UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II

La corretta distribuzione del carico verticale per un incremento della sicurezza di esercizio ed una riduzione dell'usura

IL SISTEMA POWERVE DI PESATURA PORTATILE PER TRENI

Certificazione del sistema alla norma EN 15654 e applicazioni alla manutenzione dei carrelli

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

Prof. Salvatore Strano
Dipartimento di Ingegneria Industriale
Università degli Studi di Napoli Federico II

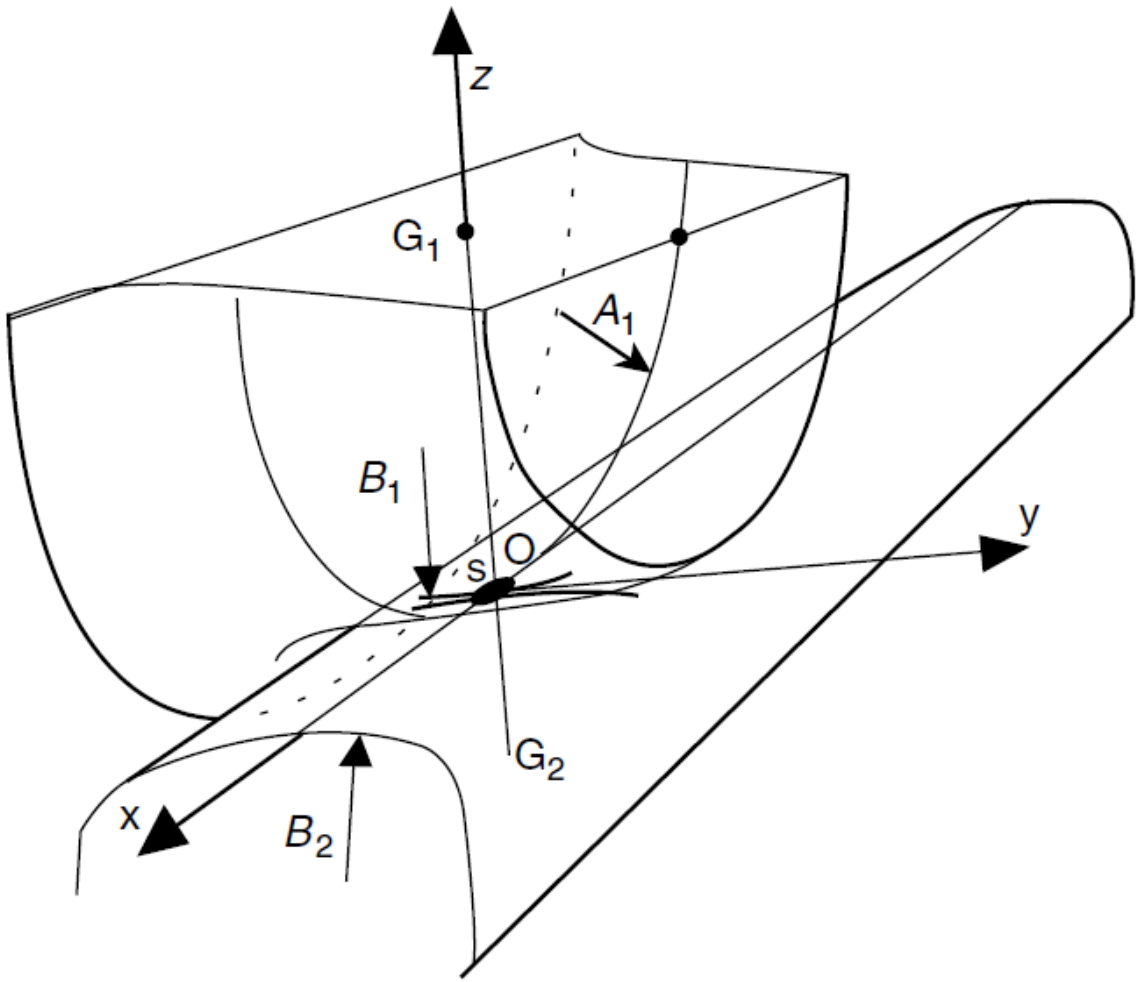
Sommario

- **Concetti base sul contatto ruota-rotaia**
- **Sicurezza di marcia**
- **Modelli di usura**
- **Simulazione**
- **Sviluppi futuri**

