

TESI DI LAUREA

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE
E INERZIALI DELLE
MOTOCICLETTE SPORTIVE**

Relatore: Ch.mo Prof. Vittore Cossalter

Laureando: Francesco Toffolo

Anno Accademico 1999/2000

Introduzione

Il presente elaborato ha come oggetto lo studio delle caratteristiche geometriche ed inerziali delle motociclette stradali sportive di recente produzione. Saranno esaminati ottanta tra i modelli più significativi della produzione mondiale degli ultimi quindici anni, appartenenti alla fascia di cilindrata che comprende i motocicli di 600-1000 cm³. Tra questi ottanta motocicli, cinque saranno oggetto di uno studio più approfondito, al fine di evidenziare le loro caratteristiche inerziali ed individuare quali sono i componenti del motoveicolo che maggiormente influenzano il suo comportamento dinamico.

Lo scopo sarà di analizzare le variazioni di questi parametri da modello a modello, di individuare eventuali similitudini tra i vari motocicli prodotti da diverse case costruttrici, e di tracciare un profilo dell'evoluzione negli anni per le motociclette appartenenti ad ogni fascia di cilindrata.

La scelta di studiare i modelli di cilindrata compresa tra i 600 e i 1000 cm³, è dovuta al fatto che le case costruttrici hanno dato un notevole impulso allo sviluppo, proprio in questa fascia di modelli e proprio nel periodo considerato. Si può infatti ricordare, che proprio in questi anni nascono due nuovi campionati mondiali riservati alle motociclette di questa categoria.

Il primo è quello delle Superbike, che prevede la partecipazione di motociclette derivate dalla produzione di serie, di cilindrata massima compresa tra i 750 cm³ e i 1000 cm³, secondo le configurazioni del propulsore, a quattro, tre o a due cilindri, appunto.

Il secondo è quello delle Supersport 600, ove competono motociclette, di derivazione stradale, di cilindrata compresa tra i 600 e i 750 cm³, sempre diversificate per il numero di cilindri del motore.

Va inoltre precisato che questo elaborato non vuole essere un manuale tecnico relativo alla costruzione e all'elaborazione del motociclo, ma semplicemente rappresentare un'analisi, condotta da un appassionato del mondo delle due ruote, in modo approfondito dal punto di vista pratico, delle caratteristiche geometriche, inerziali e anche dinamiche di una motocicletta, con l'intento di analizzare i motivi per cui un determinato motociclo possiede un comportamento dinamico diverso rispetto ad altri modelli.

I.1 Cinematica della motocicletta

Lo studio cinematico del motoveicolo è di fondamentale importanza, in relazione ai suoi effetti sul comportamento dinamico del motociclo stesso.

Il motociclo è composto da una grande varietà di componenti meccanici e non, ma se si esamina da un punto di vista strettamente cinematico, considerando le sospensioni rigide e le ruote indeformabili, può essere ricondotto ad un meccanismo spaziale composto da quattro corpi rigidi:

- il retrotreno (telaio, sella, serbatoio, gruppo motore e cambio)
- l'avantreno (forcella, canotto di sterzo, manubrio)
- la ruota posteriore
- la ruota anteriore

Questi corpi sono vincolati tra loro per mezzo di tre coppie rotoidali (lo sterzo e gli assi delle ruote) e sono collegati al terreno, mediante due coppie ruota - terreno (vedi figura I.1).

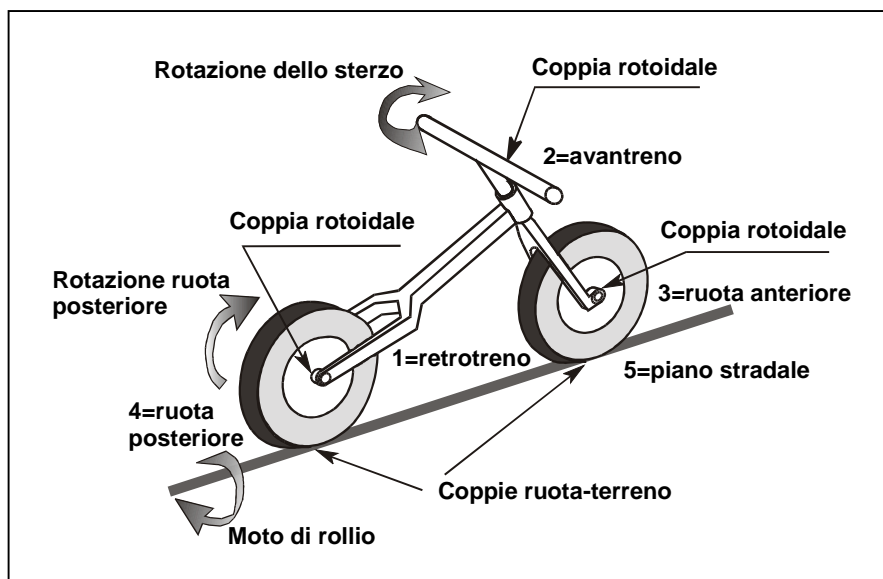


Fig. I.1. Struttura cinematica della motocicletta

Ciascuna coppia rotoidale inibisce cinque gradi di libertà del meccanismo spaziale, mentre ogni coppia ruota - terreno, considerando valida l'ipotesi di moto di puro rotolamento dei pneumatici sul piano stradale, lascia liberi soltanto tre gradi di libertà.

Ogni ruota, infatti, rispetto al piano stradale fisso, può ruotare soltanto attorno:

- al punto di contatto, nel piano della ruota (moto di avanzamento)
- all'asse di intersezione del piano del motociclo con il piano stradale (moto di rollio)
- all'asse passante per il punto di contatto e per il centro della ruota stessa (moto di prillamento)

Il numero dei gradi di libertà (g.d.l.) del motociclo è dunque pari a tre, dato che ai ventiquattro g.d.l. posseduti dai quattro corpi rigidi nello spazio, si devono sottrarre i quindici g.d.l. inibiti dalle tre coppie rotoidali (sterzo e assi ruota) e i sei g.d.l. eliminati dai due accoppiamenti ruota - terreno.

I tre gradi di libertà del motociclo si possono associare ai tre moti principali:

- moto di avanzamento del veicolo
- moto di rollio attorno alla retta congiungente i punti di contatto con il piano stradale
- moto dello sterzo

Il pilota durante la guida utilizza simultaneamente, in maniera coordinata e personale, i tre moti principali: il moto complessivo del motociclo e la traiettoria percorsa (ad esempio in una curva a gomito) sono dunque una combinazione nel tempo dei tre moti associati ai tre gradi di libertà. La manovra effettuata è perciò una, tra le infinite possibili manovre, e caratterizza lo stile di guida del pilota.

Queste considerazioni sono state formulate ipotizzando il moto dei pneumatici senza strisciamento. Nella realtà il moto dei pneumatici non è di puro rotolamento, in quanto la generazione sia di forze longitudinali (come quelle di spinta o di frenata) sia di forze laterali, richiede strisciamenti relativi rispetto al terreno, rispettivamente in direzione longitudinale e laterale.

