Dinamica Applicata

Indice

- Leggi della meccanica classica
- Classificazione delle forze
- Momenti di inerzia di massa

Università di Padova – PAS – a.a. 2014/15
Classe A020 – Corso: Didattica di Meccanica delle Macchine

Leggi di Newton

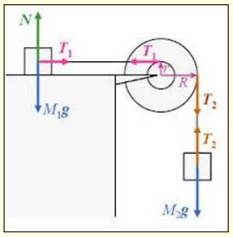
Prima Legge di Newton
(principio di inerzia)

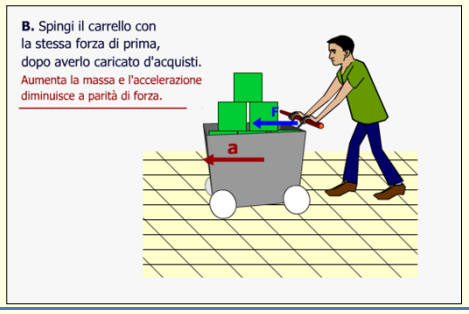
Un corpo non soggetto a forze, o soggetto a forze con risultante nulla, permane nel suo stato di quiete o nel suo stato di moto rettilineo uniforme (velocità costante), se osservato da un sistema di riferimento inerziale.

Per un corpo non interagente con altri corpi, è sempre possibile identificare un sistema di riferimento, detto inerziale, nel quale l'oggetto ha accelerazione nulla

Seconda Legge di Newton

Se una forza (risultante di più forze) non nulla agisce su un corpo, esso si muove con moto accelerato, e il modulo della conseguente accelerazione è direttamente proporzionale al modulo della forza risultante ed inversamente proporzionale alla massa.
La direzione ed il verso dell'accelerazione sono uguali alla direzione e al verso della forza





Seconda Legge di Newton

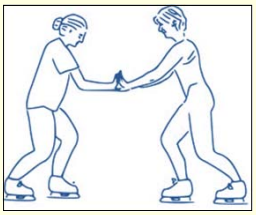
	Moto rettilineo	Moto rotatorio
Nel piano	$F = m\,a$	$M = \mathrm{I}\,\alpha$
Nello spazio 3D	$\begin{Bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{Bmatrix} = [\mathrm{I}] \begin{Bmatrix} \alpha_x \\ \alpha_y \\ \alpha_z \end{Bmatrix}$

La **MASSA** è una proprietà intrinseca di un corpo: non dipende da cosa circonda l'oggetto, né dal metodo usato per misurarla.
La massa è una quantità scalare e l'unità SI che la quantifica è il **kg**.

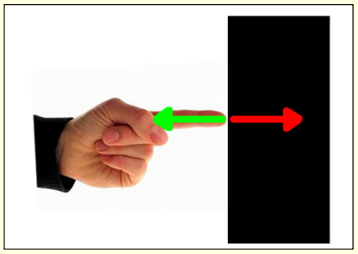
Il **MOMENTO DI INERZIA DI MASSA** (riferito ad un asse) è la proprietà di un corpo che viene usata per descrivere il suo comportamento dinamico nel moto di rotazione attorno ad un asse di riferimento. Unità di misura SI: kg m^2

Terza Legge di Newton

Se un corpo esercita una forza su un secondo corpo, il secondo corpo esercita sul primo corpo una forza uguale in modulo e direzione ma opposta in verso.



Le due forze sono dovute ad interazioni fra i corpi e formano una coppia di azione e reazione con braccio nullo.
Le forze di azione e di reazione agiscono su corpi differenti



Principio di D'Alembert

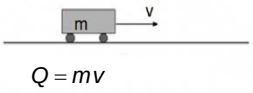
In un corpo in moto in ogni istante si verifica l'equilibrio di tutte le forze, e momenti, compresi quelli di inerzia, su di esso agenti.

