**AIUTOOO!!!! SBANDOOOO!!!**

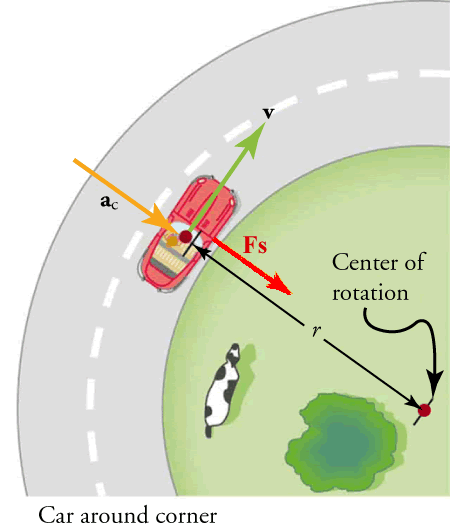
Attenti mimmi! Troppo forte in curva… e sbandate! Una macchina non curva da sola ma perché su di essa agisce una forza perpendicolare alla traiettoria (**forza centripeta**): se essa non è sufficiente… la traiettoria si allarga e l’auto sbanda!

**ANDIAMO IN CURVA!**

**Vediamo di studiare la fisica dell’auto in curva**. Conviene scomporre le forze nella **direzione //** (tangente alla traiettoria) e nella **direzione ⊥** (perpendicolare alla traiettoria)

Nella direzione //: in curva non si frena! L’auto non riceve forza e si muove con velocità costante.

Nella direzione ⊥: l’auto DEVE cambiare direzione di marcia (in Figura1, la direzione di marcia si sposta sempre più a destra via via che l’auto percorre la curva), perciò su di essa DEVE applicarsi una **forza centripeta** (**Fc**) sufficientemente alta da garantire all’auto di rimanere in carreggiata.



**Figura 1**

**L’Attrito statico è la forza centripeta che permette ad un mezzo di prendere una curva**

Chi dà questa forza centripeta? L’**attrito delle ruote!** Le ruote devono aderire al terreno con forza adeguata affinché su di esse possa agire l’attrito che garantisca la curvatura. Per prima cosa: quale attrito agisce sulle ruote che fa percorrere la curva all’auto? “Semplice Prof! L’auto si muove... e perciò l’attrito agente è sicuramente quello dinamicooo!” “E invece no.” “?!?!” “Guarda bene come agisce una ruota mentre ruota sul terreno: il punto di contatto della ruota si immobilizza per un istante: in pratica, anche se la ruota continua a girare, il punto di essa che tocca il terreno è immobile. Non ci credi? Ripensa agli esempi che ha fatto il Prof con la cimosa in classe! E dato che il punto di contatto della ruota è immobile…” “Allora l’attrito agente è quello statico! Uffa… in Fisica non si può dare la risposta più ovvia, prima di rispondere bisogna osservare con il fenomeno con grande attenzione.” “Bravo mimmo: hai imparato la lezione.”

L’**attrito statico** (**Fs**) è applicato dal suolo della strada alle gomme delle ruote: esso è diretto perpendicolarmente alla traiettoria e perciò posso scrivere: **Fs = m⋅a⊥ = m⋅V2/R (1)**

Applichiamo l’eq. (1) in qualche semplice caso

Problema1: la moto in curva. (a) Una moto+pilota di massa complessiva 300kg prende una curvil cui raggio è R=70m alla velocità di 54km/h (15m/s). Qual è la forza di attrito statico necessaria affinché la moto curvi? [Fs=964N]

(b) Se invece la solita moto di cui sopra andante sempre a 15m/s subisce un attrito Fs = 600N, qual è il raggio della curva che prende? [R=112,5m]

Problema2: la moto va sparata! Come cambiano le risposte del Problema1(a) e 1(b) se invece la solita moto prendesse le solite due curve con la velocità di 108kh/m (30m/s)? [(a) Fs = 3857N ; (b) R = 450m]

**LA SBANDATA**

Adesso dobbiamo rispondere a questa domanda fondamentale: perché se si va troppo veloci in curva, soprattutto se la curva è stretta (cioè: il valore di R è molto piccolo), si rischia di **sbandare**? E’ evidente che questo accade a causa delle proprietà dell’attrito statico.

Il concetto base da comprendere è questo: **l’eq. (1) permette di calcolare la forza di attrito necessaria a compiere la curva: non ci dice se questa forza esiste o no!**

Vi faccio un esempio banale: se io volessi saltare fino ad un’altezza di 50m (!!!), con un facile calcolo scopro che le mie gambe devono darmi una velocità iniziale di 128m/s (460km/h), due volte la velocità di un’auto sportiva in piena corsa! E’ indubbio che se le mie gambe potessero darmi la spinta necessaria a saltare in alto con una velocità di 460km/h io riuscirei a saltare fino a 50m… ma le mie gambe quella spinta non me la danno ed io fino a 50m non salto! Stessa cosa vale per l’auto in curva: grazie all’eq. (1) io posso calcolare il valore di Fs necessario a prendere una curva… ma se la superficie non riesce a dare il valore di Fs richiesto l’auto sbanda!