Il numero di gradi di libertà cresce fino a sette:

- moto di avanzamento del motoveicolo
- moto di rollio
- rotazione dello sterzo
- slittamento della ruota anteriore in direzione longitudinale (frenata)
- slittamento della ruota posteriore in direzione longitudinale (spinta o frenata)
- slittamento laterale della ruota anteriore
- slittamento laterale della ruota posteriore

1.2 Geometria della motocicletta

Nella descrizione cinematica, abbiamo visto come il motociclo possa essere considerato come un meccanismo spaziale composto da quattro corpi rigidi; si può, infatti, notare che, in modo semplicistico, esso è composto da due ruote, di cui una sterzante, collegate tra loro da una struttura rigida, il telaio (vedi fig. I.1 e I.2).

La motocicletta, quindi, considerata come un corpo rigido, ossia senza sospensioni e con pneumatici indeformabili, schematizzati come solidi toroidali a sezione circolare, è descritta dalle seguenti grandezze geometriche (fig. I.2):

- p** il passo (o interasse)
- d** l'avanzamento (distanza tra l'asse dello sterzo ed il centro della ruota anteriore)
- ε l'inclinazione dell'asse di sterzo
- R_r il raggio della ruota posteriore
- R_f il raggio della ruota anteriore
- t_r il raggio del pneumatico posteriore
- t_f il raggio del pneumatico anteriore

Altre importanti grandezze geometriche sono esprimibili in funzione delle precedenti:

- $\rho_r = (R_r - t_r)$ il raggio dell'asse del toro della ruota posteriore
- $\rho_f = (R_f - t_f)$ il raggio dell'asse del toro della ruota anteriore
- $a_n = R_f \sin \varepsilon - d$ l'avancorsa normale
- $a = a_n / \cos \varepsilon = R_f \operatorname{tg} \varepsilon - d / \cos \varepsilon$ l'avancorsa

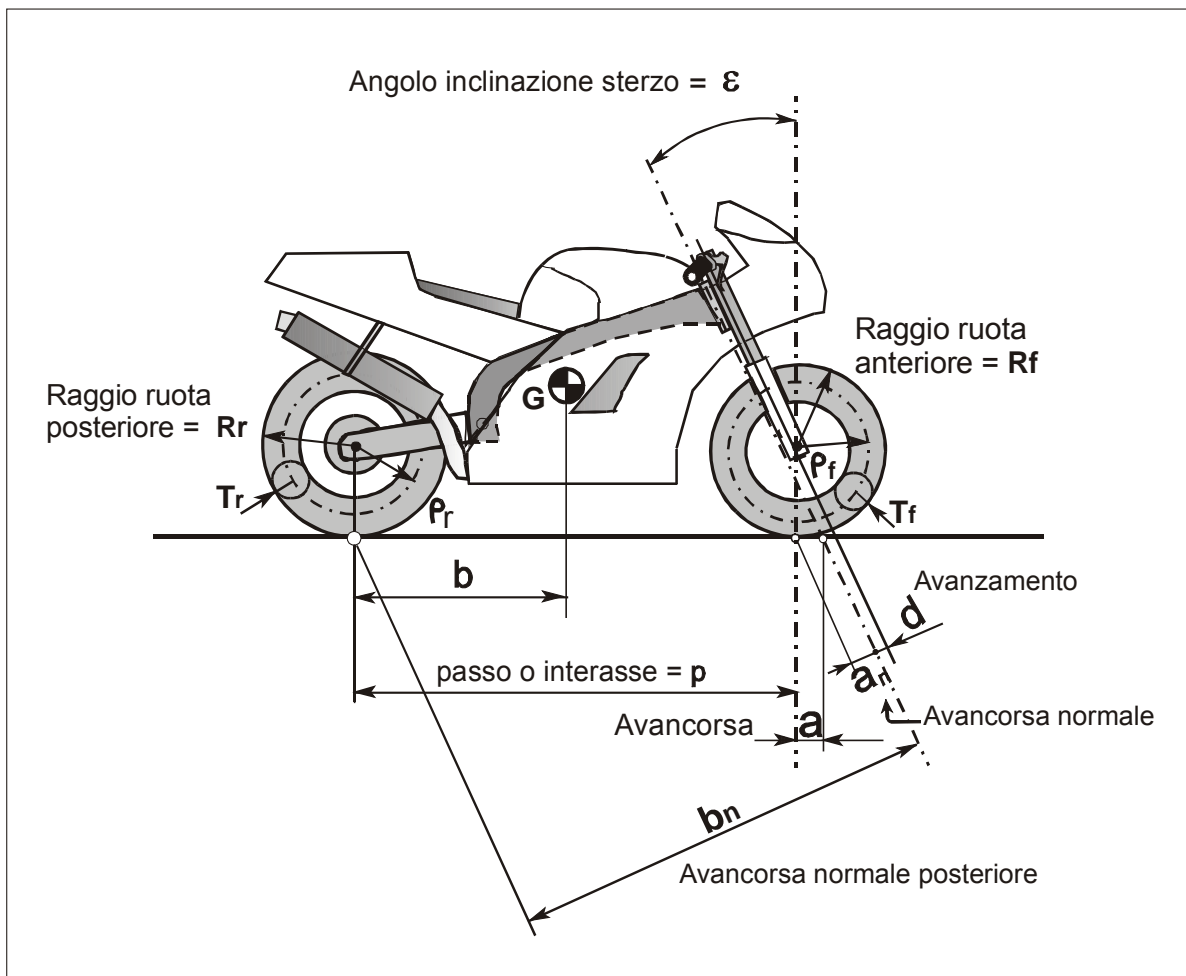


Fig. I.2. Geometria della motocicletta

Per caratterizzare un motociclo, solitamente si fa riferimento alle seguenti grandezze geometriche:

- **il passo**
- **l'avancorsa**
- **l'angolo di inclinazione dello sterzo**

Esse sono misurate con il motoveicolo nella posizione verticale e con l'angolo di sterzata nullo.

- **Il passo**, definito anche interasse, è la distanza tra i punti di contatto dei pneumatici con il piano stradale o, ugualmente, la distanza che intercorre tra i due centri ruota.
- **L'avancorsa** è la distanza tra il punto di contatto della ruota anteriore con la strada e il punto di intersezione dell'asse dello sterzo, sempre col piano stradale.
- **L'angolo d'inclinazione dello sterzo** è l'angolo compreso tra l'asse verticale e l'asse di rotazione dell'avantreno (asse dello sterzo).

Queste sono le grandezze che concorrono a definire la geometria e la maneggevolezza del veicolo percepita dal pilota; non è però possibile esaminare gli effetti di un solo parametro indipendentemente dagli altri, a causa della loro forte interazione.

Per evidenziare meglio questo legame, aggiungiamo a queste grandezze anche il diametro delle ruote. Vediamo così, come, cambiando la misura a una, di conseguenza variano pure le altre. Infatti, se sostituiamo una ruota da 18 pollici di diametro, con una da 16, la moto si abbasserà in avanti e l'avancorsa diminuirà. Per tornare al valore originario dell'avancorsa, potremmo allungare gli steli della forcella, ma in questo modo aumenteremmo l'interasse. Per riportare l'interasse al valore primitivo, potremmo diminuire l'angolo di inclinazione della forcella, ottenendo però anche una riduzione della misura dell'avancorsa.