In altri termini: la somma delle forze agenti su un corpo in moto e della forza di inerzia è nulla; la somma di momenti agenti su un corpo in moto e dei momenti di inerzia è nulla.

$$\sum F + F_{in} = 0 \qquad \sum M + M_{in} = 0$$

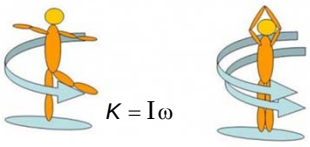
Quantità di moto

Moto rettilineo



$$Q = mv$$

Moto rotatorio



$$K = \mathrm{I}\omega$$

Forza: $F = \frac{dQ}{dt} = m\frac{dv}{dt}$

Momento $M = \frac{dK}{dt} = \mathrm{I}\frac{d\omega}{dt}$

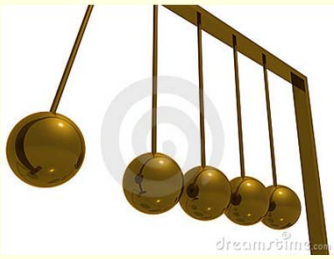
Impulso

(deriva dalla seconda legge di Newton)

Impulso = variazione della quantità di moto

	Moto rettilineo	Moto rotatorio
in termini infinitesimi	$F\,dt = m\,dv$	$M\,dt = \mathrm{I}\,d\omega$
in termini finiti	$\int_{t_1}^{t_2} F\,dt = m(v_2 - v_1)$	$\int_{t_1}^{t_2} M\,dt = \mathrm{I}(\omega_2 - \omega_1)$

IMPULSI DI FORZA



FORZE

Lo stato "naturale" di moto dei corpi è essere in quiete, oppure in moto rettilineo uniforme: le azioni che cambiano questo stato sono denominate **FORZE**

le Forze si possono distinguere in

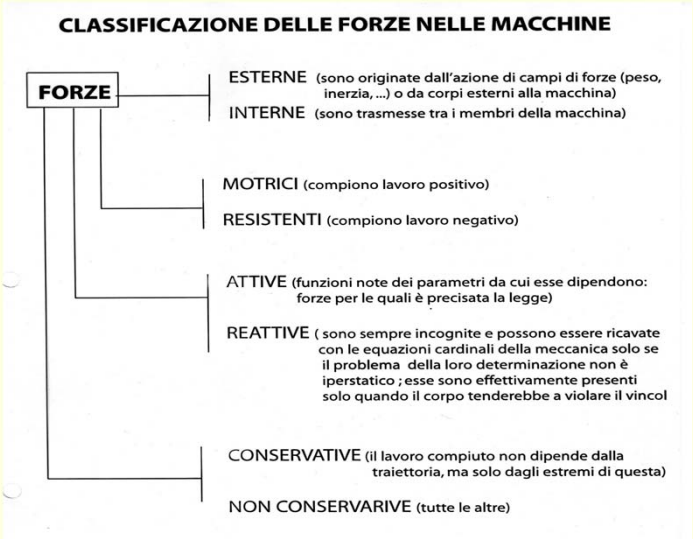
- Forze di CONTATTO: conseguenza del contatto fisico fra due corpi
- CAMPI di forze: agiscono tramite lo spazio, senza contatto fisico

Classificazione delle forze

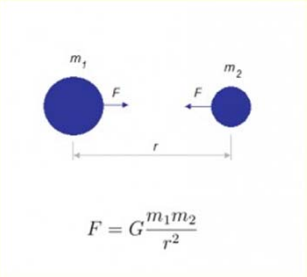
- forza peso (gravità)
- reazione vincolare
- tensione/compressione
- forza di attrito: statico o dinamico, strisciamento o rotolamento
- forza elastica
- forza viscosa
- forza elettromagnetica
- forza di inerzia
- resistenza aerodinamica
- forza elettrostatica
- forza impulsiva
- ...

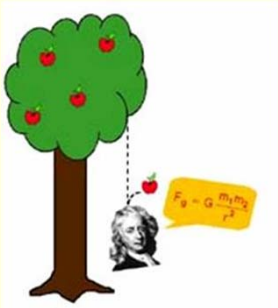
Unità di misura: kg m/s^2, nel sistema SI denominato Newton, simbolo N.

