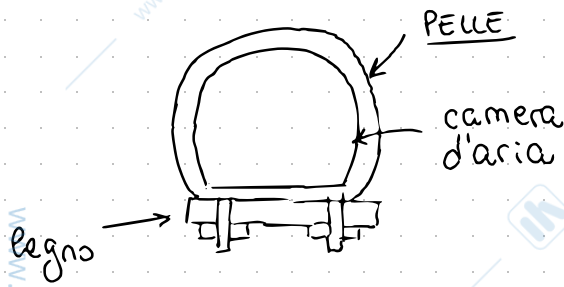


PNEUMATICA

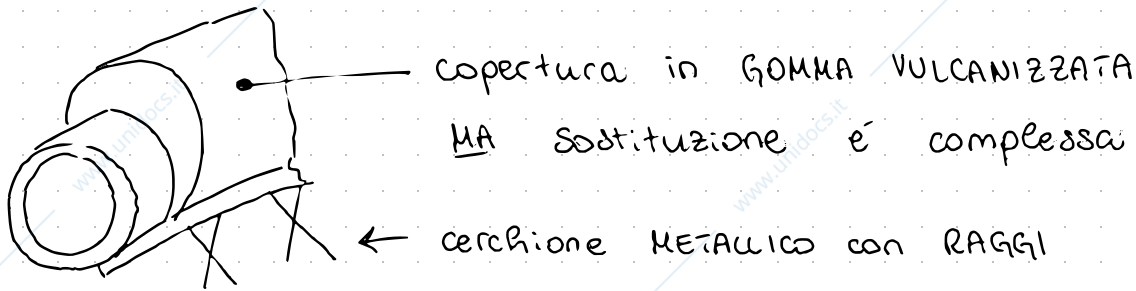
- **PNEUMATICO THOMSON (1847)** : 1^a ruota a sostegno pneumatico (Aria compressa)



cerchione in legno + tele collegate al cerchio con VITI

- ✓ Rigidezza radiale ↑
- ✗ Manutenibilità ↓

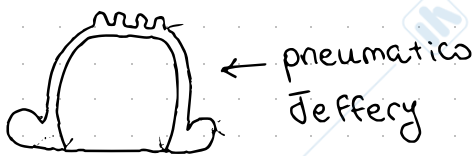
- **PNEUMATICO DUNLOP (1888)**



MA sostituzione è complessa

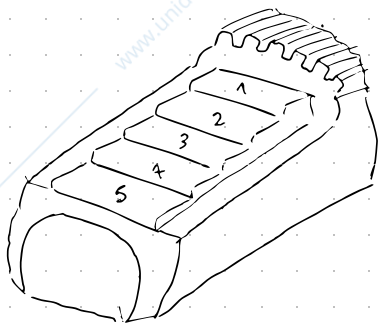
- **PNEUMATICI WELCH e JEFFERY**

sviluppano un TALLONE:



- Welch → filo metallico
- Jeffery → tallone con forma a C
innovazione ma ha problemi di stallonamento

- **PNEUMATICA CONTINENTAL** : Tecnologia RADIAL PLY TIRE:



Strati di tele sovrapposte (con variazione 10°/20° di orientazione) di nylon e/o acciaio

DEFORMAZIONI ↓ => RISCALDAMENTO ↓

tele circolari => def radiali x effetto centrifugo ↓

- **PNEUMATICO MICHELIN** :

- Battistrada
- Tele d'acciaio
- Gomma di sospensione
- Tela di carcassa

odierno ↓
Struttura complessa

NOTA: 1) pneumatico in curva DEFORMA l'IMPRONTA a terra

Carico ↑↑ sul LATO dell'impronta => TASSELLI LATERALI hanno DIMENS ↑

- 2) valori: tipici AREE D'IMPRONTA:
- Auto: ~ 150 cm²
 - Moto: ~ 1/2 Auto (75 cm²)

NORME ISO SU PNEUMATICA

proxy doce unipd → posso scaricare norme da BSOL

180 / 4000 - 1 : 2021
 ↑ ↑ ↑
 n° norma parte 1 della norma anno di pubblicazione

NOMENCLATURA PNEUMATICO

235 / 45 Z R 17 97 Y
 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦

- 235: Nominal Width section (235mm)
- 45: ASPECT RATIO: altezza spalla NOMINALE: 45% di 235 = (105,75 mm)
- Z: "Pneumatico ad Alta Velocità" (u ≥ 240 km/h)
- R: Pneumatico a TELA RADIALE
- 17: RIM DIAMETER 17" · 25,4 = (432mm) ← TABELLA 1
- 97: LOAD INDEX: (730 kg) ← TABELLA 2
- Y: Codice di velocità (≥ 300 km/h) ← TABELLA 3