Analizziamo ora come le singole grandezze determinano la tipologia del mezzo e come influenzano la guida.

Il valore del **passo** varia secondo il tipo di motociclo: si va da valori di 1200 mm per piccoli scooter, a 1300 mm per motociclette leggere (cilindrata 125 cm³), a 1350 mm per moto di media cilindrata (250 cm³) fino a raggiungere e superare i 1600 mm nei veicoli turistici di grossa cilindrata.

Un incremento dell'interasse, mantenendo costanti le misure degli altri parametri geometrici, comporta:

- un aumento sfavorevole della deformabilità flessionale e torsionale del telaio, a scapito della maneggevolezza del mezzo e della velocità di inserimento in curva.

- un aumento sfavorevole del raggio minimo di curvatura che rende difficile effettuare curve di piccolo raggio (ad esempio compiere curve a gomito o svolte a U tra due marciapiedi).
- una diminuzione favorevole del trasferimento di carico tra le due ruote, durante le fasi di accelerazione e frenata, con conseguente diminuzione del moto di beccheggio. Risulta più difficile il ribaltamento in avanti in frenata o l'impennata in accelerazione.
- una diminuzione favorevole del moto di beccheggio generato dal superamento di asperità del piano stradale.
- un aumento favorevole della stabilità direzionale del veicolo

L'avancorsa e l'angolo di inclinazione dello sterzo sono di fondamentale importanza poiché definiscono le caratteristiche geometriche dello sterzo e concorrono a determinare le proprietà di maneggevolezza e stabilità del motoveicolo. Anche questi parametri dipendono dal tipo di motociclo.

L'avancorsa è sempre posta in relazione con il passo, infatti, si va da valori di 75-90 mm nei veicoli da competizione a valori di 90-100 mm nei motocicli sportivi, fino a misure di oltre 120 mm nei mezzi puramente turistici.

L'angolo di inclinazione dello sterzo varia anch'esso in funzione del veicolo passando da 19° delle moto da speedway, a 21-24° per le moto sportive o da competizione, fino a raggiungere i 27-33° per i veicoli ad indirizzo turistico.

Sotto l'aspetto strutturale, un angolo molto piccolo, al limite nullo, comporta, durante la frenata, notevoli sollecitazioni della forcella (e di conseguenza del telaio). La forcella è abbastanza deformabile sia flessionalmente che torsionalmente, perciò valori piccoli di detto angolo causano maggiori sollecitazioni e quindi maggiori deformazioni, che possono innescare pericolose oscillazioni dell'avantreno durante la guida (come il "wobble", cioè l'oscillazione dell'avantreno attorno all'asse dello sterzo e il "chatter" che è l'oscillazione intermittente della forcella anteriore).

Analizziamo ora più approfonditamente queste ultime due grandezze.

1.2.1 L'importanza dell'avancorsa

Questo parametro ha il compito di stabilizzare lo sterzo durante il moto del motoveicolo, in particolare in quello rettilineo. Le grandezze caratteristiche dello sterzo sono l'angolo di inclinazione del suo asse ε , l'avanzamento d e il raggio della ruota anteriore R_f . Con queste grandezze si calcola l'avancorsa normale a_n e quindi anche l'avancorsa $a = a_n / \cos \varepsilon$.

Per chiarire meglio questo concetto, consideriamo un motoveicolo che avanza con moto rettilineo, a velocità costante V e supponiamo che una perturbazione esterna (ad

esempio una irregolarità del fondo stradale o un colpo di vento laterale) provochi una leggera rotazione dello sterzo verso sinistra. Prescindendo dal fatto che il motociclo cominci a curvare a sinistra inclinandosi contemporaneamente a destra per effetto della forza centrifuga, concentriamo l'attenzione sulla forza laterale di attrito F , generata dal contatto del pneumatico col terreno.

Supponiamo inoltre che il retrotreno avanzi con velocità costante V e che il punto di contatto della ruota anteriore abbia velocità pari a V nella direzione del moto. Il vettore V può essere scomposto in due componenti ortogonali:

- la componente $\omega_f R_f$ che rappresenta la velocità dovuta al moto di rotolamento: essa giace nel piano della ruota (ruotato verso sinistra di un angolo dipendente dall'angolo della sterzata)
- la componente $V_{\text{strisciamento}}$ che rappresenta invece la velocità di strisciamento del punto di contatto rispetto al piano stradale.

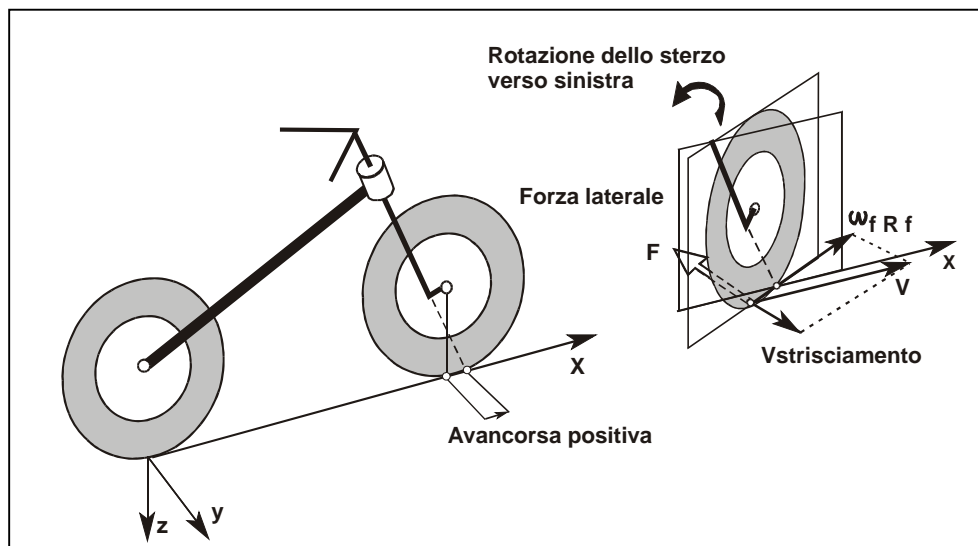


Fig. I.3. Effetto stabilizzante dell'avancorsa positiva nella marcia rettilinea

Sul pneumatico agisce una forza di attrito F , che ha la medesima direzione della velocità di strisciamento, ma verso opposto (vedi fig. I.3).

Poiché l'**avancorsa è positiva**, la forza di attrito F genera un momento che tende a riportare lo sterzo nella posizione di equilibrio. In tal caso la coppia raddrizzante è proporzionale al valore dell'avancorsa normale (che è appunto il braccio della coppia prodotta).

Se il **valore dell'avancorsa fosse negativo** (cioè il punto di contatto tra ruota e terreno è posto più avanti del punto di intersezione dell'asse dello sterzo con il piano stradale), la forza di attrito F , sempre opposta alla velocità di strisciamento del pneumatico, genererebbe una coppia attorno all'asse di sterzo che tenderebbe ad aumentare la rotazione verso sinistra. Nella fig. I.4 si vede come in questo caso la forza di attrito F amplificherebbe l'effetto della perturbazione, compromettendo gravemente l'equilibrio del veicolo.

