LA FRENATA DEL MOTOCICLO

L'importanza della frenata del motociclo potrebbe essere rappresentata dall'affermazione " *prima impara a frenare... poi corri* " ; per andare veloci in condizioni di sicurezza è necessario saper valutare gli spazi di arresto necessari nelle diverse condizioni e saper frenare sfruttando tutte le potenzialità dell'impianto frenante e quindi anche quelle del freno posteriore.
Infatti molti motociclisti tendono a pensare che il freno posteriore sia un optional inserito più per questioni estetiche che per scopi funzionali e si dimenticano della sua esistenza.
Male, il freno posteriore può dare invece un utile contributo:
-**sia nella frenata (cosiddetta staccata) per l'inserimento in curva** del motociclo,
-**sia nella frenata al limite di aderenza in rettilineo** quando un ostacolo improvviso ci compare davanti, purtroppo abbastanza spesso visto il comportamento di alcuni nostri amici automobilisti.

Contributo del freno posteriore nella staccata

Nell'inserimento in curva l'utilizzo del freno posteriore fornisce un valido contributo soprattutto ai fini della stabilità direzionale. Infatti se la frenata viene effettuata bruscamente solo con il freno anteriore potrebbe insorgere una condizione pericolosa anche perché il carico sulla ruota posteriore diminuisce fino quasi ad annullarsi a causa del trasferimento di carico.
La forza di frenata anteriore e la forza di decelerazione del motociclo generano infatti una coppia che tende ad imbardare maggiormente il motociclo ossia in altre parole a ruotare il retrotreno verso l'interno della curva con conseguente possibile caduta, se non si smette di frenare.

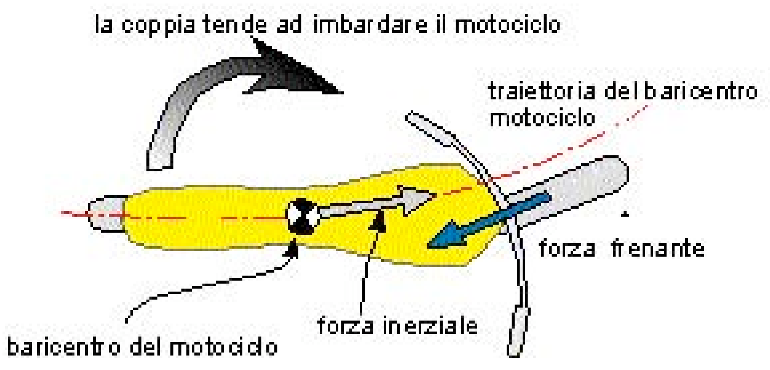


Figura 1. Motociclo in curva con forza frenante solo anteriore

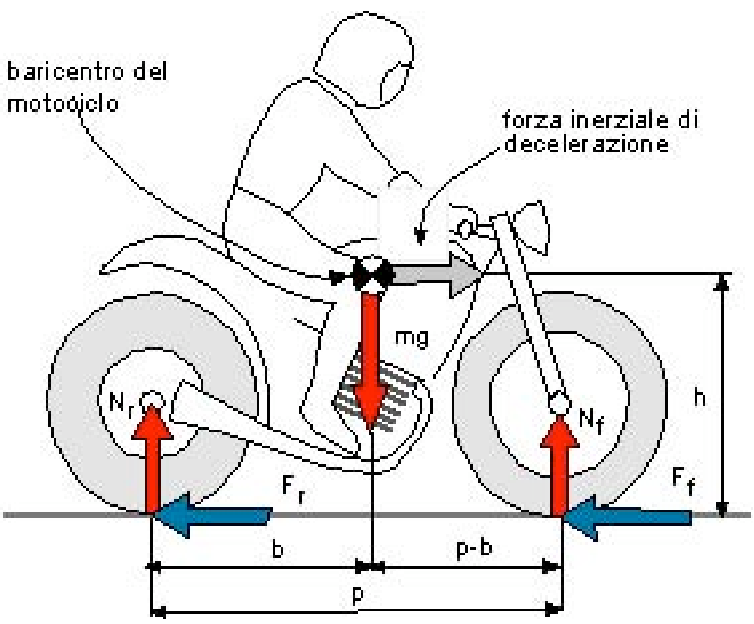
La forza frenante della ruota posteriore ha invece una azione stabilizzante nei confronti della direzionalità del moto come si può intuire osservando la figura 2.