Codifico così le DIMENSIONI NOMINALI dello pneumatico, e posso ricavare:

Sezione 6.2.5 norma

NOMINAL RADIUS:
$$r = \frac{432 + 2 \cdot h_{spalla}}{2} = 321 \text{ mm}$$

ALTEZZA SPALLA:
$$h_{spalla} = 0,45 \cdot 235 = 105,75 \text{ mm}$$

MA appoggiato a terra subisce una variazione di diametro:

R SOTTO CARICO o Rigidità Radiale pneumatico

NORMA MOTOCICLETTE

$180/51-1 \rightarrow 120/70 \quad ZR17 \quad 58W$

PNEUMATICO
ANTERIORE
+ Diffuso

- 120 \rightarrow larghezza nominale: (120 mm)
- 70 \rightarrow Rapporto di aspetto: 70% $\Rightarrow h_{spalla} = 120 \cdot 0,7 = (84 \text{ mm})$

$$h_{spalla} = 120 \cdot 0,7 = 84 \text{ mm}$$

- Z \rightarrow pneumatico Alta velocità ($v > 240 \text{ km/h}$)
- R \rightarrow pneumatico a Tela RADIALE
- 17 \rightarrow diametro cerchione: $17'' \cdot 25,4 = 432 \text{ mm}$
- 58 \rightarrow load index: 236 kg \leftarrow TABELLA A1
- W \rightarrow codice di velocità: 270 km/h \leftarrow TAB A2: Norma ISO 4223-1

Raggio Nominale: $r = \frac{432 + 2 \cdot 84}{2} = 300 \text{ mm}$

$180/55 \quad ZR17 \quad 73W$

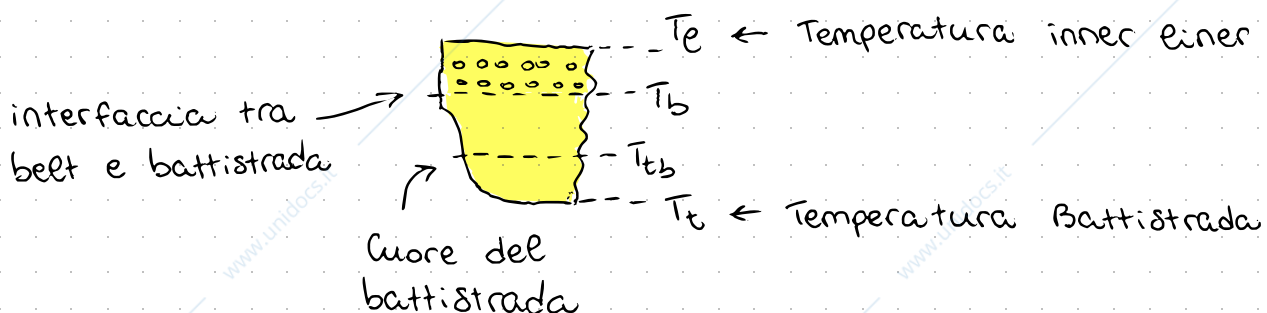
PNEUMATICO POSTERIORE
+ Diffuso

- 73 \rightarrow 365 kg

Raggio nominale: $r = \frac{432 + 2 \cdot 180 \cdot 0,55}{2} = 315 \text{ mm}$

NOTA: in generale asse ruota ant e post si trovano quindi ad ALTEZZE DIVERSE

TEMPERATURE PNEUMATICO



MODELLAZIONE PNEUMATICI

1) vincoli ANOLONOMI (1° modello ingegneristico di pneumatico)

considero pneumatico **SENZA STRISCAMENTO**, dunque

i suoi vincoli sono proporzionali alle Posizioni

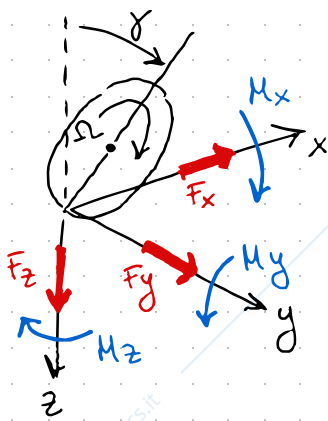
(ANOLONOMI) perché deve essere considerato FERMO