Università di Padova – PAS – a.a. 2014/15
Classe A020 – Corso: Didattica di Meccanica delle Macchine



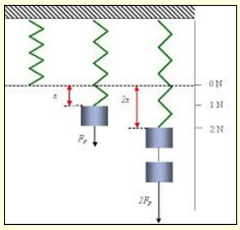
FORZA GRAVITAZIONALE





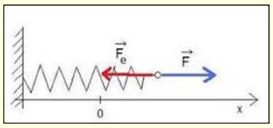
FORZA PESO $F = mg$

FORZE ELASTICHE

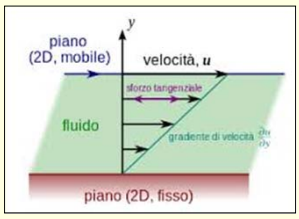


$F=k\cdot x$

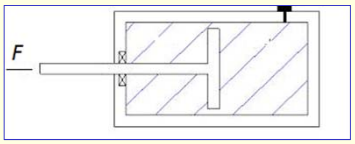
Causa	Effetto
Forza F	x=F/k
Spostamento x	F=-k·x



FORZE VISCOSE



$F=c\cdot v$



Causa	effetto
Forza F	Velocità =F/c
velocità	Forza=- c·v

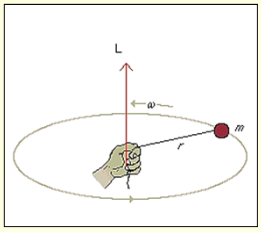
Forze e Momenti di INERZIA

Forze (e momenti) che tendono a mantenere il corpo nel suo stato di quiete o di moto a velocità costante, secondo la 1ª legge di Newton.

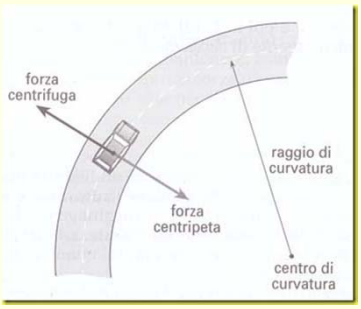
Stessa formulazione della 2ª legge di Newton ma con segno opposto.

	Moto rettilineo	Moto rotatorio
Nel piano	$F_{in} = -ma$	$M_{in} = -\mathrm{I}\alpha$
Nello spazio 3D	$\begin{Bmatrix} F_{in_x} \\ F_{in_y} \\ F_{in_z} \end{Bmatrix} = -\begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 \\ 0 & 0 & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{Bmatrix}$	$\begin{Bmatrix} M_{in_x} \\ M_{in_y} \\ M_{in_z} \end{Bmatrix} = -[\mathrm{I}] \begin{Bmatrix} \alpha_x \\ \alpha_y \\ \alpha_z \end{Bmatrix}$

Forza di inerzia **CENTRIFUGA**

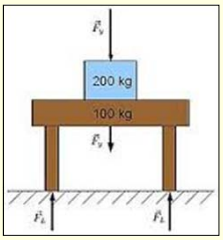


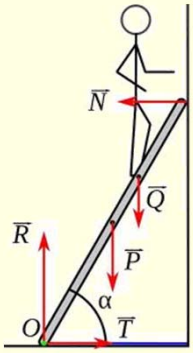
$$F_{in\ cen} = m\frac{v^2}{R}$$



Forze (reazioni) VINCOLARI

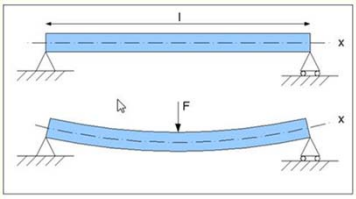
mantiene in equilibrio un corpo se si toglie il vincolo