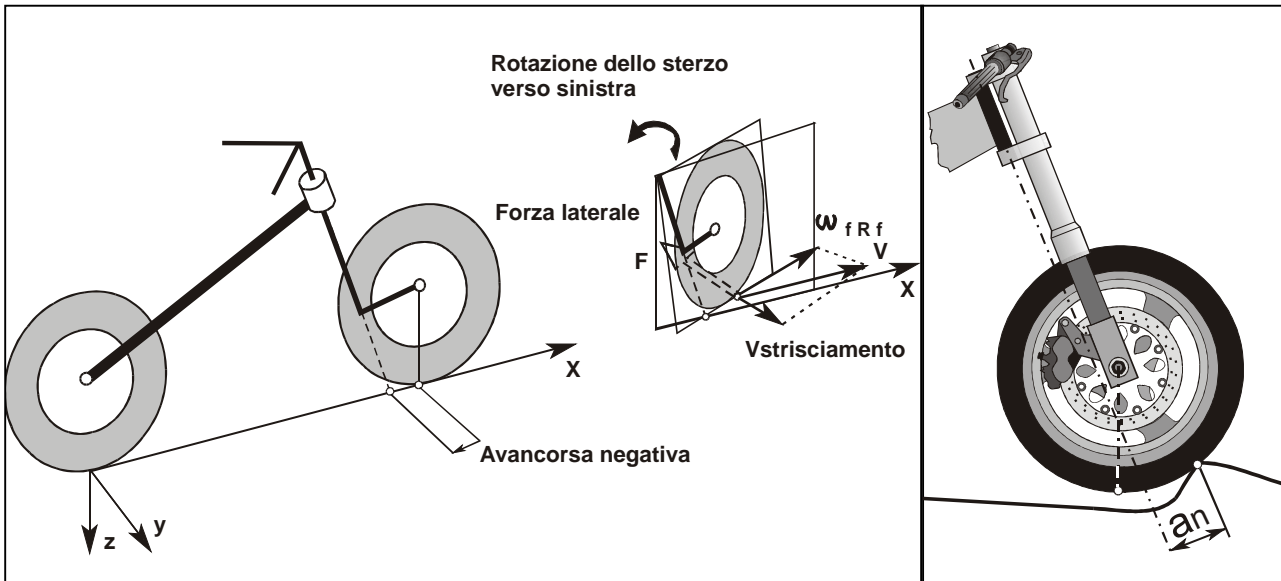


Fig. I.4. Effetto destabilizzante dell'avancorsa negativa nella marcia rettilinea e cambiamento dell'avancorsa da positiva a negativa in seguito al superamento di un dosso sul fondo stradale.

Si deve inoltre precisare che l'avancorsa può passare da positiva a negativa a causa del profilo stradale, da esempio nel superamento di un gradino o di un dosso (fig. I.4). Con piccoli valori dell'avancorsa si generano piccoli momenti di richiamo della forza di attrito laterale, perciò la manovra è percepita leggera, ma lo sterzo è più sensibile alle irregolarità stradali.

Valori elevati dell'avancorsa (ottenuti con grandi valori dell'angolo d'inclinazione dell'asse di sterzo) aumentano la stabilità nel moto rettilineo del veicolo, a scapito di un drastico peggioramento della manovrabilità e della maneggevolezza.

Durante il moto in curva la tenuta di strada è garantita dalle forze laterali di attrito, che agiscono normalmente alla retta di intersezione dei piani delle ruote con il piano stradale stesso.

Le forze laterali, anteriore e posteriore, esplicano dei momenti attorno all'asse di sterzo, proporzionali rispettivamente alle distanze a_n e b_n .

Tali distanze sono legate all'interasse e all'avancorsa dalle relazioni:

$$a_n = a \cos \varepsilon = R_f \sin \varepsilon - d$$

$$b_n = (p + a) \cos \varepsilon$$

dove a_n rappresenta l'avancorsa normale anteriore, ossia la distanza tra il punto di contatto della ruota anteriore e l'asse dello sterzo, mentre b_n è pensata come avancorsa normale della ruota posteriore (vedi fig. I.2). Per i rimanenti parametri, si ricorda che a è l'avancorsa, p è l'interasse, d è l'avanzamento, ε è l'angolo di inclinazione dell'asse di sterzo e R_f è il raggio della ruota anteriore.

Questa semplice considerazione ci fa comprendere, ulteriormente, come il passo e l'avancorsa siano intimamente connessi e vadano analizzati insieme. Non è perciò significativo definire un'avancorsa piccola o grande, se non in riferimento al valore del passo del veicolo.

Come parametro di confronto tra le varie motociclette possiamo introdurre il rapporto tra avancorsa normale anteriore e posteriore:

$$R_n = \frac{a_n}{b_n}$$

L'avancorsa normale anteriore risulta pari a circa il 4-8 % rispetto al valore di quella posteriore.

Per i veicoli da competizione questo rapporto è all'incirca pari al 6%, i veicoli sportivi e supersportivi raggiungono il 6-6.5%, mentre i veicoli da turismo presentano valori variabili tra il 6 e l'8 %.

Comportamento un po' anomalo è dato dalle grosse cruiser (veicoli pesanti e non molto veloci), per le quali il rapporto è intorno a 5-6% e perciò sono caratterizzate da un'avancorsa modesta rispetto al passo.

Il motivo di questa scelta costruttiva, risiede nel fatto che per rendere maneggevoli questi veicoli molto pesanti di avantreno, si sceglie un'avancorsa piccola, così da dover applicare una coppia minore al manubrio per eseguire una determinata manovra. Inoltre va ricordato che, siccome questi veicoli sono impiegati normalmente a velocità non molto elevate, non necessitano di avancorse lunghe che garantiscono elevata stabilità direzionale ad alta velocità.

