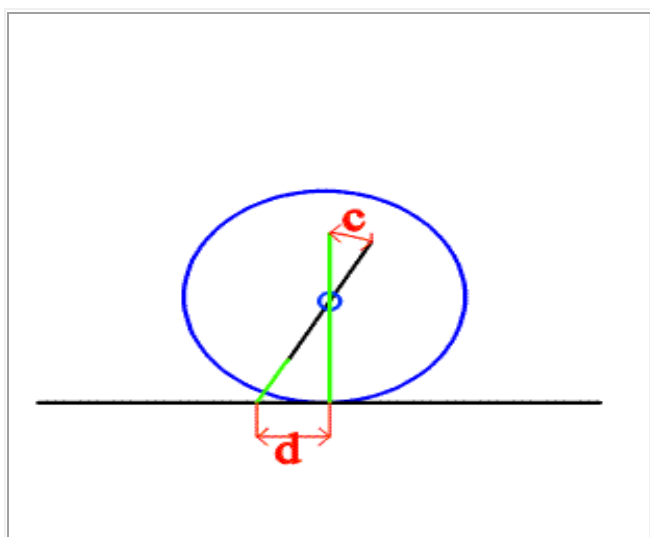


L'angolo di campanatura (camber) è l'angolo tra l'asse verticale del pneumatico e la verticale del terreno, misurato in modo che se le ruote sono inclinate verso l'interno, l'angolo è negativo, se sono inclinate verso l'esterno, l'angolo è positivo. Viene normalmente misurato con la macchina in assetto di marcia (all'altezza nominale da terra), e i valori sono tipicamente compresi tra -0,5 e -3.

Per cominciare, non si usa mai un angolo di campanatura positivo, sempre negativo o nullo. Un angolo negativo è necessario perché, quando la macchina percorre una curva, il telaio si inclina, tendendo ad aumentare l'angolo di campanatura stesso. Inoltre, dato che per lo più i pneumatici di gomma sono molto flessibili, tendono a deformarsi un po' verso il centro della curva. Se l'angolo di campanatura non fosse leggermente negativo, il pneumatico toccherebbe terra solo con la fascia esterna, con riduzione della trazione. Dato che il coefficiente di attrito (grip) del pneumatico cresce al crescere dell'area di contatto col terreno, la situazione ideale si avrebbe se il pneumatico rimanesse sempre perpendicolare al terreno senza deformarsi in presenza di forti carichi laterali. Purtroppo, non è così, e normalmente bisogna cercare il miglior compromesso. Il problema è che, se si vuole la massima trazione accelerando in rettilineo, bisogna regolare la campanatura a 0° , mentre, se si vuole la massima trazione in curva, bisogna impostarlo a un valore negativo di qualche grado, in funzione della rigidità della sospensione e della durezza della miscela del pneumatico. Quindi non è possibile ottimizzare entrambe le situazioni, e bisogna cercare un compromesso. Il modo più facile è regolare la campanatura in modo che il pneumatico si consumi in modo uniforme su tutta la larghezza del battistrada, così che ogni punto del pneumatico viene utilizzato al massimo. Si tenga presente che una macchina con sospensioni molto morbide richiede un angolo di campanatura (negativo) più accentuato di una con sospensioni molto rigide. In condizioni di fuoristrada molto accidentato, tuttavia, potrebbe essere utile usare un angolo di campanatura maggiore di quanto garantirebbe un consumo uniforme del pneumatico, per stabilizzare la macchina sugli ostacoli più grossi e per ridurre il rischio che la ruota si infili in un solco e la macchina si ribalti.

L'angolo di campanatura può anche essere impiegato per modificare il comportamento di guida della macchina, ma io lo sconsiglierei decisamente: una regolazione diversa da quella ottima in ogni caso riduce la trazione, rallentando inevitabilmente la macchina.