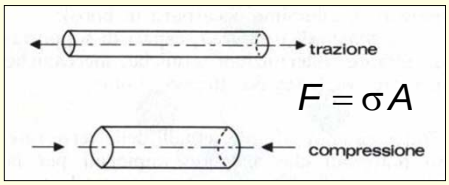


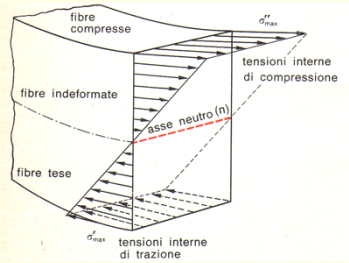


Forze di **TRAZIONE** e **COMPRESSIONE**

$$F = \int \sigma dA$$



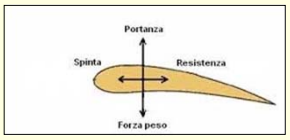


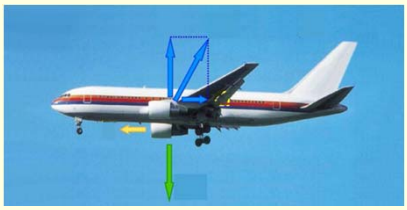


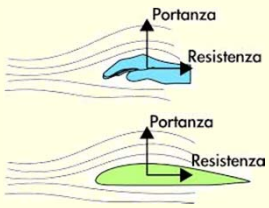
Forze **AERODINAMICHE**

Forza di **RESISTENZA** $F_R = c_R \frac{1}{2} \rho v^2 S$

Forza di **PORTANZA** $F_P = c_P \frac{1}{2} \rho v^2 S$

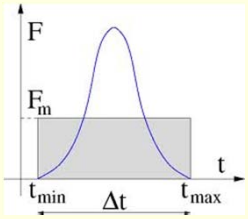






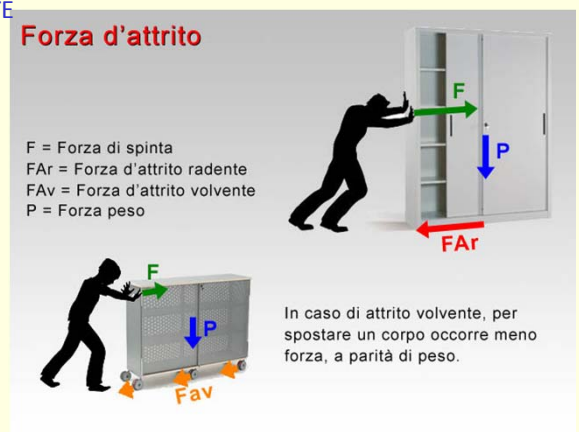
Forze **IMPULSIVE**

$$\int_{t_{min}}^{t_{max}} F\,dt = F_m \cdot \Delta t = m(v_2 - v_1)$$

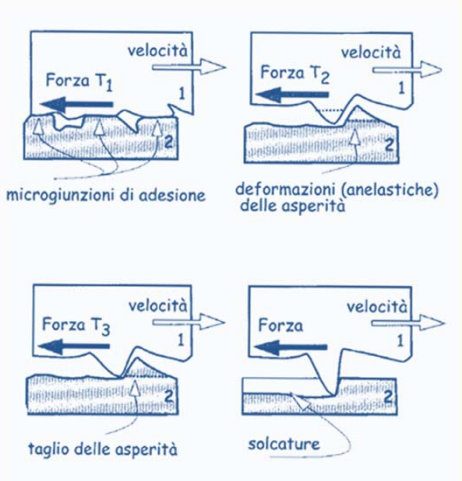


FORZE DI **ATTRITO**:

- STRISCIAMENTO (RADENTE)
- ROTOLAMENTO (VOLVENTE



Forze di **ATTRITO** di **STRISCIAMENTO**



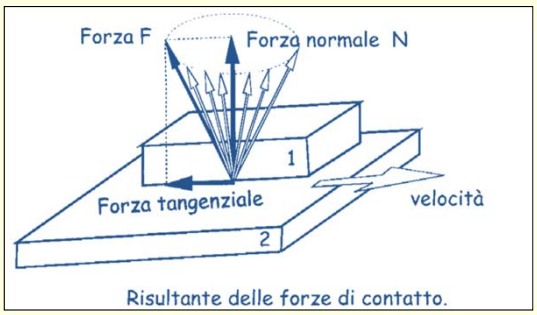
Meccanismo di formazione dell'attrito a livello microscopico