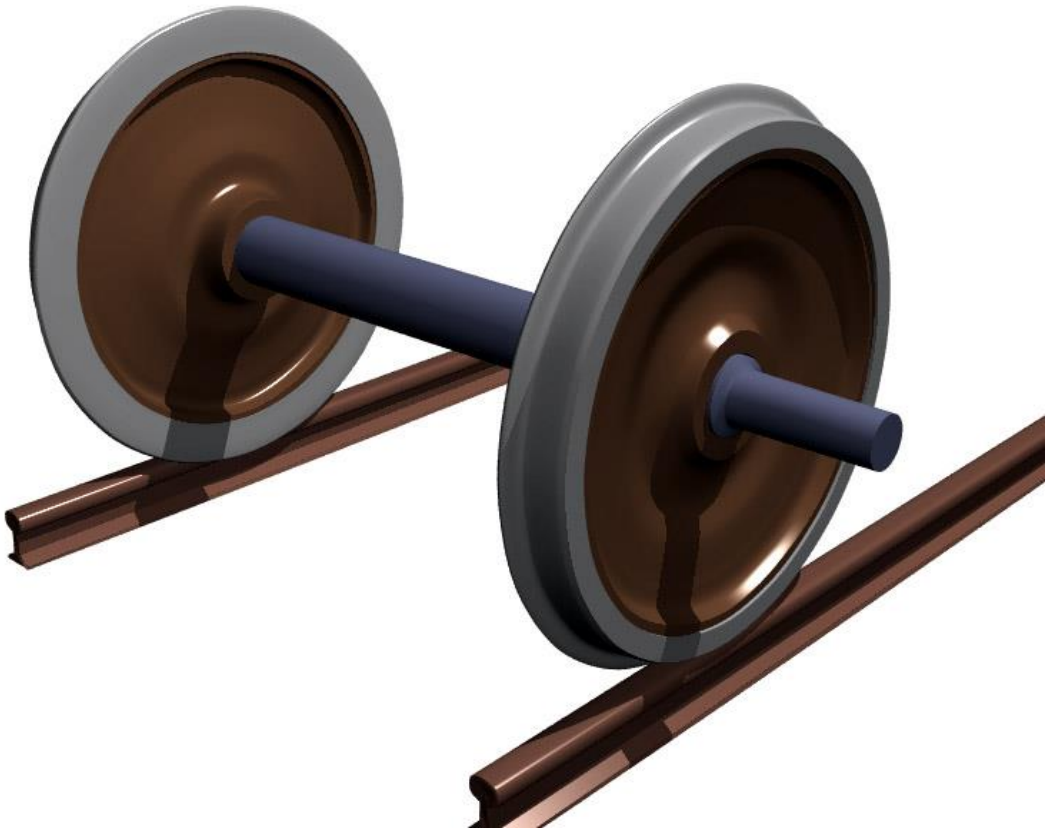
Contatto ruota-rotaia

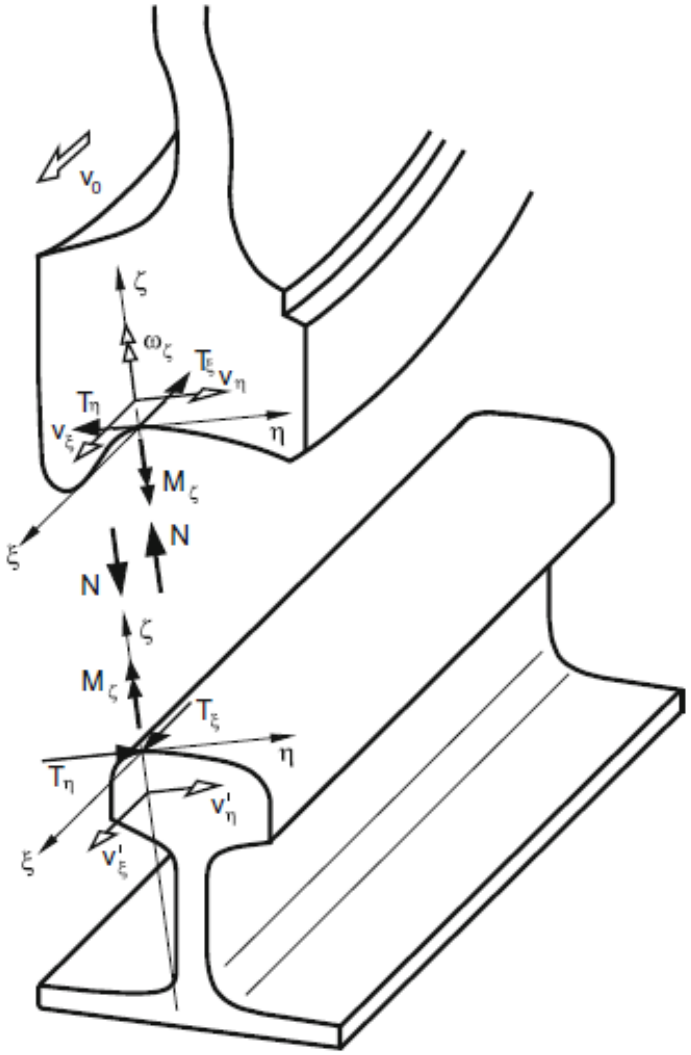
Calcolo delle forze di contatto

- Analisi geometrica del contatto
- Interazione normale
- Interazione tangenziale