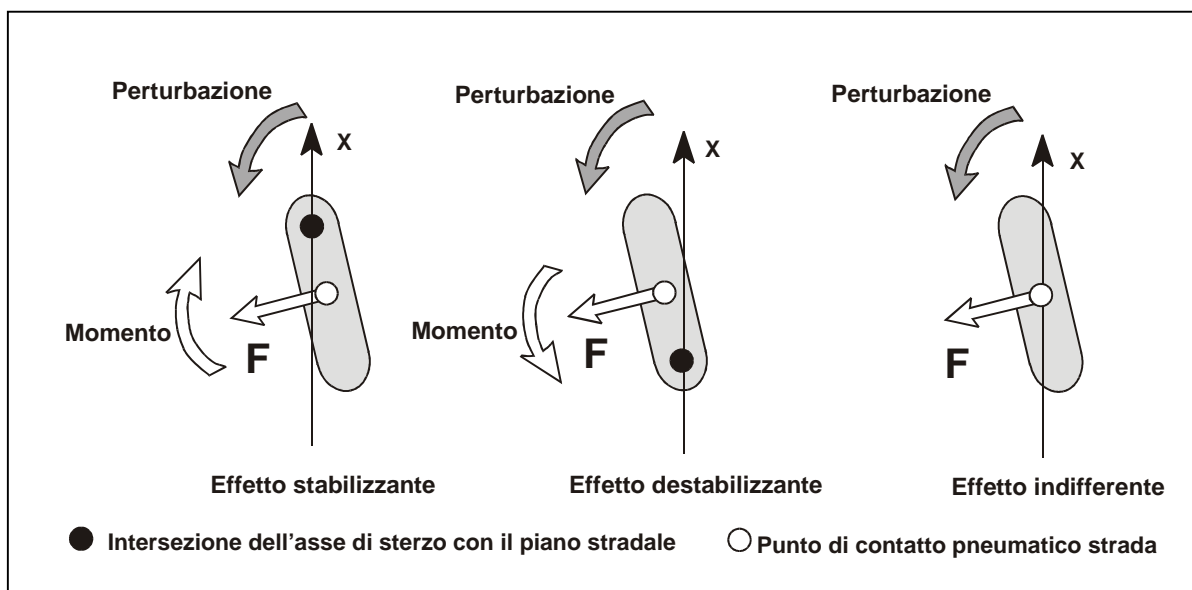


Fig. I.5. Schema riassuntivo dell'effetto dell'avancorsa nella marcia rettilinea

1.2.2 Ancora sull'angolo d'inclinazione del canotto di sterzo

E' questa un'altra caratteristica molto importante della geometria della motocicletta, dal momento che è il parametro più diretto per determinare il valore dell'avancorsa.

Per questo motivo su molte motociclette di impostazione super sportiva e da competizione, c'è la possibilità di variare, in modo relativamente semplice, l'angolo di inclinazione dell'asse di sterzo. Questo artificio permette di avere valori di avancorsa sempre adatti alle caratteristiche del circuito.

La possibilità di cambiare il valore dell'avancorsa è data da diverse soluzioni tecniche: molto facile risulta la variazione di questa caratteristica nelle sospensioni anteriori a forcellone oscillante (tipo Bimota Tesi), oppure con l'adozione di cuscinetti di sterzo regolabili, che permettono variazioni dell'angolo di inclinazione di 1-2°, valore sufficiente a modificare l'avancorsa anche di 10 mm.

Si può variare l'inclinazione dello sterzo anche con l'adozione di differenti piastre di collegamento degli steli, soluzione questa che permette di mantenere lo stesso valore di avancorsa, oppure di variare quest'ultima, conservando l'inclinazione del canotto originale.

E' bene inoltre rammentare che l'inclinazione del canotto di sterzo è di fondamentale importanza nell'assorbimento degli urti che la ruota anteriore subisce nella marcia del veicolo. Infatti per una moto da trial, destinata all'uso a bassa velocità, si adotta una forcella poco inclinata (22-23 gradi) perché essa è destinata ad assorbire colpi quasi verticali, eventualità questa remotissima per le moto stradali.

1.3 Baricentro

Il baricentro o centro di gravità di un corpo è definito come quel punto in cui si può pensare che agisca tutto il peso dell'oggetto in questione. Chiaramente si tratta di un concetto ideale per una motocicletta, dal momento che il suo peso è distribuito, in modo diverso, in tutto lo spazio che essa occupa. In ogni caso è però un'approssimazione che si rivela molto utile per ottenere buoni risultati pratici.

Se consideriamo un parallelepipedo di metallo, ponendolo in equilibrio su un supporto sottile, una volta per ogni suo lato (altezza, larghezza e profondità), otteniamo che il baricentro è nel centro del solido.

Trattandosi di un corpo tridimensionale, ciò può essere esteso anche alla motocicletta, considerando, per la buona simmetria di cui gode, la posizione del baricentro situata

all'incirca sul piano longitudinale verticale passante appunto per la mezzeria del veicolo.

Rimangono allora da definire le altre due coordinate della posizione del baricentro all'interno del suddetto piano.

Queste due distanze sono la sua altezza dal piano stradale h e la distanza b della sua proiezione, sul piano stradale, dal centro della ruota posteriore (volendo si può prendere come riferimento anche la ruota anteriore e la distanza sarà valore dell'interasse meno la distanza b).

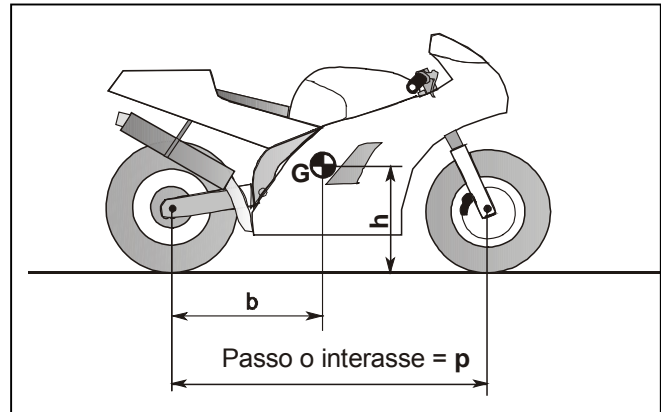


Fig. I.6. Coordinate del baricentro del motociclo.

La posizione del baricentro influenza in modo determinante il comportamento dinamico del motociclo, in particolare nelle fasi di accelerazione e di frenata.

Esaminiamo gli effetti della **posizione orizzontale** del baricentro.

In fase di accelerazione:

- spostando in avanti il baricentro, aumentando cioè il valore di b , si ottiene una maggior tendenza al pattinamento della ruota posteriore e una minor tendenza ad alzare la ruota anteriore e a causare l'impennamento della motocicletta;
- spostando indietro il baricentro, diminuendo la distanza b , si ricava un effetto opposto al precedente e cioè si ha una maggior tendenza all'impennata e una minor propensione allo slittamento della ruota posteriore.

In fase di frenata:

- spostando in avanti il baricentro, si ottiene una minor tendenza della ruota anteriore al bloccaggio e contemporaneamente una maggior facilità di sollevamento della ruota posteriore.
- spostando indietro il baricentro, la ruota posteriore fatica a sollevarsi, ma per la ruota anteriore cresce la tendenza al bloccaggio.

La posizione orizzontale del baricentro determina anche la distribuzione statica dei carichi tra asse anteriore e asse posteriore. Un baricentro situato a metà interasse determina una ripartizione del peso pari al 50 % su ogni asse.

Possiamo definire la scelta più consona ad ogni utilizzo del veicolo, quella in cui la motocicletta con pilota a bordo, ripartisce il carico complessivo al 50% su ogni asse, ripartizione questa, che permette un uguale comportamento in accelerazione e frenata.

Nel caso si debba affrontare una curva a velocità costante, se l'anteriore è caricato con più del 50% del carico totale, la ruota posteriore può perdere aderenza. Viceversa se il carico grava maggiormente sull'asse posteriore, può essere l'avantreno ad

allargare la traiettoria per la perdita di aderenza. Si parla allora di veicolo sovrasterzante, se è la ruota posteriore a perdere aderenza e a stringere la traiettoria effettiva rispetto a quella impostata, viceversa, si definisce sottosterzante un veicolo che tende ad allargare la traiettoria in seguito ad un maggiore slittamento della ruota anteriore.