Forze di **ATTRITO** di **STRISCIAMENTO**

Modello dell'attrito a livello macroscopico

$$F_t = -f \cdot F_n \cdot \mathrm{sign}(v)$$

f= coefficiente di attrito

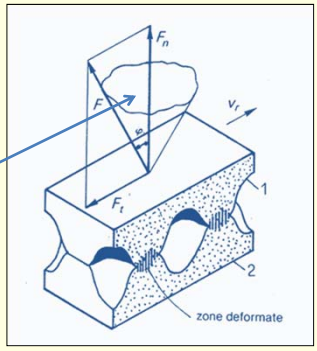


ATTRITO DI STRISCIAMENTO

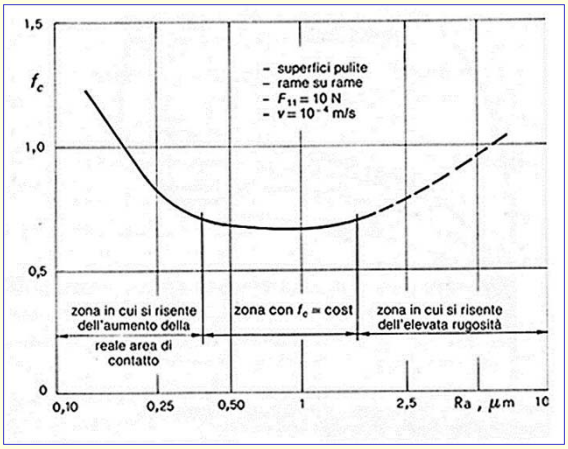
$$f = \tan(\varphi)$$

φ = Angolo di attrito

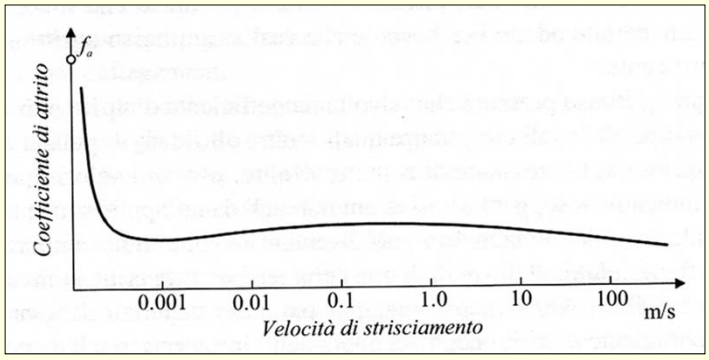
Cono di attrito



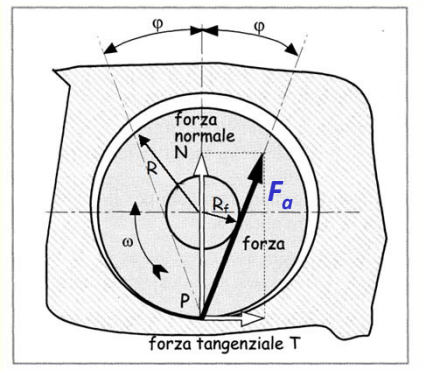
Variazione del coefficiente di attrito in funzione della rugosità superficiale



Andamento tipico del coefficiente di attrito in funzione della velocità di strisciamento per superfici metalliche in condizione di lubrificazione limite