L'angolo di incidenza (caster)



L'angolo di incidenza (caster) è l'angolo che la verticale al suolo forma con l'asse del perno del portamozzo. Nel caso di una sospensione a trapezio, l'asse tra i centri dei due giunti a sfera funge da 'perno virtuale'. Se il portamozzo è inclinato all'indietro, come nella figura, l'angolo di incidenza è positivo. Un angolo di incidenza negativo non viene mai usato (portamozzo inclinato in avanti). Si noti che l'area di contatto tra pneumatico e terreno risulta arretrato rispetto al punto di intersezione dell'asse del portamozzo e la superficie del terreno, di un tratto pari a d in figura. Ciò fa sì che le ruote 'seguano'.

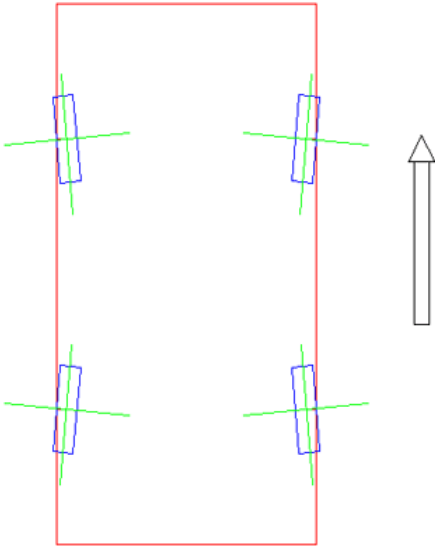
Un angolo di incidenza non nullo causerà un eccesso di campanatura delle ruote anteriori quando vengono sterzate, facendo alzare l'avantreno. E' questo innalzamento che dà alle ruote anteriori la tendenza a raddrizzare spontaneamente quando non si applica forza allo sterzo: con le ruote dritte il telaio sta all'altezza minima da terra, mentre per sterzare bisogna applicare della forza, per alzare l'avantreno. Al venir meno dell'azione sterzante, la forza di gravità riporterà le ruote nella posizione originale. Questo effetto è tanto più pronunciato, quanto più la macchina è pesante e l'angolo di incidenza è pronunciato. Inoltre, al crescere dell'angolo di incidenza, cresce la differenza di campanatura tra le ruote quando vengono sterzate. Questa differenza di campanatura va a compensare l'inclinazione del telaio e la deformazione dei pneumatici che si verificano in curva. Quindi, un angolo di incidenza pronunciato aumenterà la direzionalità all'iserimento in curva e nei curvoni veloci, in cui l'inclinazione del telaio è più pronunciata. Aumenterà anche la stabilità su terreno accidentato e la stabilità in rettilineo. Un angolo di incidenza poco pronunciato, invece, migliorerà la direzionalità nelle curve lente e la ammorbidirà l'inserimento in curva.

Si noti che l'angolo di incidenza non è sempre costante: nelle macchine con sospensioni a trapezio, in cui il braccio superiore non è parallelo al triangolo inferiore, l'incidenza varierà con

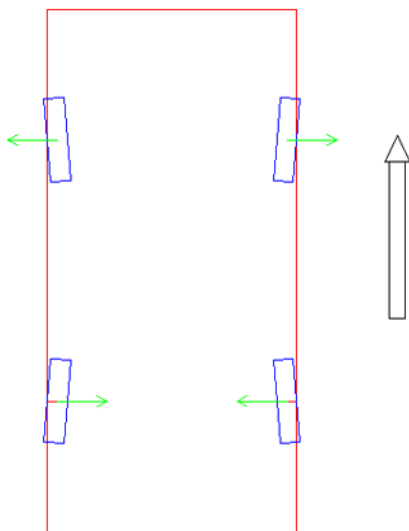
il movimento della sospensione. Se il triangolo inferiore ha un'inclinazione orizzontale minore rispetto al braccio superiore, l'angolo di incidenza diminuirà con la compressione della sospensione, ad esempio in curva o in frenata. Questo effetto è detto 'incidenza reattiva'.