Attualmente la tecnologia costruttiva delle sospensioni e dei pneumatici, si è spinta oltre, permettendo ripartizioni del carico totale (moto + pilota) fino al 57% all'anteriore e 43% al posteriore per motociclette da competizione, dal 43-50% anteriore e 50-57% posteriore per veicoli turistici e sportivi.

Dal momento che il peso del pilota varia da individuo a individuo, si può considerare ottimale la ripartizione più comune del 54 /46 % fra anteriore e posteriore per la moto scarica, prendendo comunque, come intervallo più comune, quello compreso tra il 45/55 % e il 55/45 % per asse anteriore e posteriore.

La posizione verticale del baricentro non ha alcun effetto sulla distribuzione dei pesi in condizioni statiche, ma esercita una grandissima influenza sul comportamento del veicolo in accelerazione e in frenata.

Effetti della **posizione verticale** del baricentro.

In fase di accelerazione:

- riducendo l'altezza del baricentro la ruota anteriore si solleverà con minor facilità, mentre la ruota posteriore slitterà con minor difficoltà.
- aumentando l'altezza del baricentro, la ruota anteriore tenderà a sollevarsi facilmente, mentre quella posteriore a slittare con difficoltà.

In fase di frenata:

- spostando in basso il baricentro, la ruota posteriore tenderà ad alzarsi con difficoltà, mentre quella anteriore bloccherà con più facilità.
- Alzando il baricentro si otterrà l'effetto opposto, di una ruota posteriore cioè che si alza con facilità e di una anteriore che difficilmente si blocca.

Nel momento in cui si ha una variazione della velocità della motocicletta in movimento, si ha un effetto comunemente chiamato trasferimento di carico. Tale fenomeno avviene perché le forze di frenata e di accelerazione sono generate al livello del suolo, perciò distanti dal punto in cui si trova il baricentro. Questa situazione fa sì che nelle fasi di variazione della velocità, si instaurino



dei momenti, dati dalle forze men-zionate per la distanza del baricentro dal piano stradale (di accelerazione e di frenata), che tendono a far ruotare il corpo.

Per questo motivo, maggiore è l'accelerazione provocata, maggiore è il trasferimento di carico da un asse all'altro, tanto che nelle motociclette più sportive si arriva al punto di trasferire l'intero carico sulla ruota posteriore con evidenti sollevamenti di quella anteriore (vedi foto I.1).

Insistere ulteriormente sull'acceleratore porterebbe al ribaltamento all'indietro.

Una situazione analoga si presenta nelle violente decelerazioni causate della frenata, in cui il forte trasferimento di carico dalla ruota posteriore a quella anteriore può provocare il sollevamento della prima (vedi foto I.2), causando, al limite, il ribaltamento in avanti del veicolo.

Va notato, inoltre, che quando il motociclo si alza in seguito a forte accelerazione o frenata, la distanza del baricentro dal suolo aumenta, amplificando l'effetto di rotazione instauratosi (aumenta il braccio del momento) e rendendo più difficile il controllo del mezzo. Se fosse possibile applicare le forze di accelerazione e frenata direttamente nel baricentro, il trasferimento di carico sarebbe nullo e non si avrebbero reazioni del tipo considerato.



Foto I.2. Trasferimento del carico in frenata

Va fatto un ultimo appunto sulla distribuzione della massa.

Nella motociclette sportive la ripartizione del carico è maggiore sull'asse anteriore anche per il fatto che, nella guida ad alta velocità, oltre alle forze esaminate, ne entrano in gioco anche altre di origine aerodinamica. Si parla infatti di resistenza e di portanza aerodinamica, ed è proprio quest'ultima forza che, mentre il veicolo si muove, tende ad alzarlo, alleggerendo l'avantreno. Anche per ovviare a questo inconveniente, l'avantreno risulta maggiormente caricato.

Per quel che riguarda invece il comportamento del veicolo in frenata, considerate le notevoli prestazioni dei pneumatici attuali, i piloti preferiscono una distribuzione dei pesi che permetta di frenare al limite, col sollevamento della ruota motrice, piuttosto che con la ruota anteriore che scivola dopo il bloccaggio, perché in tal modo la caduta sarebbe garantita.

Il baricentro sarà quindi discretamente alto e avanzato, a scapito di qualche pattinamento in più della ruota posteriore.

I.4 Movimenti di beccheggio, rollio e imbardata

Durante la fase di sterzata, la motocicletta e di conseguenza il pilota, sono soggetti ad una serie di movimenti che sommandosi e interagendo tra loro, permettono di effettuare la curva senza cadere. La motocicletta infatti, a differenza dell'automobile, possiede un equilibrio dinamico, ma non statico. Vale a dire che è solo per l'effetto giroscopico delle ruote che il motoveicolo rimane nella posizione verticale e per il contributo delle correzioni effettuate dal pilota, specialmente a bassa velocità, dove si ottiene un andamento piuttosto serpeggiante.

I movimenti che permettono di compiere la sterzata sono principalmente tre: il movimento di **beccheggio**, il movimento di **rollio** e quello di **imbardata**. Analizzeremo ora questi tre movimenti da un punto di vista piuttosto descrittivo, anche per delineare meglio parte della procedura di analisi seguita nello studio delle caratteristiche inerziali dei motocicli, riportata nel capitolo 2.

Dal momento che il baricentro del veicolo si trova ad una considerevole altezza dal piano stradale e che il veicolo presenta uno sviluppo in lunghezza rispetto al punto dove è situato il baricentro stesso, tutti questi movimenti produrranno dei momenti di inerzia.

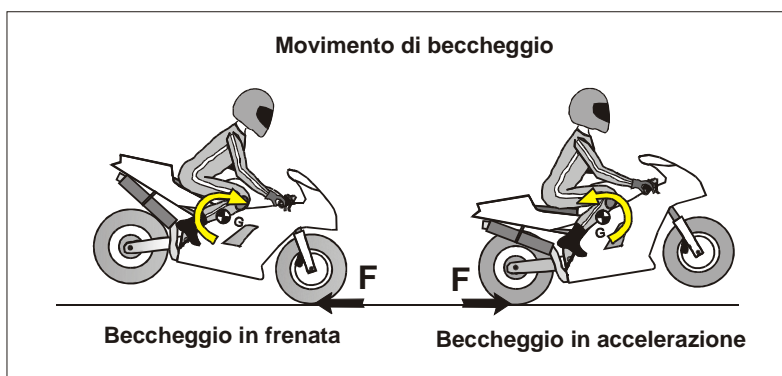


Fig. I.7. Movimento di beccheggio della motocicletta

Il movimento di beccheggio consiste nell'abbassamento longitudinale della parte anteriore del motoveicolo in fase di frenata e nel suo conseguente sollevamento nella fase di accelerazione. Si genera infatti una rotazione intorno all'asse trasversale Y_G passante per il baricentro del veicolo. Si comprende facilmente come questo comportamento, sebbene

mediato dal lavoro delle sospensioni, sia causato dal trasferimento del carico da un asse all'altro in seguito ad una variazione di velocità, fenomeno che abbiamo già analizzato in precedenza (vedi figura I.7, dove sono evidenziati anche i momenti generati e il lavoro delle sospensioni).