Contatto ruota-rotaia

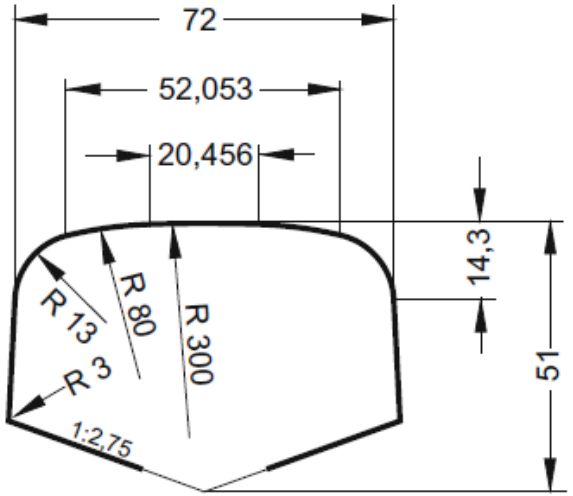


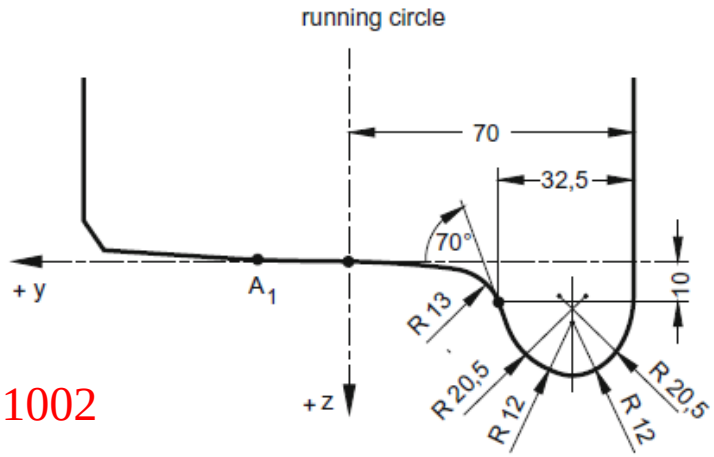


Geometria del contatto ruota-rotaia

Condizioni nominali

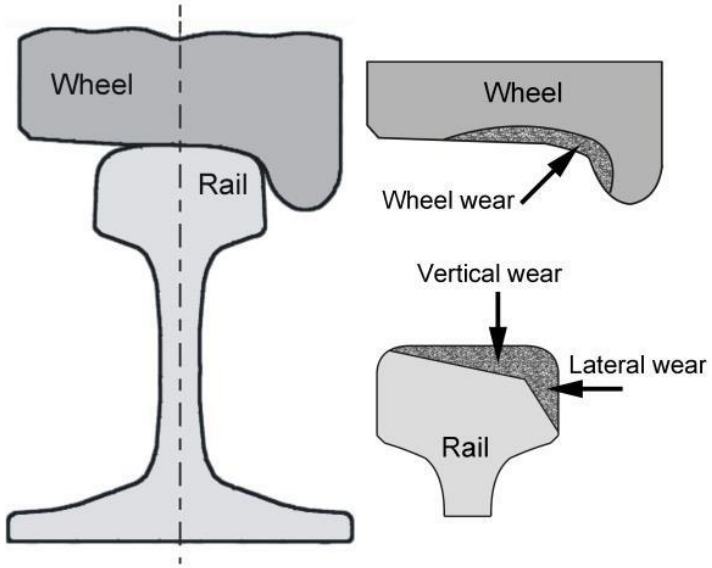
UIC 60





S1002

Condizioni usurate



Determinazioni dei seguenti parametri geometrici:

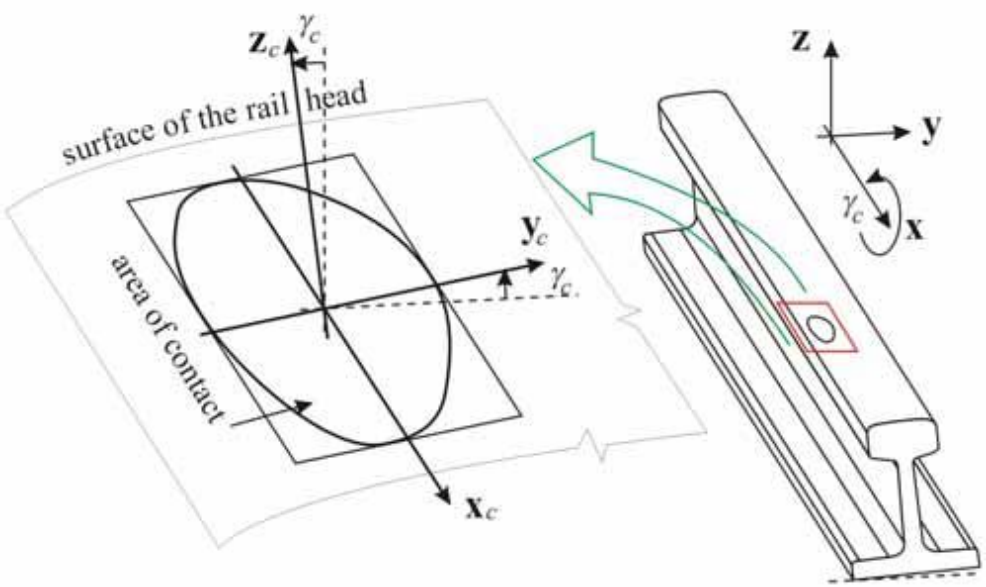
- La posizione e/o le posizioni dei contatti
- Il raggio di rotolamento in ogni punto di contatto
- La tangente in ogni punto di contatto
- I raggi di curvatura locali delle superfici a contatto

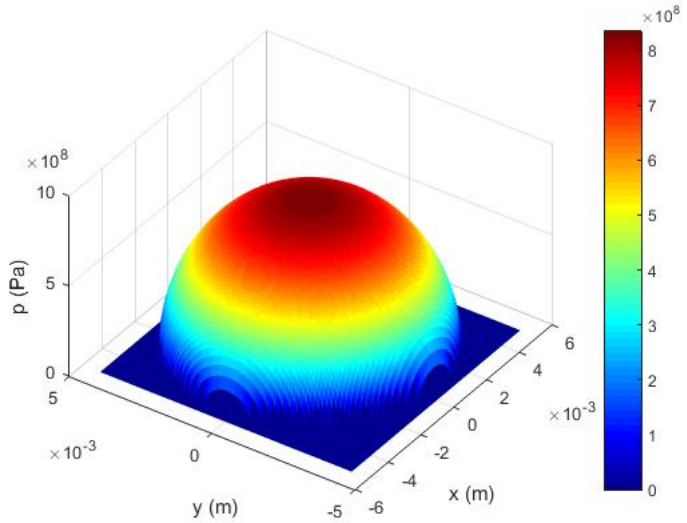
Problema normale

Forza normale ruota-rotaia

Area di contatto

Distribuzione della pressione normale nell'area





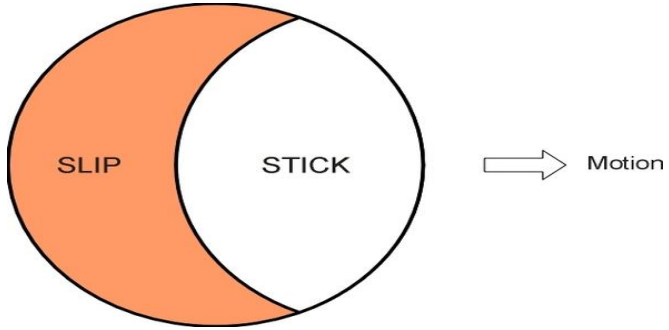
Problema tangenziale

Forze e coppie di scorrimento (*creep*) nell'area di contatto in funzione degli scorrimenti (*creepages*)