3.3 La convergenza (toe)

Raramente le ruote di una macchina sono puntate perfettamente in avanti. Il disegno qui a sinistra mostra una macchina con le ruote anteriori **divergenti** e le posteriori **convergenti**. Si parla di convergenza (toe-in) quando le ruote puntano verso l'interno, e di divergenza (toe-out) quando puntano verso l'esterno, rispetto alla direzione di marcia.



Entrambe le ruote anteriori "tirano" la macchina di lato, anche se l'effetto totale è nullo, dal momento che le forze in gioco sono uguali ed opposte. Queste forze sono indicate dalle frecce verdi. Il fatto che le ruote non puntino nella direzione di marcia crea un angolo di slittamento, come spiegato nel Capitolo 1.



In teoria, la macchina non sbanda né a destra né a sinistra, ma questa è una situazione instabile. Supponiamo che la macchina incontri una piccola irregolarità del terreno su un lato soltanto, oppure che le ruote siano leggermente sterzate. Ciò si tradurrà in un po' di carico in più su uno dei due pneumatici anteriori, che quindi farà più presa sul terreno e potrà tirare la macchina un po' dalla propria parte. Nel caso della leggera sterzata, la forza che tira nel verso opposto diminuirà, a causa

dello spostamento del peso, e non a causa dell'ostacolo. Il risultato è che una ruota tira con più forza in una direzione, mentre la forza che agisce in direzione opposta si è indebolita. Di conseguenza, le due forze non si controbilanciano più, e si crea una risultante che fa curvare la macchina. Questa è una cattiva notizia, dato che il conseguente trasferimento di peso agirà ulteriormente in modo da peggiorare il problema. Il guidatore può cercare di controsterzare, ma se la correzione non è perfetta, ci ritroviamo daccapo nella stessa situazione, questa volta in direzione opposta. La macchina avrà quindi la tendenza a sbandare da una parte e dall'altra, o, nel peggiore dei casi, ad entrare in oscillazione.

Se la divergenza delle ruote causa instabilità, non c'è motivo di adottarla al retrotreno, renderebbe la macchina inguidabile. Invece, per quanto riguarda l'avantreno, c'è l'effetto stabilizzante dell'angolo di incidenza. E' per questo che talvolta le ruote anteriori possono essere leggermente divergenti, purché la macchina abbia un angolo di incidenza sufficiente a dare stabilità sui rettilinei. L'effetto "instabilità" si farà comunque notare nell'inserimento in curva, che risulterà più immediato ed aggressivo.

Il retrotreno presenta una leggera convergenza. Anche in questo caso si creano due forze opposte, ma questa volta il sistema risultante è stabile. Infatti, se, per qualsiasi ragione, una delle due forze diventasse più grande dell'altra, la macchina tenderebbe a girare nella direzione che causa un trasferimento di peso verso la ruota che sta perdendo tenuta di strada. Un maggior carico si traduce in una maggior tenuta, e quindi il sistema tende a stabilizzarsi. Questo effetto viene anche definito retroazione negativa.

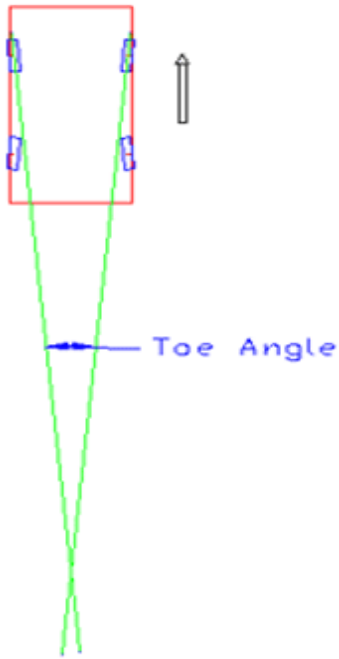
La convergenza delle ruote ha un effetto stabilizzante: tenderà a far andare dritta la macchina. Viene adottata per lo più al retrotreno, dove ne previene la tendenza a 'scappare' quando i pneumatici vengono bruscamente portati ai limiti del cerchio di tenuta, e ogni irregolarità del terreno può far loro perdere la presa. Il guidatore avrà la sensazione che il posteriore sia 'inchiodato alla strada', come se ci fosse una forza invisibile che lo tiene in traiettoria. Tuttavia ci sono degli svantaggi: la direzionalità in curva può soffrirne parecchio, specie in quelle lente. L'effetto può arrivare ad essere tale che la tenuta dell'avantreno è a malapena sufficiente a far curvare la macchina. In altre parole, troppa convergenza al retrotreno può tradursi in un effetto di sottosterzo.