Oltre che dal trasferimento del carico, il beccheggio è provocato anche dalla conformazione dello sterzo. Sia nella configurazione con un dato avanzamento, che, maggiormente, in quella con avanzamento nullo, la rotazione dello sterzo provoca (mantenendo idealmente il centro ruota fisso) il distaccamento del pneumatico dal

suolo che si allontana. Chiaramente la ruota manterrà il contatto col suolo e perciò l'asse ruota si abbasserà, causando un minimo movimento di beccheggio.

Il movimento di rollio consiste nella rotazione del motociclo attorno alla retta congiungente i punti di contatto dei pneumatici col piano stradale (asse X). Questo movimento è di fondamentale importanza perché permette di contrastare la forza centrifuga. Nelle competizioni, infatti, si vede come la tendenza di guida, sia quella di inclinare il più possibile la moto, spostando il corpo verso il centro curva, proprio con l'intento di contrastare tale forza.

Anche in questo caso, la conformazione delle motociclette, in particolare di quelle più attuali, fa sì che durante il moto di rollio, si generi un movimento di beccheggio, dato dalla differenza di sezione tra i due pneumatici.

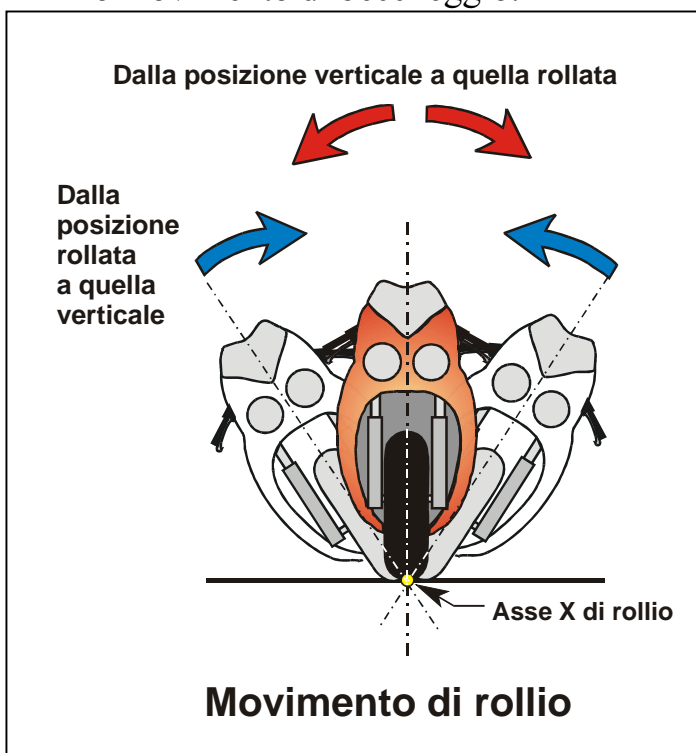


Fig. I.8. Movimento di rollio della motocicletta

Consideriamo il motociclo inizialmente in posizione verticale e imponiamo un movimento di rollio al retrotreno, supponendo che il pneumatico rotoli lateralmente senza strisciare (fig.I.9-b). Vediamo come il punto di contatto di quest'ultimo con il suolo, si sposta lateralmente, lungo la direzione y , di una quantità $t_r \cdot \text{tg} \varphi$, proporzionale al raggio del toroide della ruota posteriore e all'angolo di inclinazione del retrotreno.

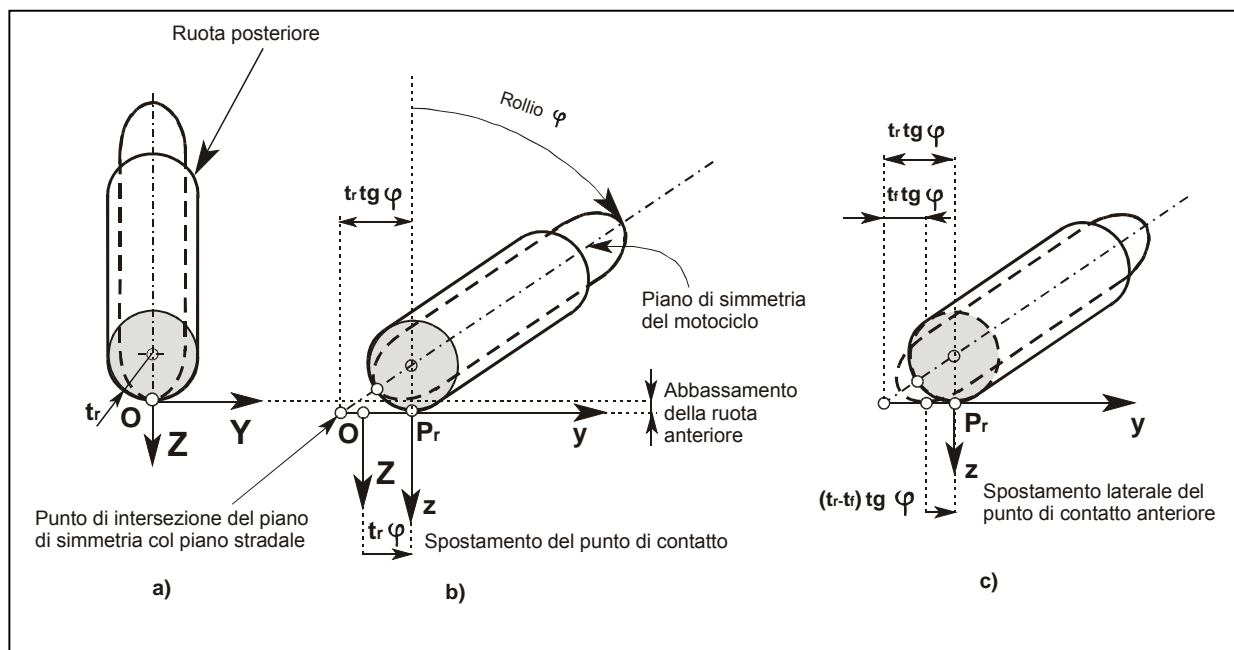


Fig. I.9. Spostamento laterale dei punti di contatto generato dal solo movimento di rollio.

Supponiamo che il rollio avvenga senza rotazione dello sterzo (angolo nullo di sterzo) e impediamo il beccheggio del motociclo attorno all'asse della ruota posteriore. Dal momento che il pneumatico anteriore ha una sezione inferiore rispetto a quello posteriore, a seguito del moto di rollio, la ruota anteriore risulterebbe sollevata rispetto al piano stradale. Il mantenimento del contatto della ruota anteriore con il suolo è permesso allora dalla rotazione di beccheggio di tutto il motociclo attorno all'asse della ruota posteriore. Per tale ragione, dopo le rotazioni di beccheggio e rollio, il punto di contatto della ruota anteriore risulta spostato a sinistra, rispetto a quello della ruota posteriore, della quantità $(t_r - t_f) \cdot \text{tg} \varphi$ (fig. I.9-c).