Figura 2 Motociclo in curva con forza frenante solo posteriore

Queste semplici considerazioni ci suggeriscono di utilizzare durante la frenata per l'inserimento in curva del veicolo sia il freno anteriore che il freno posteriore.

Trasferimento di carico durante la frenata

Per valutare il contributo del freno della ruota posteriore nella frenata al limite di aderenza, nel moto rettilineo decelerato, dobbiamo fare alcune considerazioni sulle forze agenti sul veicolo.
Durante il moto decelerato il carico sulla ruota anteriore aumenta mentre il carico sulla ruota posteriore diminuisce, in sostanza vi è un trasferimento di carico dalla ruota posteriore a quella anteriore.
Le equazioni cardinali applicate al veicolo nel suo insieme consentono di calcolare i carichi dinamici sulle ruote e il trasferimento di carico dalla ruota posteriore alla ruota anteriore .



Equilibrio delle forze orizzontali;
la forza di inerzia di decelerazione (data dal prodotto della massa *m*per la decelerazione *d*) è uguale alla somma delle forze frenanti:

$$md = +F_f + F_r$$

Equilibrio delle forze verticali;
la forza peso *mg* è uguale alla somma dei carichi verticali agenti sulle ruote:

$$-mg + N_r + N_f = 0$$

Equilibrio dei momenti rispetto al baricentro:

$$-Fh - N_r b + N_f (p - b) = 0$$

dove con *F*(*forza di frenata complessiva*), si é indicata la somma della forza frenante anteriore *Ff*e della forza frenante posteriore *Fr*.
Il carico dinamico sulla ruota anteriore risulta pari alla somma del carico statico e del trasferimento di carico:

$$N_f = mg\frac{b}{p} + F\frac{h}{p}$$

mentre il carico dinamico sulla ruota posteriore risulta pari alla differenza del carico statico con il trasferimento di carico:

$$N_r = mg\frac{(p - b)}{p} - F\frac{h}{p}$$

Si può osservare che il trasferimento di carico *Fh/p* risulta proporzionale alla forza di frenata complessiva ed all'altezza del baricentro ed inversamente proporzionale al passo.
Se poniamo nulla la forza frenante troviamo i carichi verticali statici agenti sulle ruote che dipendono ovviamente solo dalla posizione orizzontale del baricentro.

Carico statico sulla ruota anteriore: $Ns_f = mg\frac{b}{p}$

Carico statico sulla ruota posteriore: $Ns_r = mg\frac{(p - b)}{p}$

Affinché un pneumatico non slitti durante la frenata, il valore della forza frenante ad esso applicata non deve superare il prodotto del carico dinamico agente sul pneumatico stesso per il relativo coefficiente di aderenza: quest'ultimo prodotto rappresenta proprio la massima forza frenante applicabile al pneumatico in assenza di slittamento ovvero la forza frenante al limite dell'aderenza.