Noi sappiamo già che una superficie è in grado di esercitare una forza di attrito statico fino ad un certo valore massimo, chiamato **Aderenza**[[1]](#footnote-1). In altre parole, l’**Aderenza è il valore massimo di Fs che una superficie può esercitare**. Perciò io posso prendere una curva senza sbandare se e solo se la forza di attrito statico Fs calcolata con l’eq. (1) è minore dell’Aderenza della strada**.** Posso riassumere tutto il discorso con una semplice frase:

**un mezzo in curva non sbanda se e solo se l’attrito Fs necessario è minore dell’Aderenza**

L’Aderenza

Per finire la nostra analisi dobbiamo essere in grado di calcolare l’Aderenza. Con ottima approssimazione, vale questa relazione1:

**Aderenza α F⊥ → Aderenza = μS⋅F⊥ (2)**

**F⊥** **rappresenta la forza che preme sulla superficie**. Nel nostro caso, eccetto situazioni che tratteremo in seguito, essa coincide con il peso del mezzo in movimento.

L’eq. (2) significa che se raddoppiamo (triplichiamo) la forza premente F⊥ anche l’Aderenza raddoppia (triplica). **μS**prende il nome di **coefficiente di attrito statico** o **di aderenza**: esso rappresenta la costante di proporzionalità fra l’Aderenza (la massima forza di attrito statico applicabile) e la forza premente sulla superficie di contatto. Nota che μS varia soltanto a seconda delle caratteristiche delle superfici a contatto ma non dall’area o dalla forma delle superfici. Il valore di μs per alcune coppie di superfici a contatto è dato in Tabella1.

Detto tutto questo, che si fa? Risolviamo qualche altro problema!

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Materiale** | **Coefficiente Statico**  **Radente** | |
|  | |
| **Acciaio su acciaio** | **0.74** | |
| **Acciaio su acciaio lubrificato** | **0.11** | |
| **Rame su acciaio** | **0.53** | |
| **Ottone su acciaio** | **0.51** | |
| **Vetro su vetro** | **0.94** | |
| **Rame su vetro** | **0.68** | |
| **Gomma su asfalto asciutto** | **0.90** | |
| **Gomma su asfalto bagnato** | **0.75** | |
| **Gomma su ghiaccio asciutto** | **0.2** | |
| **Gomma su ghiaccio bagnato** | **0.1** | |

Problema3: la velocità giusta. Qual è il coefficiente μs che permette alla moto del Problema1(a) di rimanere in carreggiata? [μs > 0,328]

**Tabella1**

Problema4: la velocità sbagliata. Cosa accade se il pilota esagera con la velocità? Calcoliamo il μs necessario a rimanere in carreggiata nel caso del Problema2(a). [μs > 1,3]

**SOLUZIONI**

Problema 1(a): E’ sufficiente sotituire i valori nell’eq.(1) !!

Fs = 300kg⋅(15m/s)2/70m = 964N

Problema 1(b): Anche in questo caso è sufficiente sostituire i valori nell’eq.(1):

600N = 300kg⋅(15m/s)2/R → R = 112,5m (una curva molto larga!)

Problema 2: Ripetendo i calcoli del Problema 1(a) e (1b), cambiando soltanto il valore della velocità, otteniamo:

(a) Fs = 3857N ; (b) R = 450m (praticamente un rettilineo) [μs > 1,3]

Problema 3: Affinché la moto rimanga in carreggiata il suolo deve essere in grado di fornire una forza di attrito statico Fs=964N [quella calcolata nel Problema1(a)]: affinché questo sia possibile, l’Aderenza deve essere maggiore di Fs:

Aderenza > Fs (3)

Prima di andare avanti nel risolvere il Problema, un consiglio: imprimetevi bene a mente l’eq. (3): è semplicissima ma è l’equazione fondamentale che ci permette di capire come affrontare una curva senza andare a schiantarci contro un palo.

A questo punto sostituisco l’eq.(3) all’eq. (2):

μs⋅F⊥ > Fs (4)

Sostituisco i valori:

F⊥=Peso (non esiste altra forza che preme sul suolo) →

F⊥= 300kg⋅9,8N/kg = 2940N

Fs = 964N [calcolato nel Problema 1(a)]→ [sostituisco I valori di F⊥ e Fs nell’eq. (4)]

μs⋅2940N > 964N → μs > 0,328

In conclusione: la moto è in grado di affrontare la curva in tutte le situazioni in cui μs gomma/asfalto > 0,328. Se guardi la Tabella1 noti che μs = 0,90 per asfalto asciutto e 0,75 per quello bagnato: in entrambi i casi la moto può curvare serenamente!

Problema 4: Affinché la moto rimanga in carreggiata il suolo deve essere in grado di fornire una forza di attrito statico Fs = 3857N [quella calcolata nel Problema2(a)]. Da questo punto in poi, la soluzione è identica a quella Problema3, cambia solo il valore di Fs. Otteniamo:

μs⋅2940N > 3857N → μs > 1,3

In conclusione: la moto è in grado di curvare solo su superfici che garantiscono μs maggiore di 1,3. L’asfalto non ha un coef di attrito così alto! E la moto è destinata a sbandare.

Questo è il motivo per il quale non dobbiamo prendere le curve troppo velocemente: la forza di attrito necessaria sarebbe così alta che l’asfalto non sarebbe in grado di fornirla.

1. L’Aderenza è definita e spiegata negli appunti “FORZE DI ATTRITO” nel paragrafo “ATTRITO SU SUPERFICIE SOLIDA” [↑](#footnote-ref-1)