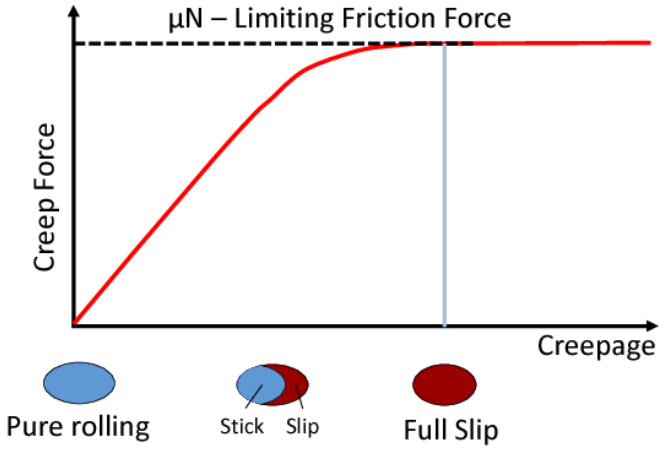
$$T_\xi = T_\xi(\nu_\xi, \nu_\eta, \nu_\zeta)$$ Forza di scorrimento longitudinale

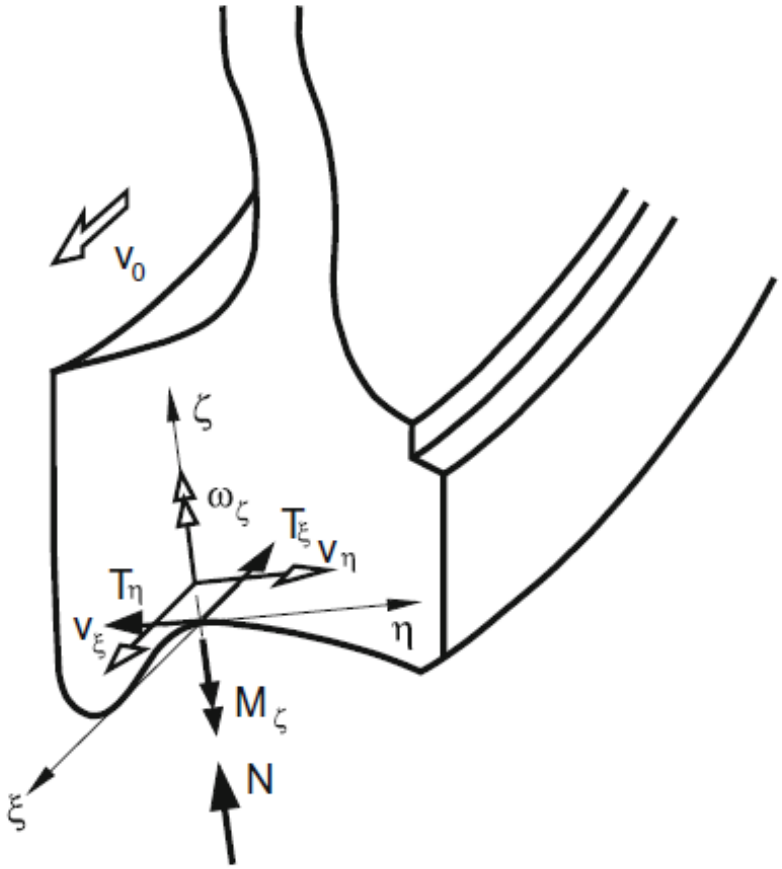
$$T_\eta = T_\eta(\nu_\xi, \nu_\eta, \nu_\zeta)$$ Forza di scorrimento laterale