Detti *ff*e*fr*i coefficienti di aderenza relativi rispettivamente alla ruota anteriore ed alla ruota posteriore, la forza frenante complessiva al limite dell'aderenza Ë data dalla seguente espressione□

$$F = F_f + F_r = f_f N_f + f_r N_r$$

Normalmente durante una frenata non si arriva ai limiti dell'aderenza, la forza frenante dipende quindi dai coefficienti di attrito impegnati (indicati con □) dalle ruote anteriore e posteriore.

$$F = F_f + F_r = \mu_f N_f + \mu_r N_r$$

La figura seguente mostra l'andamento dei carichi dinamici sulle ruote in funzione della forza di frenata. Sia i carichi sulle ruote che la forza frenante sono adimensionalizzate (rapportate) alla forza peso. Il veicolo considerato ha una ripartizione statica dei carichi sulle due ruote 50% - 50% ossia il baricentro cade nella mezzeria del passo.
Supponiamo che il coefficiente di aderenza sia molto basso e pari a *f= 0.2* per entrambe le ruote. Dal grafico si vede che i carichi dinamici sulle ruote risultano all'incirca uguali a 0.4 sulla ruota posteriore e 0.6 su quella anteriore. In queste condizioni non utilizzare il freno posteriore significa rinunciare ad un contributo del 40% rispetto alla massima forza frenante ottenibile.

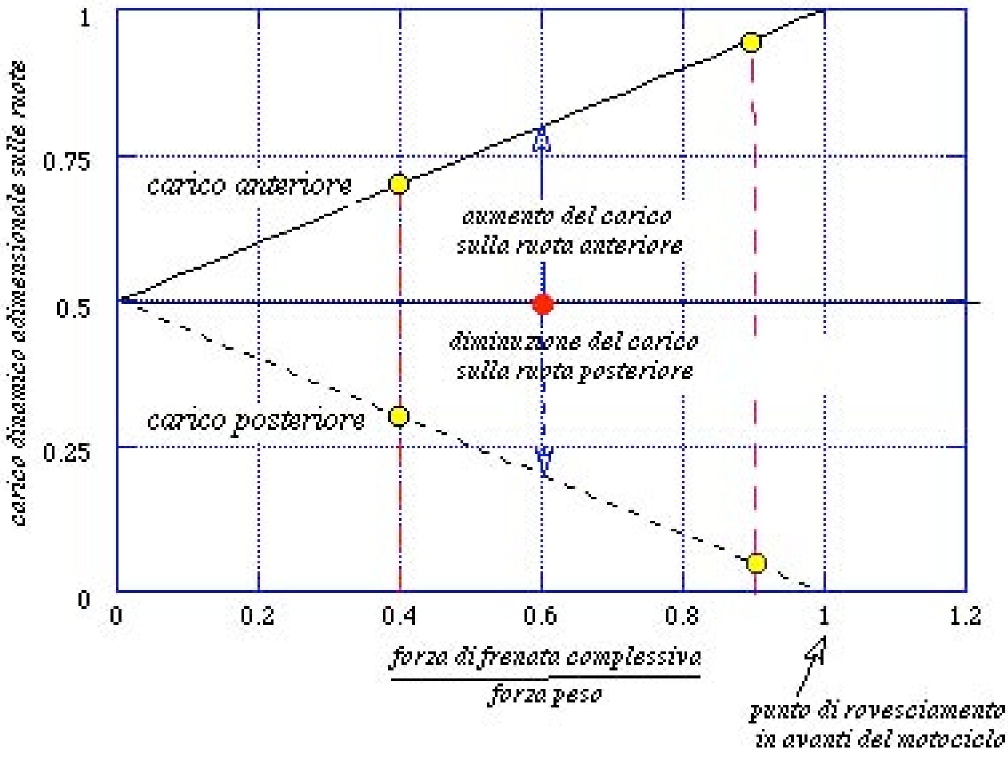


Figura 4. Carichi dinamici adimensionali sulle ruote al variare della forza di frenata complessiva massima adimensionale

Se invece il coefficiente di aderenza é molto elevato, ad esempio f= 0.9 la figura mostra che il carico sulla ruota anteriore risulta pari a 0.95 mentre il carico sulla ruota posteriore risulta solo pari a 0.05; pertanto il contributo della forza frenante posteriore risulta in questo caso assai modesto, quasi trascurabile.