Se le ruote anteriori sono convergenti, si ha sostanzialmente lo stesso effetto stabilizzante. Ciò può essere comodo per controllare le accelerazioni, ma farà perdere direzionalità all'anteriore: l'inserimento in curva sarà assai meno aggressivo.

Convergenza e divergenza hanno in comune un effetto: aumentano la prontezza di reazione della macchina. Le forze opposte, per piccole che siano normalmente, eliminano tutti i giochi della sospensione, e precaricano lateralmente i pneumatici, deformandone leggermente la carcassa. Ciò consente alla macchina di reagire più prontamente.

Lo svantaggio di un angolo accentuato di convergenza o divergenza sta soprattutto nello spreco di energia, ovvero perdita di velocità. La velocità massima diminuisce all'aumentare dell'angolo, dato che l'angolo di slittamento dei pneumatici cresce proporzionalmente. Quanto

maggiore è il grip della pista, tanto maggiore sarà la perdita: quindi, se la pista ha molto grip, bisogna evitare di esagerare con la convergenza (o divergenza). Inoltre, se l'angolazione delle ruote è pronunciata, saranno altrettanto ampi gli angoli di slittamento, con conseguente diminuzione della tenuta di strada persino in rettilineo.

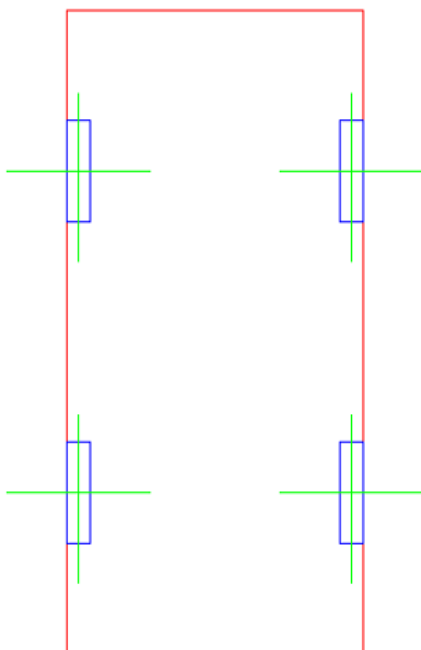


L'angolo di convergenza o divergenza ('toe angle' in figura N.d.T.) è quello tra gli assi longitudinali dei due pneumatici di uno stesso asse, e viene misurato in gradi.

