



Shutterstock

1. Ruolo dell'attrito nella dinamica dei mezzi stradali

Per controllare il movimento di auto, moto e altri veicoli si utilizza la forza di attrito radente che si genera tra gli pneumatici e la strada: quando il veicolo esercita una forza parallela alla superficie della strada, esso ottiene dalla strada, per il principio di azione e reazione, una forza di attrito di uguale intensità e verso opposto.

Per esempio, le ruote motrici della moto nella figura sotto esercitano una forza all'indietro per ottenere una spinta in avanti, mentre in frenata tutte le ruote esercitano una forza nel verso del moto. Inoltre, per curvare a destra le ruote imprimono una forza verso sinistra, viceversa per curvare a sinistra.

Normalmente l'attrito tra gli pneumatici e la superficie stradale è di tipo statico; infatti, la porzione di battistrada a contatto con il fondo stradale è ferma rispetto a esso. In alcune situazioni, come

una frenata troppo intensa, un'accelerazione improvvisa oppure una curva affrontata a velocità eccessiva, può accadere che le ruote slittino rispetto alla strada e che l'attrito diventi quindi di tipo dinamico.

2. Limite al valore dell'accelerazione

Per il modulo della forza di attrito statico vale la disuguaglianza:

$$F_s \leq F_s^{\max} = \mu_s F_{\perp}$$

dove μ_s è il coefficiente di attrito statico e F_{\perp} è il modulo della forza premente sulla strada.

Per strade piane (cioè non in pendenza e non inclinate lateralmente) e trascurando eventuali forze aerodinamiche, la forza premente è uguale alla forza-peso del veicolo, quindi possiamo scrivere:

$$F_s \leq F_s^{\max} = \mu_s mg \quad [1]$$

Dividendo entrambi i membri della disuguaglianza per la massa m del veicolo, otteniamo

$$\frac{F_s}{m} \leq \frac{\mu_s \cancel{m} g}{\cancel{m}}$$

Applicando il secondo principio della dinamica nella forma $a = \frac{F_s}{m}$, possiamo ricavare il **valore massimo per l'accelerazione** a_{\max} che la forza di attrito è in grado di imprimere al veicolo:

$$a \leq \mu_s g = a_{\max} \quad [2]$$

A seconda della direzione e del verso, il vettore accelerazione condiziona le manovre di sterzata e le fasi di frenata e accelerazione. In generale, possiamo concludere che:

nelle fasi di frenata, di accelerazione o in curva non si può imprimere al veicolo un'accelerazione di modulo maggiore di $\mu_s g$.



3. Fattori che condizionano il valore dell'accelerazione massima

Dato che l'accelerazione di gravità g è una costante, l'accelerazione massima dipende solo dal coefficiente di attrito statico μ_s .

Questo dipende a sua volta da vari fattori.

Pneumatici

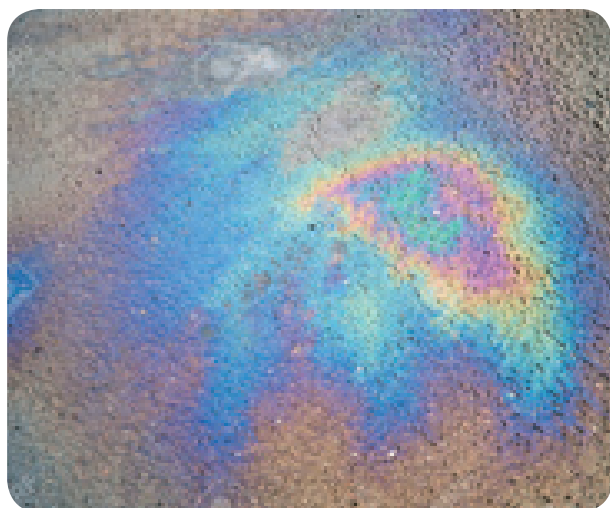
Ogni modello di pneumatico ha caratteristiche diverse e tutti, con l'andare del tempo, tendono a indurirsi e ad avere valori più bassi di μ_s con l'asfalto. Le scanalature del battistrada consentono all'acqua delle pozzanghere di uscire dalla zona di contatto tra ruota e fondo stradale evitando alla ruota di «planare» su di esse (questo fenomeno è detto *aquaplaning*). Con l'uso, il battistrada si consuma e questo incide sulla capacità del veicolo di affrontare i ristagni d'acqua: gli pneumatici consumati hanno scanalature meno profonde ed espellono l'acqua con più difficoltà.



Olio o ghiaccio

In presenza di olio o ghiaccio, il coefficiente di attrito scende drasticamente fino a valori vicini allo zero, impedendo qualsiasi controllo del mezzo. In caso di strada bagnata e/o in corrispondenza delle strisce di segnaletica orizzontale, gli effetti dell'olio sono più marcati.

La presenza di sostanze oleose può essere riconosciuta dalle figure iridescenti che esse generano ma anche dall'odore se, per esempio, si tratta di gasolio.