In conclusione, si può affermare che il ricorso al freno posteriore Ë poco utile su ottimi fondi stradali e con pneumatici dotati di mescola tenera (*elevato coefficiente di aderenza*), ma diviene indispensabile sui fondi scivolosi (*ridotto coefficiente di aderenza*).

Rovesciamento in avanti del motociclo

La figura precedente mostra che, all'aumentare della forza di frenata complessiva, il carico sulla ruota posteriore diminuisce fino ad annullarsi□la condizione limite di rovesciamento si verifica proprio quando il carico dinamico sulla ruota posteriore diventa nullo. In questa situazione, il carico dinamico sulla ruota anteriore risulta uguale al peso del motociclo e la direzione della risultante del carico dinamico e della forza di frenata passa per il baricentro del veicolo.
L'equazione dell'equilibrio dei momenti rispetto al baricentro fornisce l'espressione della forza di frenata al limite del rovesciamento:

$$F = mg\frac{(p-b)}{h}$$

Quanto minore Ë tale forza, tanto più facile risulta il raggiungimento della condizione di rovesciamento incipiente□si puÚ concludere dunque che il rovesciamento è favorito a parità di forza frenante dalla leggerezza del motociclo e dalla posizione alta ed avanzata del baricentro.
La decelerazione, espressa in g, a cui corrisponde il rovesciamento incipiente del motoveicolo risulta pari a:

$$\%_{\max} = \frac{d_{\max}}{g} = \frac{p-b}{h}$$

Da osservare che la decelerazione al limite del rovesciamento dipende solo dalla posizione del baricentro e non dal peso del veicolo. Per aumentare il valore della decelerazione al limite di rovesciamento è necessario abbassare il baricentro del motociclo e posizionarlo più indietro possibile.

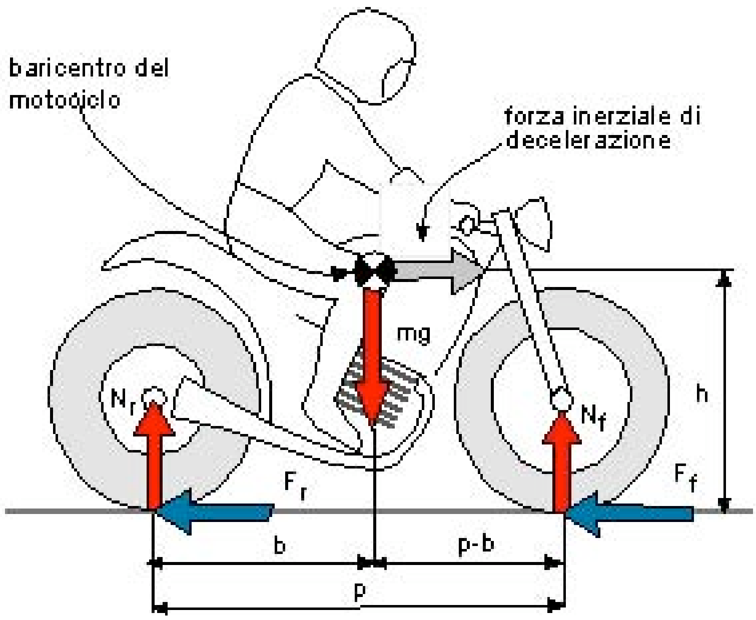


Figura 5 Motociclo al limite del rovesciamento

La frenata ottimale

Si definisce ottimale la frenata che consente di ottenere la massima decelerazione possibile.
La decelerazione del veicolo, espressa in *g* risulta:

$$\chi = \frac{d}{g} = \frac{p\mu_r + b(\mu_f - \mu_r)}{p + h(\mu_r - \mu_f)}$$

Si può osservare che la decelerazione dipende dalle caratteristiche geometriche (passo *p*, altezza del baricentro *h*, distanza longitudinale del baricentro *b*) e dai coefficienti di attrito impegnati .
Si può osservare che la decelerazione non dipende dalla massa ma solo da grandezze geometriche e dalle caratteristiche dei pneumatici.
La forza di frenata della ruota anteriore rispetto alla forza di frenata totale risulta anch'essa funzione delle sole grandezze geometriche e dei coefficienti di attrito impegnati dalle due ruote:

$$\rho = \frac{F_f}{F_f + F_r} = \frac{\mu_f(b + h\mu_r)}{p\mu_r + b(\mu_f - \mu_r)}$$