$$M_\zeta = M_\zeta(\nu_\xi, \nu_\eta, \nu_\zeta)$$ Coppia di spin



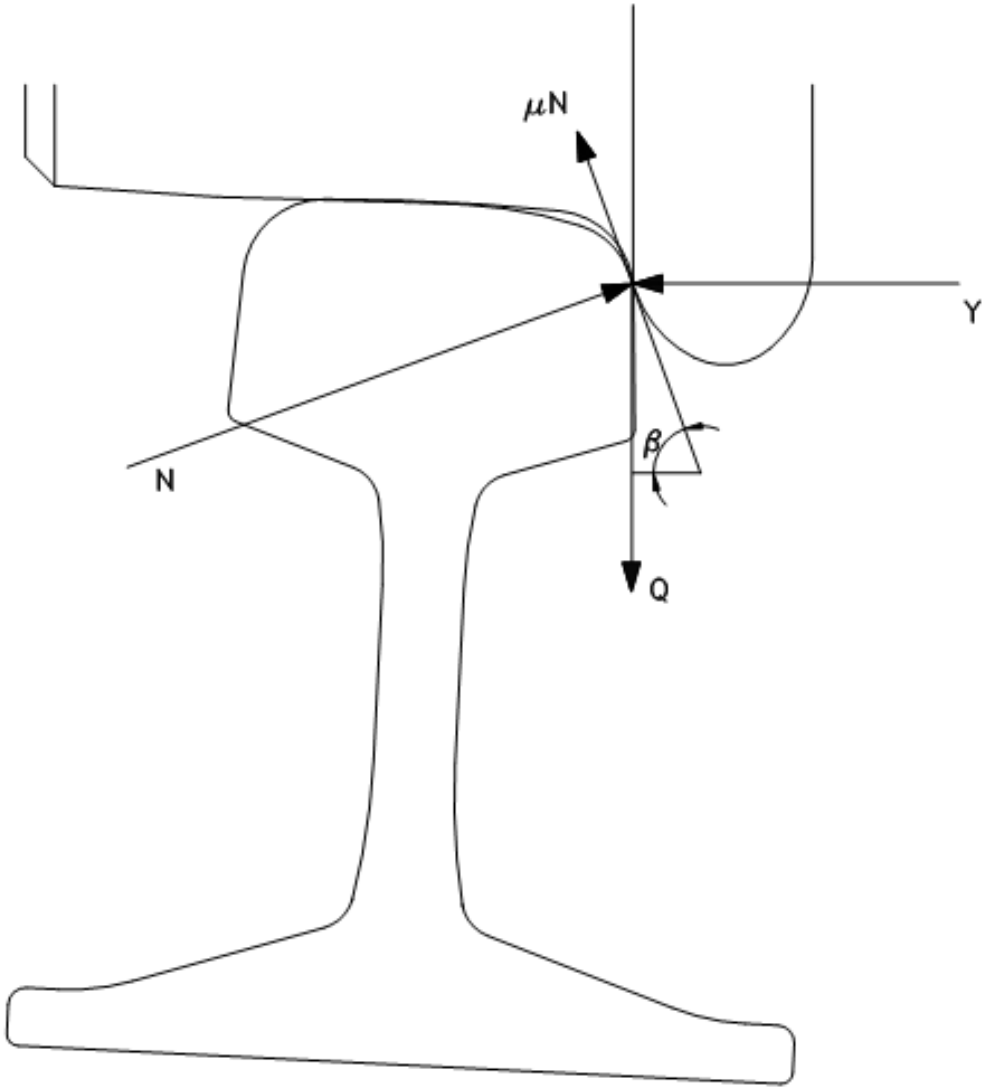
Area di contatto





Sicurezza di marcia

Sicurezza rispetto allo svio



Y: forza trasversale di guida dovuta alla spinta della ruota sulla rotaia

Q: forza verticale dinamica gravante sulla ruota

N: forza di reazione normale alla superficie nel punto di contatto

β: angolo di inclinazione del bordino

μ: coefficiente d'attrito ruota-rotaia

μN: forza di attrito

Sicurezza rispetto allo svio

Per valutare il grado di sicurezza nei confronti dello svio è necessario verificare che il rapporto (Y/Q) sia inferiore ad un certo valore limite $(Y/Q)_{lim}$

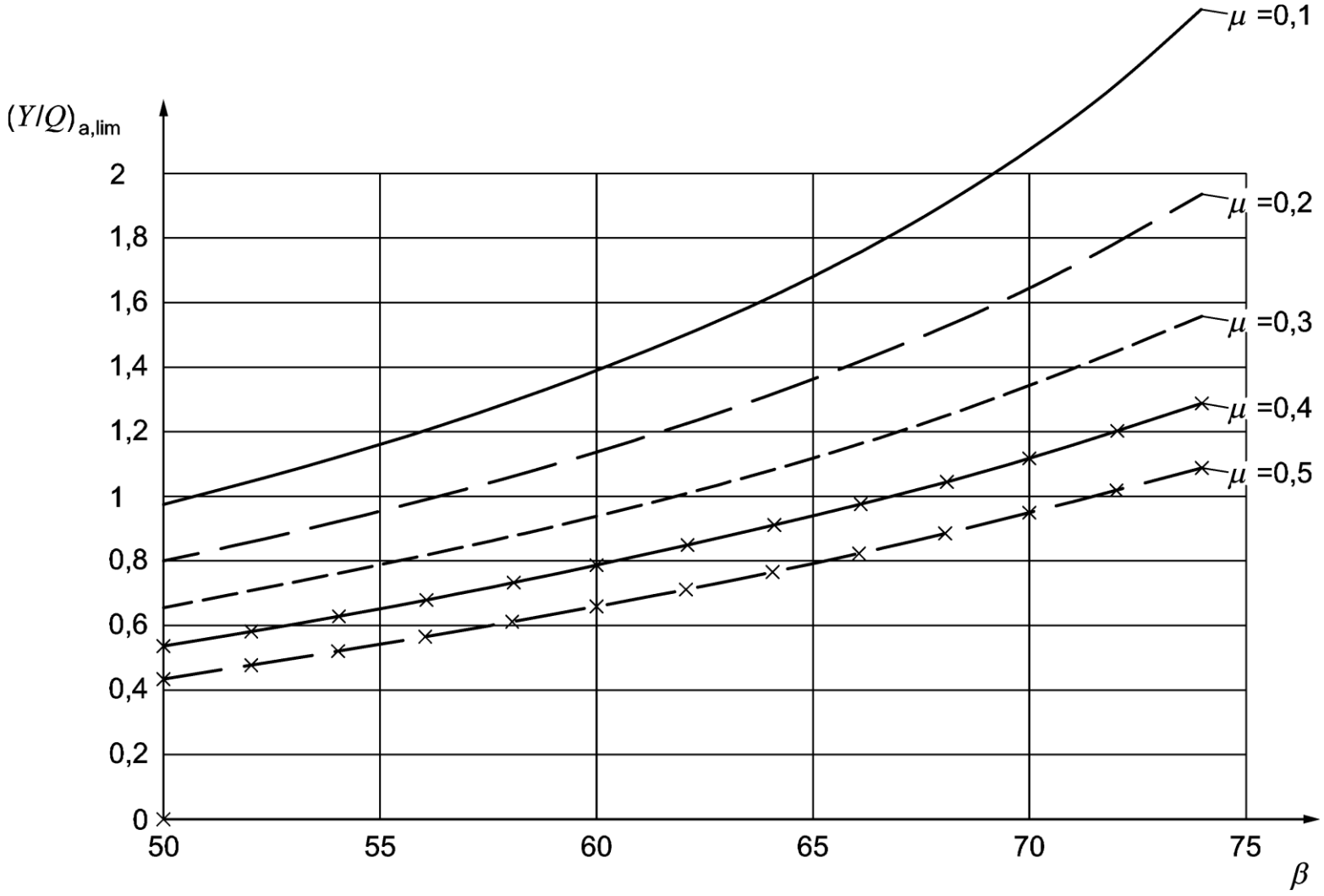
$$\left(\frac{Y}{Q}\right)_{lim} = \frac{tan\beta - \mu}{1 + \mu\, tan\beta}$$

$\mu = 0{,}36$ e $\beta = 70°$ $(Y/Q)_{lim}=1{,}2$

EN 14363
Applicazioni ferroviarie - Prove e simulazioni per l'accettazione delle caratteristiche di marcia dei veicoli ferroviari - Prove di comportamento dinamico e statico