Attrito di strisciamento nella coppia cinematica rotoidale



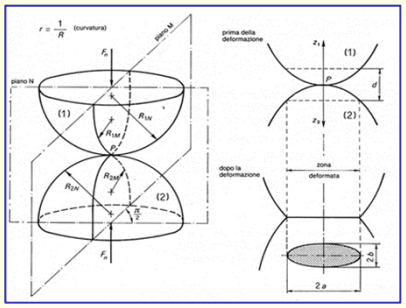
Circolo di attrito

$$R_f = R \cdot \sin(\varphi)$$

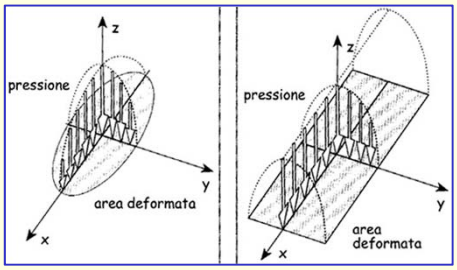
Momento di attrito

$$M_a = T \cdot R = F_a \cdot R_f$$

ATTRITO di ROTOLAMENTOO



Distribuzione della pressione di contatto nel caso statico

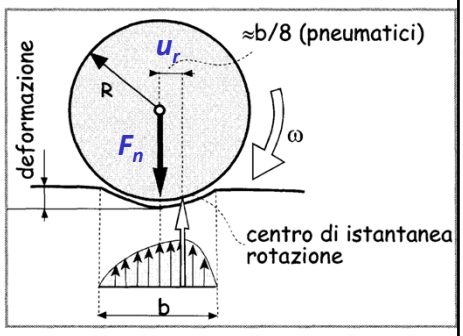


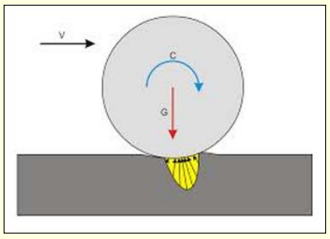
ATTRITO DI ROTOLAMENTO

$$M_{ar} = F_n \cdot u_r = F_t \cdot R$$

$$F_t = F_n \cdot \frac{u_r}{R}$$

$$\frac{u_r}{R} = f_r$$





F_n = forza normale
F_t = forza tangenziale
u_r = parametro di attrito di rotolamento
f_r = coefficiente di attrito di rotolamento

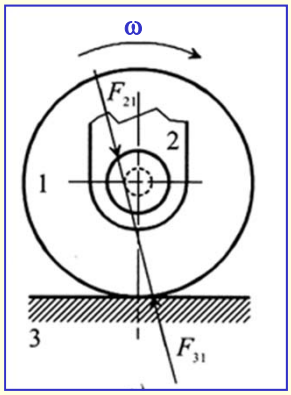
Valori orientativi di alcuni coefficienti di attrito **STRISCIAMENTO**

MATERIALI DEGLI ELEMENTI CINEMATICI	COEFFICIENTE DI ATTRITO STATICO	COEFFICIENTE DI ATTRITO CINETICO	NOTE
rame con rame	1-1,8	0,7-1,5	
acciaio con bronzo	0.1-0.4	0.1-0.2	presenza di lubrificante
acciaio con metallo antifrizione	0.1-0.2	0.1-0.2	presenza di lubrificante
acciaio con acciaio	0.15-0.8	0.1-0.6	valori minimi per superfici ossidate in presenza di lubrificante, valori massimi per superfici pulite
acciaio con polietilene	0.25-0.6	0.2-0.65	senza lubrificante
gomma con materiale diverso		0.6-0.9	
legno con neve		0.03-0.04	sci

Valori orientativi di alcuni coefficienti di attrito **ROTOLAMENTO**

Cuscinetti radiali orientabili a sfere	0.0010
Cuscinetti assiali a sfere	0.0013
Cuscinetti radiali rigidi a sfere	0.0015
Cuscinetti a rulli cilindrici	0.0011-0.0020
Cuscinetti orientabili a rulli	0.0018
Cuscinetti a rulli conici	0.0018
Cuscinetti obliqui a sfere	0.0020-0.0024
Ruota su rotaia (D è il diametro della ruota in mm)	$0.026 / \sqrt{D}$
Pneumatico su strada (a velocità inferiore a circa 100 km/ora)	0.01