2) vincoli OLONOMI (MODELLO MODERNO)

anni '40 => conferenza NACA per modellazione pneumatici in campo aeronautico (passaggio da aerei ad elica a propulsione => [problema vibrazioni SHIMMY↑])

→ considero **PNEUMATICO = GENERATORE DI FORZE**

centro dell'impronta (~ 10¹ cm² di estensione) viene usato come punto d'applicazione di F + 3 momenti di trasporto per riportare F sul centro C dell'impronta

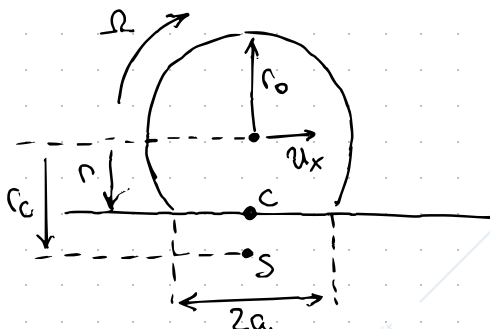


- M_z = momento di IMBARBATA
- M_x = momento di OVERTURNING o RIBALTANTE
- M_y = ROLLING RESISTANCE

δ = ANGOLO DI ROLLO dello pneumatico

Ω = velocità di rotazione pneumatico

ASSI → convenzione "Adapted SAE" $\left\{ \begin{array}{l} z \text{ verso il basso} + \\ F_z \text{ verso l'alto} \end{array} \right.$



1) r_0 = raggio NON DEFORMATO o "UNLOADED" (~ raggio NOMINALE, in questo corso)

2) r = raggio SOTTO CARICO o "LOADED"

3) r_e = raggio EFFETTIVO

↑ S = SLIP POINT : CIR pneumatico in Free Rolling

- DEFORMAZIONE RADIALE dello pneumatico.

$$\delta r = r_0 - r$$

↳ quanto deforma radialmente (IN GENERALE) uno pneumatico?

- RIGIDEZZA RADIALE tipica di uno pneumatico da MOTO:

sapendo che: - $F_z \approx 1500 \text{ N}$ (peso medio moto: 150 kg)

- $k_z \approx 150\,000 \text{ N/m}$ ← RIGIDEZZA RADIALE tipica pneumatici MOTO, compresa tra 100 000 N/m - 200 000 N/m

↳ si ha: $k_z = \frac{F_z}{\delta r} \Rightarrow \delta r = 0,01 \text{ m}$

① SLIP LONGITUDINALE

condizione classica: ROTOLAMENTO LIBERO o FREE ROLLING

(es ruota anteriore motocicletta in piano SENZA FREMATE / ACCELERAZIONI)

$$\frac{v_x}{r_0} = \omega$$

← RAGGIO EFFETTIVO: raggio pneumatico in ordine di marcia, infatti risulta $\propto v_x$

con: v_x = velocità avanzamento ruota

ω = velocità rotazione ruota in FREE ROLLING

quando ruota è in TRAZIONE / FREMATA \Rightarrow SLIP

SLIP = v_{relativa} strada ↔ Battistrada $\neq 0$ (scivolamento)

si ha:

$$v_{\text{SLIP}, x} = v_{c,x} - \omega \cdot r_e$$

con $v_{c,x}$ = velocità assoluta in x del centro C dell'impronta

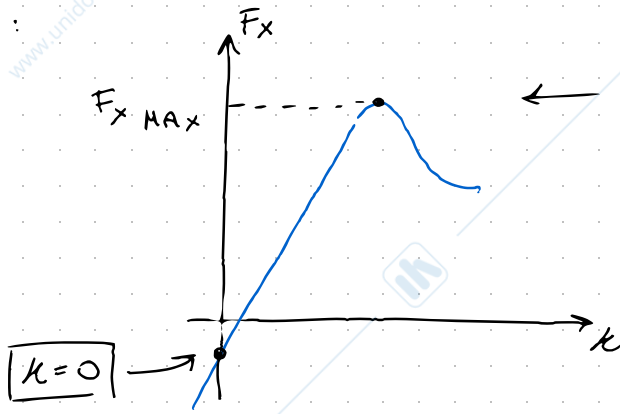
MA: in FREE ROLLING $\rightarrow v_{c,x} = v_x$