Si può assumere che ci sia ghiaccio sulla strada in caso di basse temperature oppure dall'aspetto traslucido del fondo stradale. In alcune auto è inoltre presente una spia apposita, che ne indica la presenza.

Fondo stradale

Un asfalto di recente posa fornisce un'aderenza migliore rispetto a un asfalto più vecchio. La presenza di buche fa perdere aderenza e stabilità, così come quella di strisce segnaletiche. In caso di fondo non asfaltato si ha in genere un'aderenza molto inferiore.

Acqua

Anche senza pozzanghere, una superficie stradale bagnata fornisce un coefficiente di attrito inferiore del 20-30% rispetto a quando è asciutta.

4. Slittamento delle ruote

Come anticipato, se la superficie delle ruote inizia a slittare rispetto al manto stradale l'attrito tra di esse e la strada diventa di tipo dinamico.

In questa situazione, il modulo della forza di attrito è dato dalla formula:

$$F_d = \mu_d mg \quad [3]$$

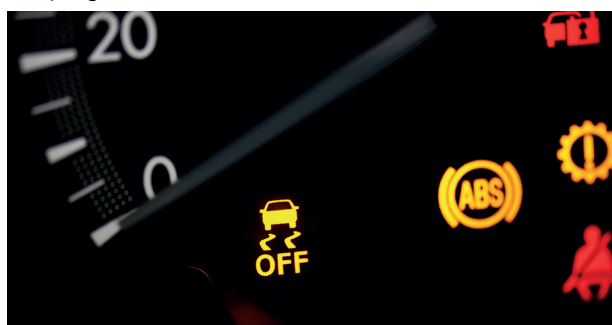
Quindi il modulo dell'accelerazione con cui si muove il veicolo è:

$$a = \frac{F_d}{m} = \frac{\mu_d \cancel{m} g}{\cancel{m}} = \mu_d g \quad [4]$$

Poiché il coefficiente μ_d è inferiore almeno del 20% rispetto a μ_s , l'accelerazione assume valori corrispondentemente minori di $a_{\max} = \mu_s g$. Di conseguenza, quando le ruote slittano il veicolo ha prestazioni inferiori in frenata, accelerazione e curva.

Tuttavia questo è il minore dei problemi, visto che lo slittamento delle ruote provoca anche la perdita di controllo del veicolo impedendo di sterzare. Per un veicolo a due ruote questo implica quasi inevitabilmente la caduta.

Per evitare la perdita del controllo del veicolo, la persona alla guida è aiutata da una serie di dispositivi automatici di sicurezza che agiscono su freni e acceleratore in modo da evitare slittamenti in frenata (ABS, *anti block system*), accelerazione (TCS, *traction control system*) e curva (ESP, *electronic stability program*).



FISSA I CONCETTI IMPORTANTI

1 L'attrito radente tra pneumatici e strada:

- A ostacola il movimento del veicolo.
- B è necessario per controllare il veicolo.
- C serve solamente per poter frenare.
- D è di ostacolo in curva.

2 Per studiare il moto di un veicolo:

- A il secondo e il terzo principio della dinamica non vengono usati.
- B viene usato solo il secondo principio.
- C viene usato solo il terzo principio.
- D vengono usati sia il secondo sia il terzo principio.

3 Durante una frenata:

- A è possibile frenare forte quanto si vuole.
- B la forza della frenata è limitata dalla forza e dall'abilità del conducente.
- C la forza della frenata è limitata dalle condizioni dell'auto e della strada.
- D la forza della frenata è limitata dai dispositivi di sicurezza.

4 Assumiamo che il coefficiente di attrito statico tra pneumatici e asfalto sia uguale a 1. Allora l'auto può frenare con un'accelerazione massima di modulo:

- A 1 m/s^2 .
- B $9,8 \text{ m/s}^2$.
- C $4,9 \text{ m/s}^2$.
- D dipende dal peso dell'auto.

5 Gli pneumatici:

- A non incidono sul valore del coefficiente di attrito.
- B sono tutti uguali.
- C migliorano con l'utilizzo.
- D quando sono usurati sono soggetti più facilmente all'*aquaplaning*.

6 Nella fase di accelerazione:

- A è importante far slittare le ruote per accelerare al massimo.
- B è inutile far slittare le ruote.
- C è dannoso far slittare le ruote.
- D far slittare le ruote è utile solo in pista per i piloti professionisti.

APPLICA I CONCETTI

1 Un furgone si muove alla velocità di 20 m/s su una strada sulla quale gli pneumatici hanno un coefficiente di attrito statico di $0,90$.

- Qual è la distanza di arresto Δs dal momento in cui il furgone frena con la massima forza possibile?

Suggerimento: usa la formula di cinematica $\Delta s = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2a}$.

- Di quanto aumenta la distanza per arrestare il furgone nel caso in cui esso freni a ruote bloccate con un coefficiente di attrito dinamico inferiore del 22% rispetto a quello statico?

[23 m; 29 m]