$(Y/Q)_{lim} = 0{,}8$

Sicurezza rispetto allo svio



Scarico massimo ammissibile per ruota

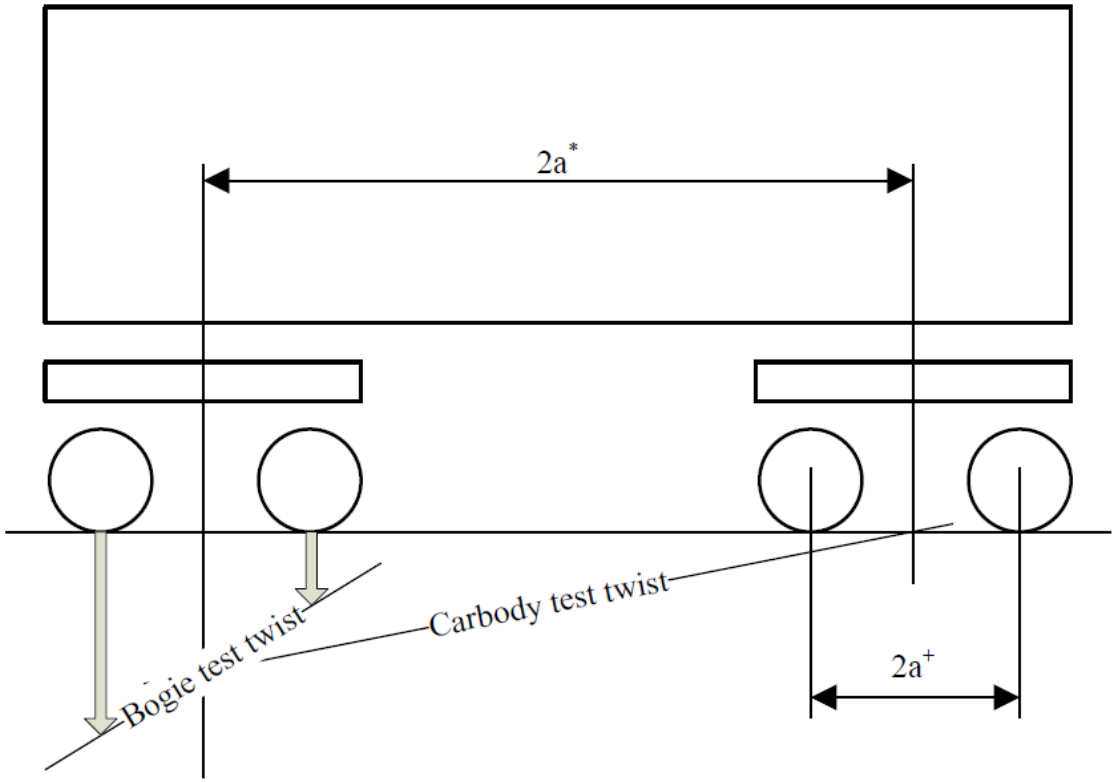
La forza di guida dipende non solo dal carico verticale effettivo della ruota Q_0 e dal profilo del cerchione ma anche da altri fattori quali: orientabilità degli assi, passo del carrello, coppia di rotazione cassa-carrello ed in riferimento alla linea dal raggio di curvatura e dalla legge di variazione

Scarico massimo ammissibile

$$\frac{\Delta Q}{Q_0} \leq 0,60$$

EN 14363

"Wheel unloading"



EN 14363

Annex A
(informative)
Information on safety against derailment

A.1 Factors influencing the safety against derailment of vehicles running on twisted track

A.1.2 Wheel unloading influences

Vehicle based influences are:

- torsional stiffness of the vehicle-body combined with the vertical stiffness of the suspension system
- torsional stiffness of the bogie frame combined with the vertical stiffness of the primary suspension
- eccentricity of the vehicle centre of gravity
- torsional hysteresis during twisting
- longitudinal eccentricity of anti-roll bars inside a bogie in the case of flexible bogie frames

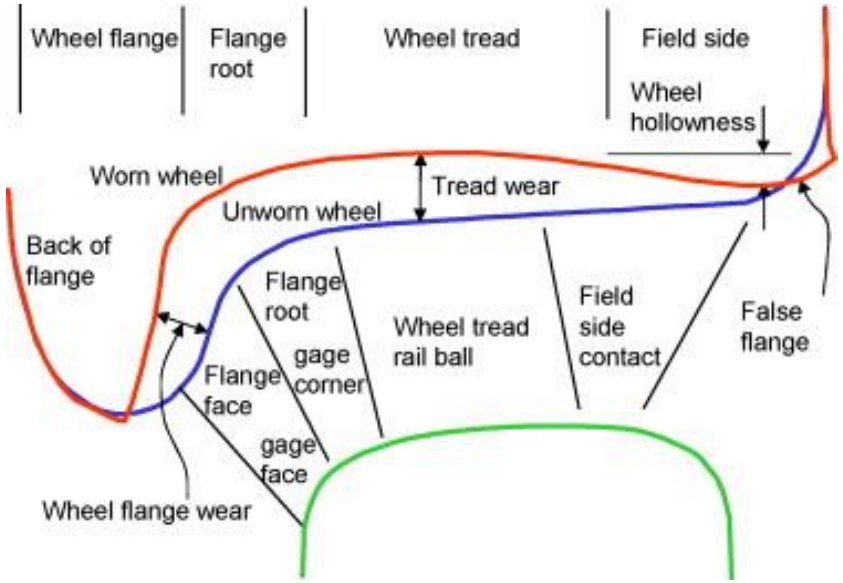
Modelli di usura

Modelli di usura

Nella letteratura dell'interazione ruota – rotaia vengono descritti due tipi base di modelli d'usura:

- Modelli energetici, in cui si assume che il materiale asportato sia funzione dell'energia dissipata nell'area di contatto;

- Modelli di scorrimento, in cui il materiale asportato dipende dalla combinazione di distanza di scorrimento, forza normale e durezza del materiale.