Rappresentiamo in un grafico le curve di ripartizione della frenata e di decelerazione (rapportata all'accelerazione di gravità $g = 9.81$ m/s 2), in funzione dei coefficienti di attrito impegnati da ciascuna ruota.
Si può vedere che la decelerazione aumenta all'aumentare dei coefficienti di attrito, in modo particolare di quello della ruota anteriore. Questo comportamento è comprensibile se si ricorda che durante la frenata vi é un trasferimento di carico dalla ruota posteriore alla ruota anteriore.
Le curve in rosso rappresentano la ripartizione della frenata tra ruota anteriore e posteriore (aliquota anteriore, aliquota posteriore).
L'asse orizzontale corrisponde ad una frenata con la sola ruota posteriore (0/100) mentre l'asse verticale rappresenta il caso di frenata con la sola ruota anteriore (100/0). La figura mostra la convenienza dell'utilizzo del freno posteriore soprattutto quando il coefficiente di attrito è basso; tale convenienza diminuisce fino a diventare quasi trascurabile in presenza di coefficienti di attrito molto elevati.

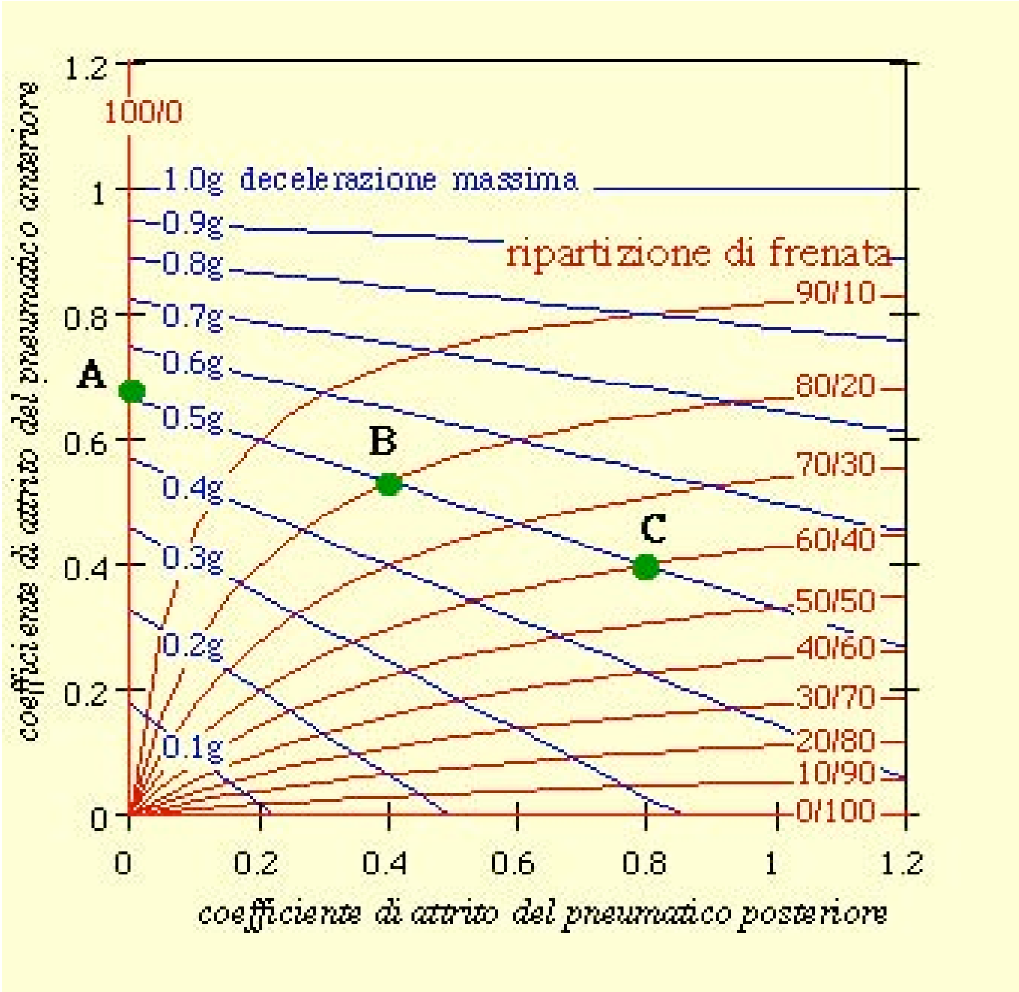


Figura 6. Curve delle decelerazioni e di ripartizione della frenata.
passo p=1.4 m; altezza baricentro h=0.7 m; distanza orizzontale b=0.7 m

Con i dati assunti la condizione limite di rovesciamento si verifica quando la decelerazione risulta pari a 1 g; la curva (1 g) rappresenta quindi la massima decelerazione ottenibile.
Supponiamo di voler frenare il veicolo con una decelerazione pari a 0.5 g; le possibili combinazioni di utilizzo dei freni anteriore e posteriore in grado di fornire la decelerazione desiderata sono infinite; ad esempio frenando solo con il freno anteriore la decelerazione di 0.5 g è ottenuta impegnando un coefficiente di attrito anteriore pari a 0.68 (punto A), con una ripartizione delle forze frenanti 80% anteriore e 20% posteriore invece si deve impegnare un coefficiente di attrito anteriore pari a 0.55 e posteriore pari a 0.4 (punto B).