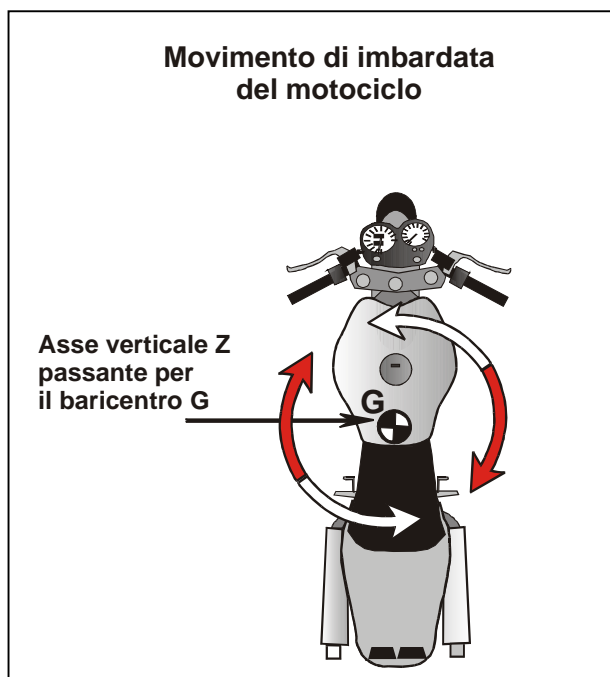


Fig. I.10. Movimento di imbardata della motocicletta

Il movimento di imbardata determina la rotazione della motocicletta attorno al suo asse baricentrico verticale durante la fase di sterzata (fig. I.10). Anche questo movimento genera un momento di inerzia, poiché, dato lo sviluppo longitudinale del veicolo, molte sono le masse disposte in posizione lontana dal baricentro.

Molto interessante è l'effetto delle dimensioni dei pneumatici sull'imbardata del retrotreno quando il pilota affronta la curva e inclina la moto (cioè scende in piega). Le moderne motociclette sono solitamente equipaggiate con pneumatici aventi toroidi di dimensione diversa tra anteriore e posteriore, date le diverse larghezze degli stessi. Immaginiamo per semplicità che la motocicletta considerata sia inizialmente in

posizione verticale, con angolo di sterzata nullo.

Supponiamo quindi di piegare la motocicletta mantenendo nullo l'angolo di sterzata (fig. I.11-b).

Nel caso i pneumatici possiedano toroidi uguali ($t_r = t_f$), la retta di intersezione del piano di simmetria del motociclo col piano stradale, coincide con la direzione di avanzamento del veicolo. Inclinando la motocicletta, il piano della moto non subisce alcuno spostamento angolare di imbardata, ma soltanto uno spostamento laterale dovuto al rotolamento laterale dei pneumatici. Lo spostamento laterale è, in tal caso, pari al prodotto dell'angolo di rollio φ per il raggio del toroide dei pneumatici:

$$t_r \text{tg} \varphi = t_f \text{tg} \varphi$$

Se invece i diametri dei toroidi dei pneumatici sono diversi (solitamente $t_r > t_f$) come mostrato in figura I.11-b, il moto di rollio, sempre nell'ipotesi di angolo di sterzata nullo, produce, oltre allo spostamento laterale, una rotazione ψ del piano della moto, ossia una rotazione di imbardata, il cui valore è :

$$\Psi = \arcsen \frac{(t_r - t_f)(tg \varphi - \varphi)}{p}$$

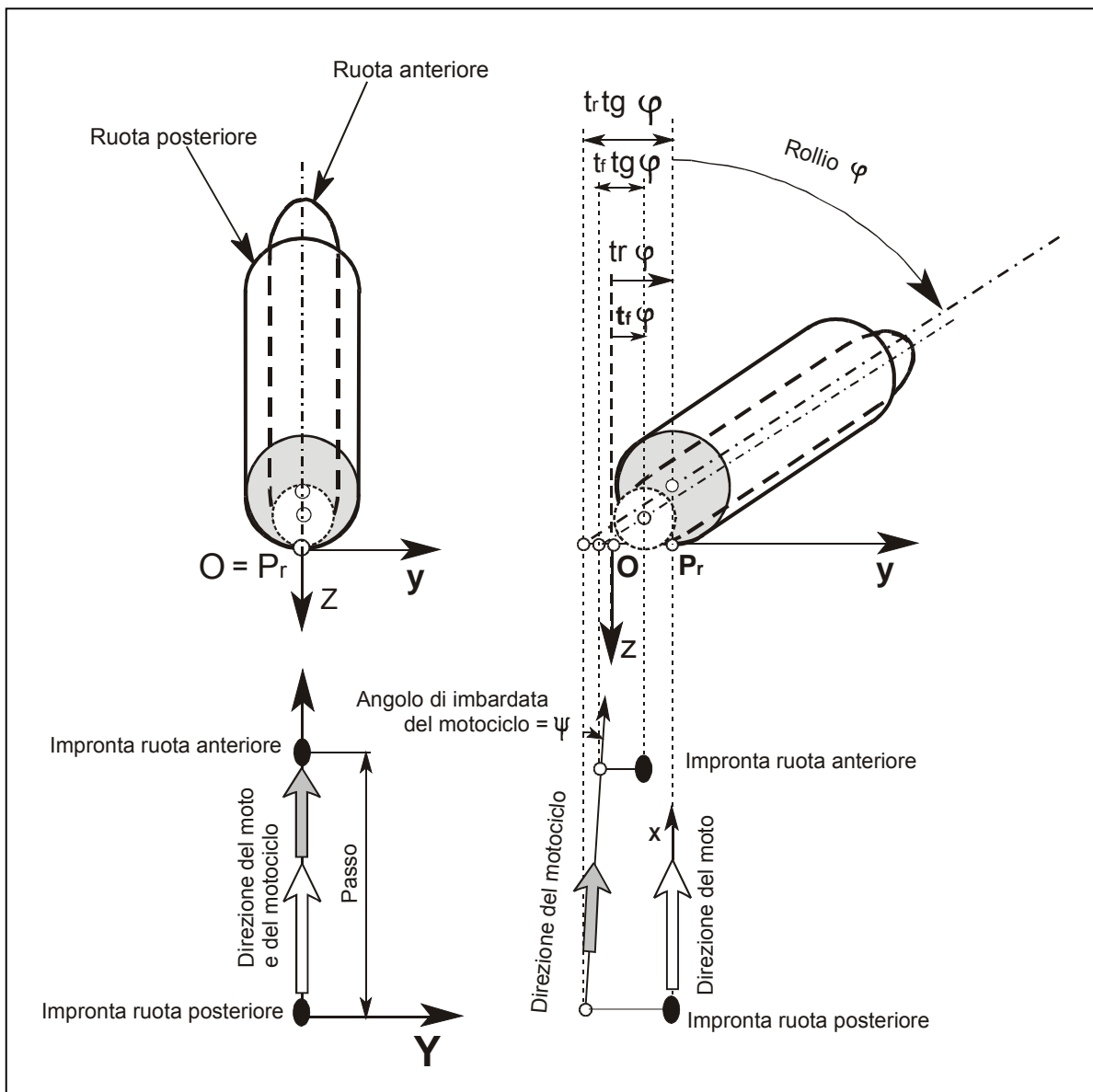


Fig. I.11. Imbardata della motocicletta causata da pneumatici aventi toroidi diversi