↳ SLIP RATIO k sarà definito come:

$$k = - \frac{v_{\text{SLIP}, x}}{v_x} = - \frac{v_x - \omega r_e}{v_x} = \frac{-\omega r_e - v_x}{v_x} = \textcircled{k}$$

VALORI TIPICI: SLIP RATIO

molto usato perché le F in f di k sono espresse in questo modo:



$$F_{x,MAX} = \mu_x F_z$$

Max forza di attrito longitudinale che posso generare, noto il carico

$k=0 \leftrightarrow$ FREE-ROLLING ma $F_x < 0$ quando $k=0$ perché vi è una forza dissipativa di opposizione al Free rolling che va MIN

• Ruota BLOCCATA: $\Omega = 0 \Rightarrow k = \frac{0 - v_x}{v_x} \Rightarrow \boxed{k = -1}$

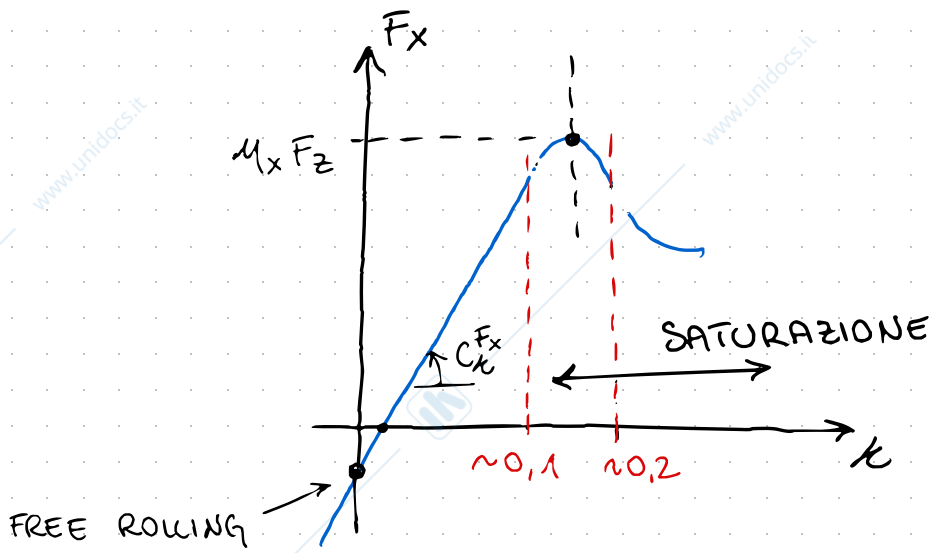
• FREE ROLLING: $\frac{-\Omega r_e = v_x}{\uparrow}$ $\Rightarrow \boxed{k = 0}$
 PURO ROTOLAMENTO
 (NO strisciamento)

• TRAZIONE: $\frac{-\Omega r_e = 2 \frac{v_x}{r_e}}{\uparrow} \Rightarrow k = \frac{2v_x - v_x}{v_x} \Rightarrow \boxed{k = 1}$

in accelerazione ho $\Delta v \neq 0$, quindi v_x di avanzamento $< -\Omega \cdot r_e$ secondo un certo fattore (AD ESEMPIO 2)

• BURN-OUT: $-\Omega r_e \uparrow$ (fattore 2/0) $\Rightarrow \frac{-\Omega r_e \rightarrow \infty}{\uparrow} \Rightarrow \boxed{k \rightarrow \infty}$

CASO IDEALE: in realtà avremo $k \geq 10$



Lo slip influenza principalmente la forza LONGITUDINALE F_x

F_x ha andamento, in $f(k)$:

$\left. \begin{array}{l} \text{LINEARE per } k < \sim 0,1 \\ \text{NON LINEARE per } k > \sim 0,1 \end{array} \right\}$
 ↑
 'SATURAZIONE del coeff di attrito longitudinale μ_x '

Tratto LINEARE: Pendenza = $\left(\frac{F_x}{C_k} \right)$ RIGIDEZZA ($\sim 10/30$ volte il carico)

Picco: MAX F di attrito raggiungibile longitudinalmente

TRACTION CONTROL: dovrebbe entrare in azione per mantenere k vicino alle condizioni di slip

↳ devo cercare di generare la MAX F attrito longitudinale per avere TRAZIONE MAX

COEFFICIENTI D'ATTRITO TIPICI

$\left\{ \begin{array}{l} \mu \approx 0,7 \text{ strada} \\ \mu \approx 0,9 \text{ pista} \end{array} \right. \leftarrow \text{valori tipici (DA SAPERE)}$