Una altra possibilità è ad esempio rappresentata dal punto C che mostra una ripartizione della forza frenante 60% anteriore e 40% posteriore a cui corrisponde un maggiore impegno del pneumatico posteriore e un corrispondente minore impegno di quello anteriore.
Ci chiediamo ora, viste le infinite possibilità, quale è il punto che rappresenta la frenata ottimale, sempre ipotizzando di desiderare una decelerazione pari a 0.5 g.
Supponiamo che i coefficienti di aderenza dei pneumatici (massimi coefficienti di attrito impegnabili) siano uguali per entrambi i pneumatici. E' intuitivo pensare che la frenata ottimale si avrà quando i due pneumatici vengono impegnati in uguale misura, ossia quando i coefficienti di attrito impegnati dai due pneumatici sono uguali.
La figura 7 mostra che impegnando i pneumatici in uguale misura si ottiene la massima decelerazione possibile; ad esempio se il coefficiente di aderenza è pari a 0.8 sia per la ruota posteriore che anteriore la massima decelerazione (pari a 0.8 g) si ottiene con una ripartizione della frenata 90-10 a cui corrisponde il massimo impegno dei due pneumatici.
La figura mostra che utilizzando solo il freno anteriore si ottiene una decelerazione inferiore pari a 0.67 g e che con il solo freno posteriore si ottiene solo 0.29 g.

Se il fondo stradale è più scivoloso e i coefficienti di aderenza di entrambe le ruote risultano pari a 0.4 la frenata ottimale si ha con una diversa ripartizione (30/70) e fornisce una decelerazione pari a 0.4 g.
Questo esempio mostra che la frenata ottimale necessita di una differente ripartizione di frenata tra le due ruote al variare della decelerazione desiderata. Infatti la retta inclinata di 45°, che corrisponde a mf= mr e che rappresenta la condizione di frenata ottimale, interseca differenti curve di ripartizione al variare della decelerazione desiderata.