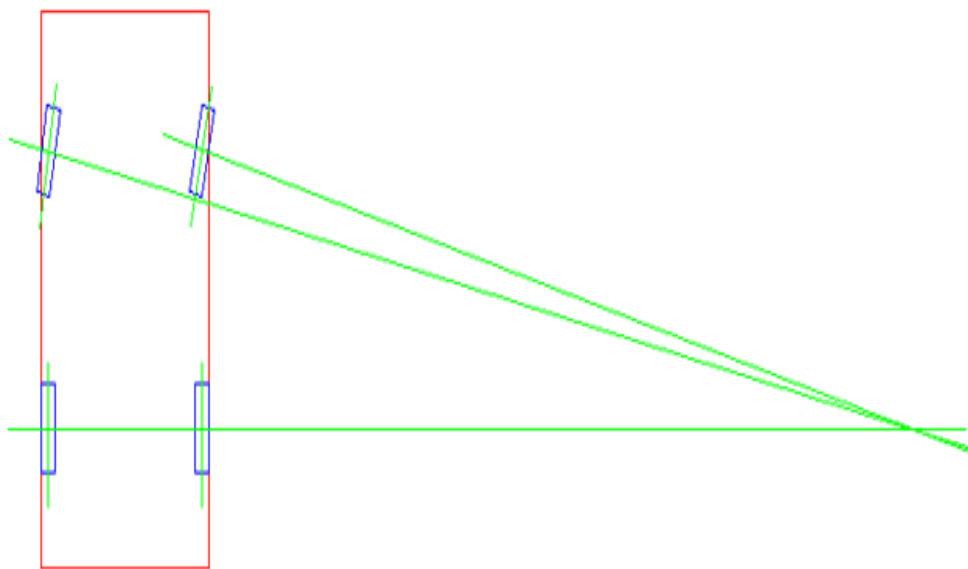
I valori normalmente utilizzati vanno da -1.5 a +1.5 gradi all'anteriore, più di così darebbe luogo a comportamenti strani, mentre al posteriore è comune utilizzare da 0 a 3.5 gradi di convergenza, qualcosa meno per le macchine on-road.

3.4 L'effetto Ackermann

Come avrete immaginato, l'effetto Ackermann fu 'scoperto' da un tale di nome Rudolf Ackermann, ancora ai tempi delle corse dei calessi. Si tratta di determinare l'angolo di sterzata corretto necessario a far curvare una macchina (o un calesse).

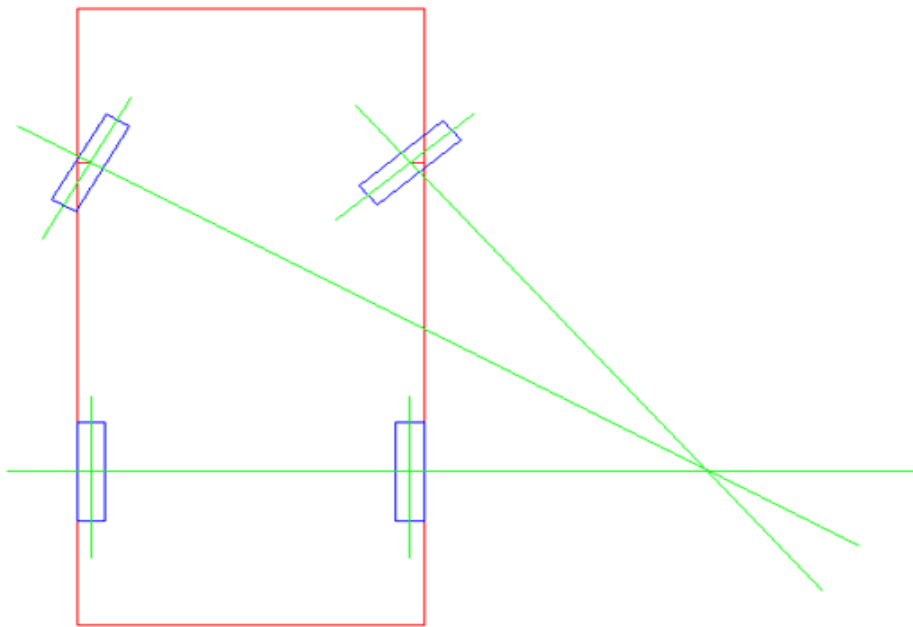


Questa è la situazione quando la macchina procede in linea retta: i prolungamenti dei semiassi anteriori e posteriori non si intersecano. Nessuna delle ruote sta slittando, e tutti i semiassi hanno la medesima angolazione (0°).



Qui vediamo la stessa macchina mentre percorre una curva molto ampia. Il punto di intersezione dei semiassi è il punto attorno al quale la macchina sta girando: è il centro della traiettoria circolare percorsa dal mezzo.