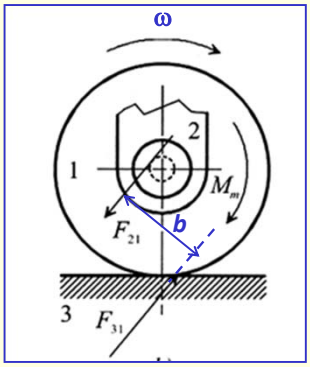
Equilibrio delle ruote di un veicolo
RUOTA TRASCINATA



$$\sum F = 0 \quad \Rightarrow \quad F_{21} - F_{31} = 0 \quad \Rightarrow F_{21} = F_{31}$$

$$\sum M = 0 \quad \Rightarrow \quad F_{21(31)} \cdot b = 0 \quad \Rightarrow b = 0$$

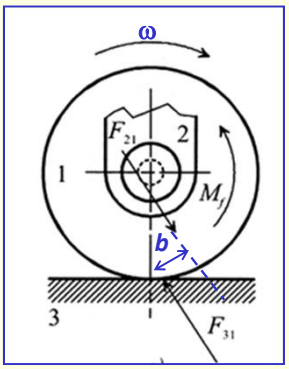
Equilibrio delle ruote di un veicolo
RUOTA MOTRICE



$$\sum F = 0 \quad \Rightarrow \quad F_{21} - F_{31} = 0 \quad \Rightarrow F_{21} = F_{31}$$

$$\sum M = 0 \quad \Rightarrow \quad M_m - F_{21(31)} \cdot b = 0 \quad \Rightarrow b = \frac{M_m}{F_{21(31)}}$$

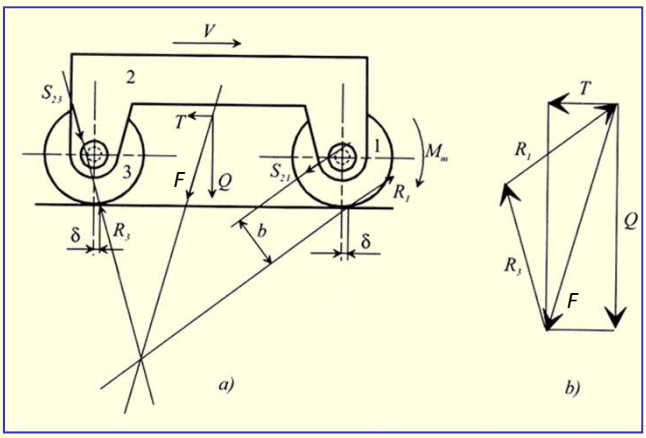
Equilibrio delle ruote di un veicolo
RUOTA FRENATA



$$\sum F = 0 \quad \Rightarrow \quad F_{21} - F_{31} = 0 \quad \Rightarrow F_{21} = F_{31}$$

$$\sum M = 0 \quad \Rightarrow \quad -M_f + F_{21(31)} \cdot b = 0 \quad \Rightarrow b = \frac{M_f}{F_{21(31)}}$$

Equilibrio di un veicolo in moto rettilineo uniforme



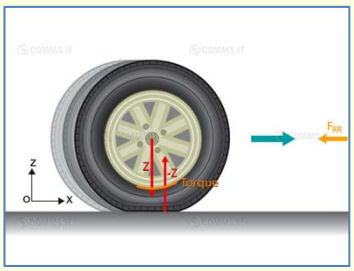
AZIONE

$$\overline{F} = \overline{T} + \overline{Q}$$

REAZIONE

$$\overline{R}_1 + \overline{R}_3 = -\overline{F}$$

Applicazioni Forze di Attrito



Ruota di autoveicolo su strada

Coefficiente di attrito di rotolamento, f_r=0.01

Raggio del pneumatico, R = ?

Parametro di attrito di rotolamento, u_r= ?

Applicazioni Forze di Attrito

Ruota di treno su binario

Coefficiente di attrito di rotolamento, $f_r = 0.0026 \cdot \sqrt{D}$

Diametro della ruota, D = ?

Parametro di attrito di rotolamento, u_r= ?