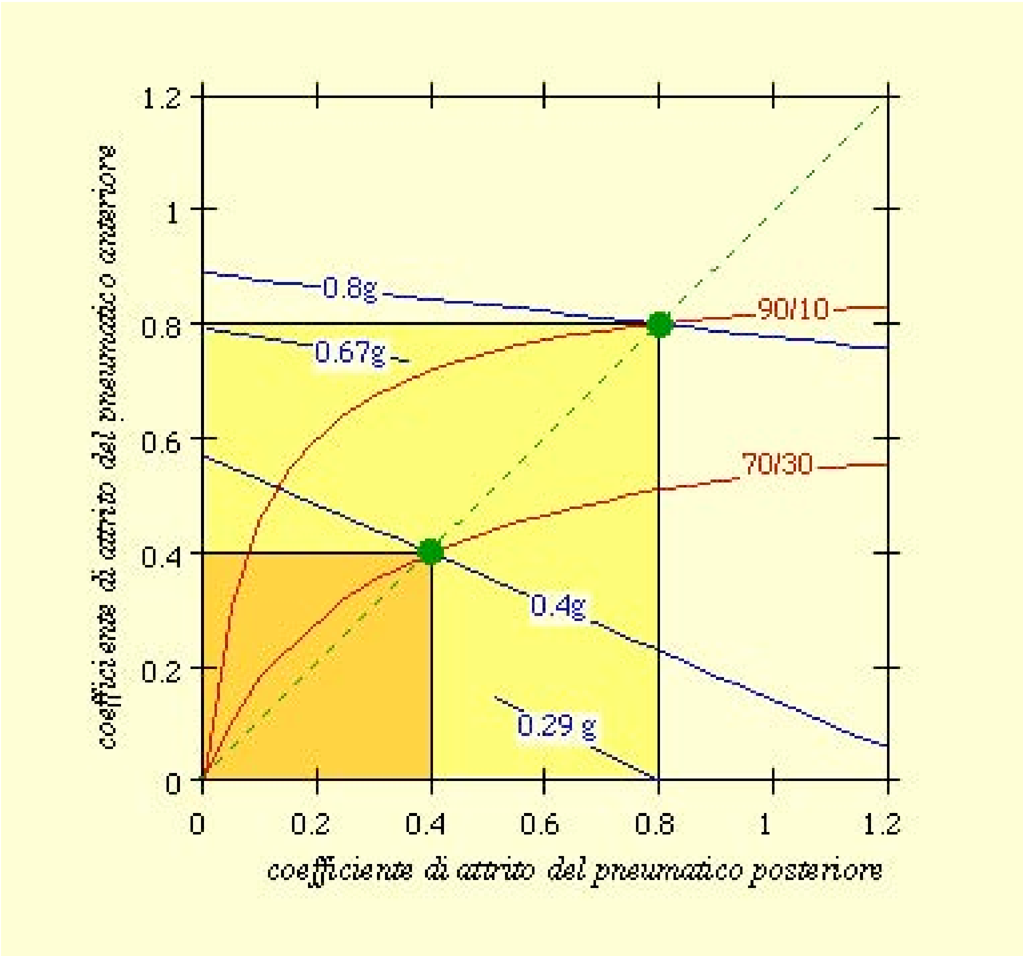


Figura 7. Esempio di frenata su fondo asciutto e bagnato .

Questo significa che i dispositivi di ripartizione automatica della frenata, presenti su alcuni motocicli, dovrebbero adeguare la ripartizione alle condizioni del fondo stradale.
Da osservare inoltre che nell'esempio considerato, non è conveniente una forza di frenata posteriore superiore alla forza di frenata anteriore. Infatti la figura 8 mostra che la retta ottimale di frenata (in verde) è tangente nel punto di origine alla curva di ripartizione di frenata 50-50; pertanto non interseca le curve di ripartizione caratterizzate da forze frenanti posteriori maggiori.