Modelli di usura

L'usura può essere correlata all'energia di attrito sviluppata durante lo scorrimento nel contatto ruota–rotaia

$$W = T_\xi ds_\xi + T_\eta ds_\eta + M_\zeta d\varphi_\zeta \quad [\mathrm{Nm}]$$

Lavoro delle forze e coppie nell'area di contatto

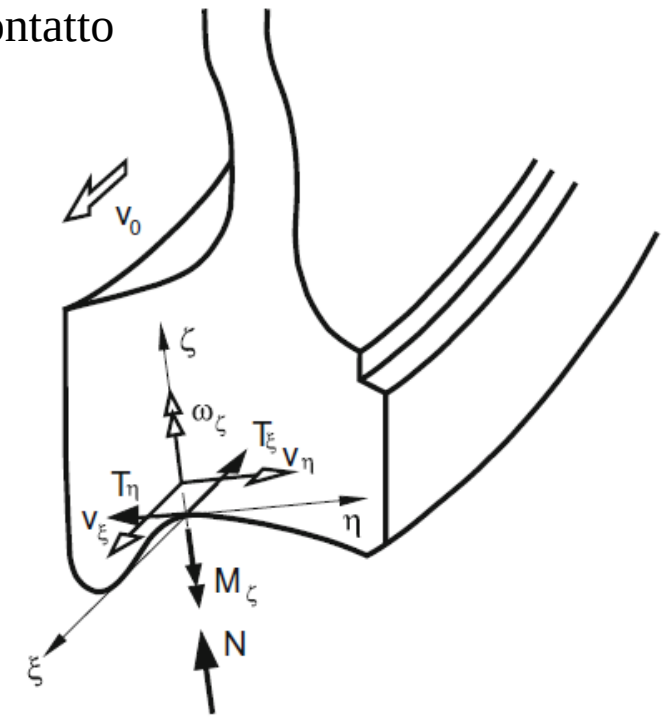
$$P \quad [\mathrm{Nm/s}] = \frac{dW}{dt}$$

Lavoro per unità di tempo

Wear number

$$\frac{P}{v} = \frac{W}{l} = \boxed{T_\xi \nu_\xi + T_\eta \nu_\eta + M_\zeta \nu_\zeta \quad [\mathrm{Nm/m}]}$$

Energia dissipata nell'area di contatto o anche lavoro per distanza percorsa



Wear number

Wear categories	description
Wear number < 100	Low
100 ≤ wear number ≤ 200	Medium
Wear Number ≥200	High

Wear number

Funzioni di correlazione

Materiale asportato per usura in funzione della percorrenza

Modelli di usura

Secondo la legge di Archard il materiale asportato per usura dipende dalla pressione di contatto, dalla distanza di scorrimento e dalla durezza del materiale

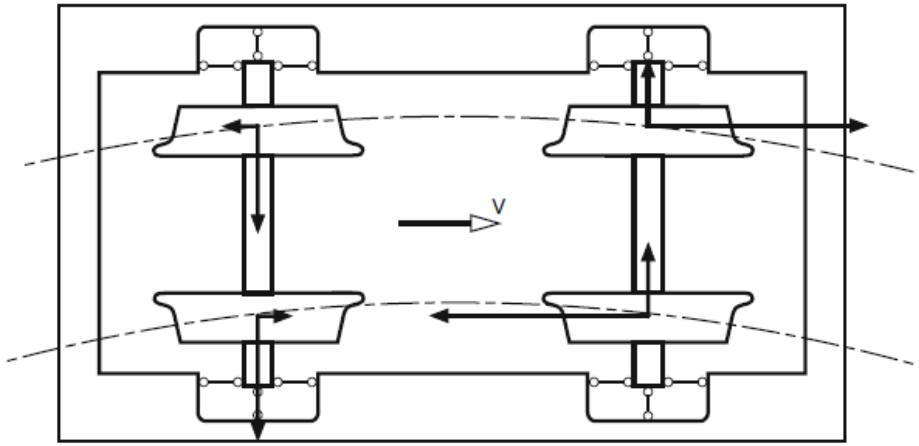
$$d_z = k_i \cdot \frac{p_z \cdot ds}{H}$$

Profondità di usura

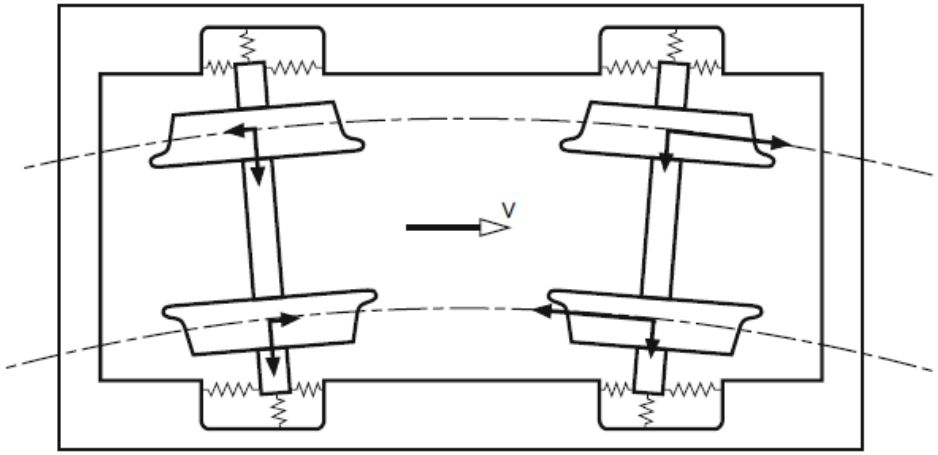
Coefficienti dipendenti dalla pressione di contatto
e dalla velocità di scorrimento