Si noti che, se nessuna delle ruote sta slittando, la ruota anteriore interna ha un angolo leggermente più accentuato della anteriore esterna. In una curva ampia come questa non è molto, ma è già qualcosa.

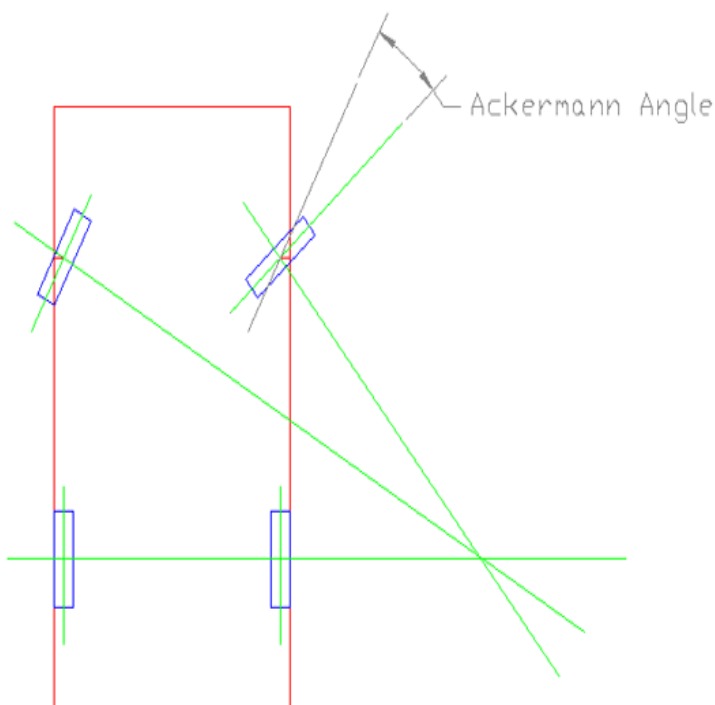


Qui invece abbiamo la stessa macchina mentre percorre una curva relativamente stretta. Il raggio di curvatura è decisamente piccolo.

Si noti che in questo caso la direzione

delle ruote anteriori è decisamente differente, e questa differenza diventa ancora più grande al restringersi della curva. Questo è l'effetto Ackermann.

In realtà, è molto difficile, se non impossibile, realizzare un meccanismo di sterzo che riproduca esattamente gli angoli necessari a soddisfare la teoria di Ackermann. Tuttavia, esiste una serie di meccanismi di sterzo semplici che producono un'ottima approssimazione della situazione ideale. In fondo, c'è sempre un po' di gioco nel meccanismo dello sterzo, ed i pneumatici possono compensare il resto con la deformazione dei fianchi dei pneumatici.



La teoria è interessante, e nelle macchine di tutti i giorni è utile avere la giusta configurazione secondo Ackermann quando si effettuano manovre sterzando al massimo, come quando si parcheggia, perché la macchina avrà un comportamento più dolce. Ma nelle corse le gomme

tendono a slittare in ogni caso, e quindi tutto sommato si può giocare un poco con gli angoli.

L'angolo tra i due pneumatici anteriori viene detto 'Angolo di Ackermann', e può essere impostato regolando la tiranteria dello sterzo.

Un angolo di Ackermann pronunciato si traduce in un comportamento di guida dolce e prevedibile. La macchina percorrerà le curve con precisione, senza che le quattro ruote tirino in direzioni diverse. Un angolo di Ackermann un po' minore dà più direzionalità, specialmente nell'inserimento in curva, ma non è garantito che ogni tanto l'avantreno non "scappi", ed il raggio di sterzata non sarà uniforme. Ciò può rivelarsi utile su circuiti veloci, se la macchina soffre di sovrasterzo in centro-curva, ma vorreste un inserimento più deciso. Per non parlare dell'impatto psicologico sul concorrente immediatamente davanti a voi quando entrate in curva.