Quanto detto é valido anche per veicoli aventi una diversa ripartizione del carico statico sulle due ruote ad esempio 45 sulla ruota anteriore e 55 sulla ruota posteriore. La retta ottimale di frenata risulta sempre tangente nel punto di origine alla curva di ripartizione di frenata avente gli stessi valori della ripartizione del carico statico sulle due ruote. Ad esempio con un carico ripartito 45 anteriore e 55 posteriore la curva di ripartizione di frenata tangente alla curva ottimale è quella relativa ad una ripartizione della forza frenante 45 anteriore e 55 posteriore.

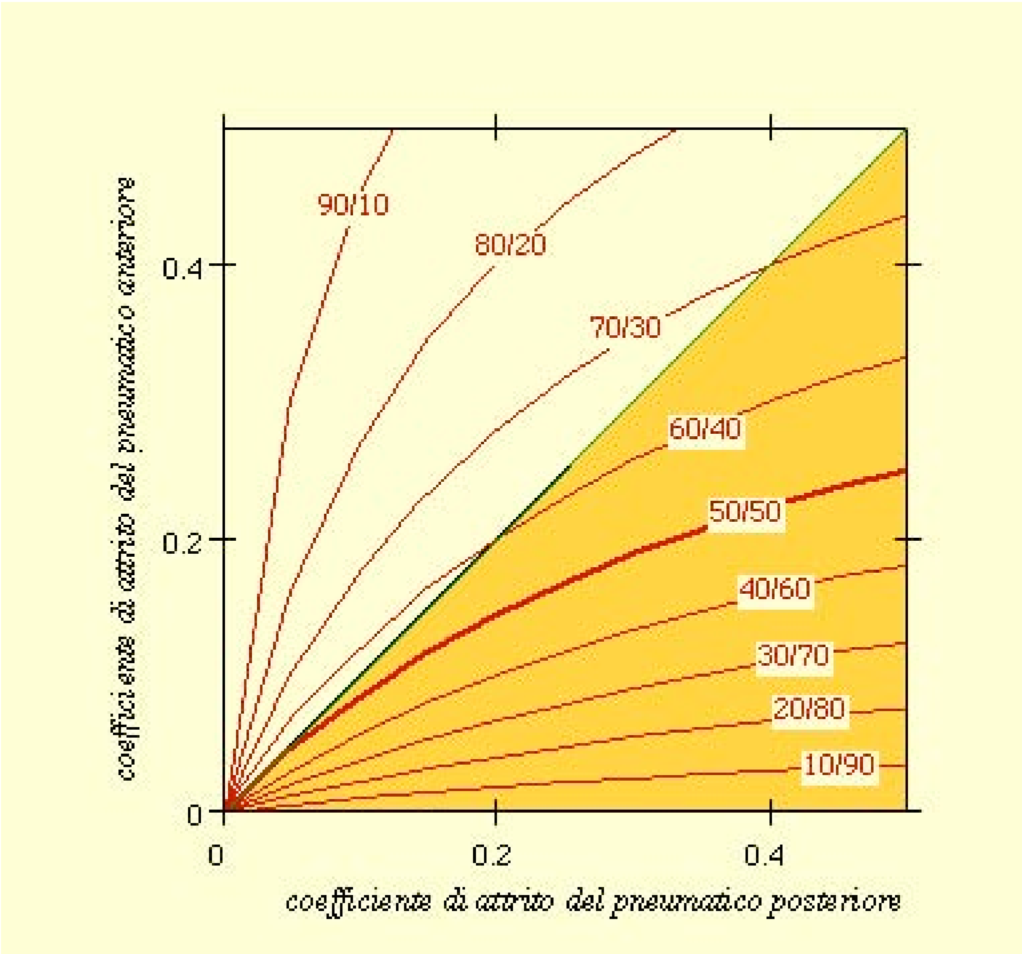


Figura 8. Esempio di frenata su fondo asciutto e bagnato .
passo p=1.4 m; altezza baricentro h=0.7 m; distanza orizzontale b=0.7 m