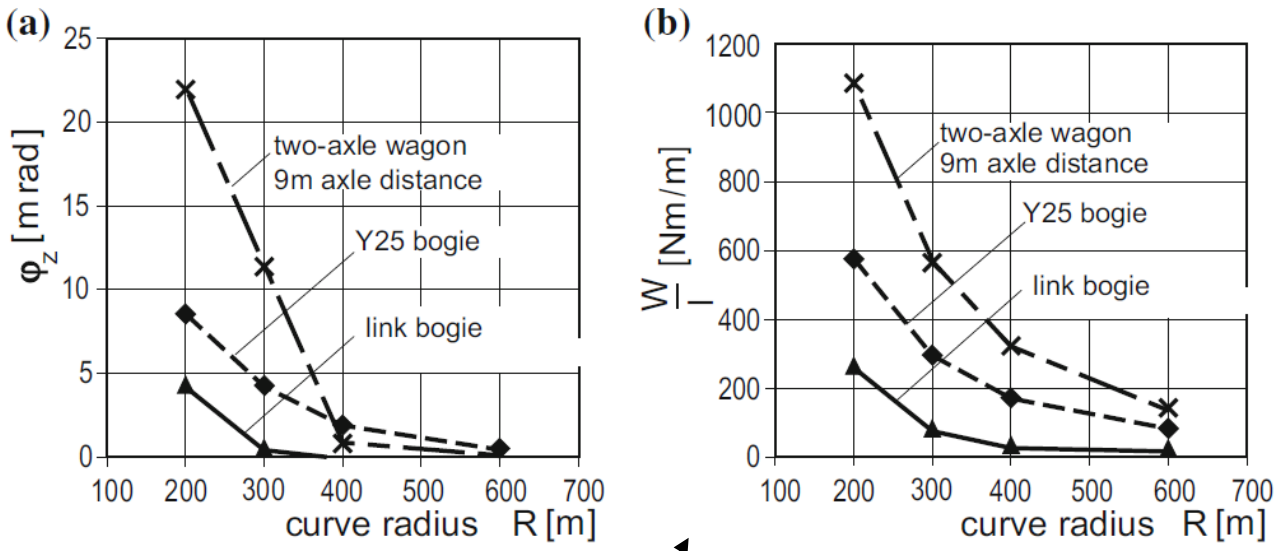
Effetti delle sospensioni primarie e dell'angolo di attacco

Stiff longitudinal wheelset guidance



Soft longitudinal wheelset guidance

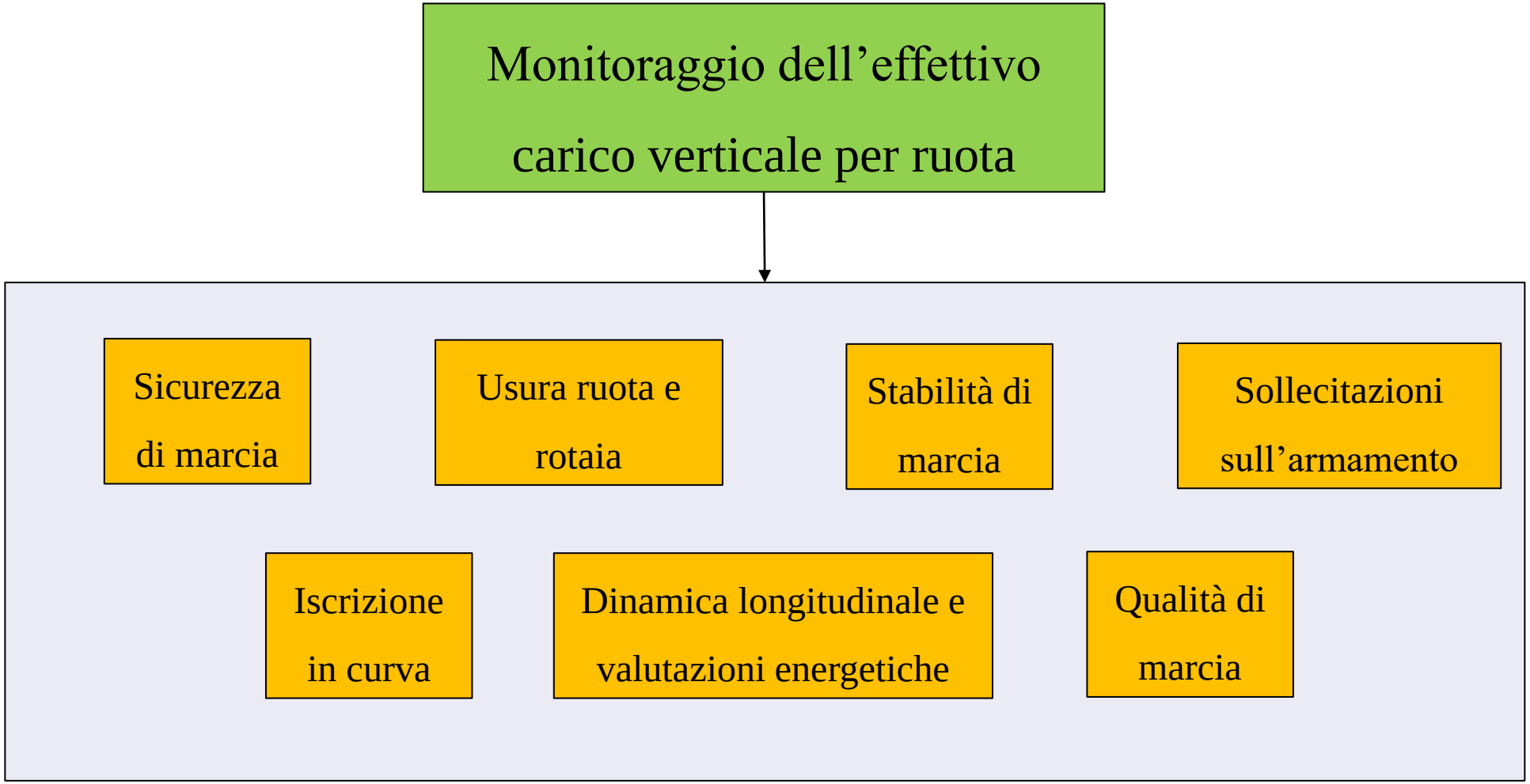




Influenza del raggio di curvatura e delle tipologie di veicolo

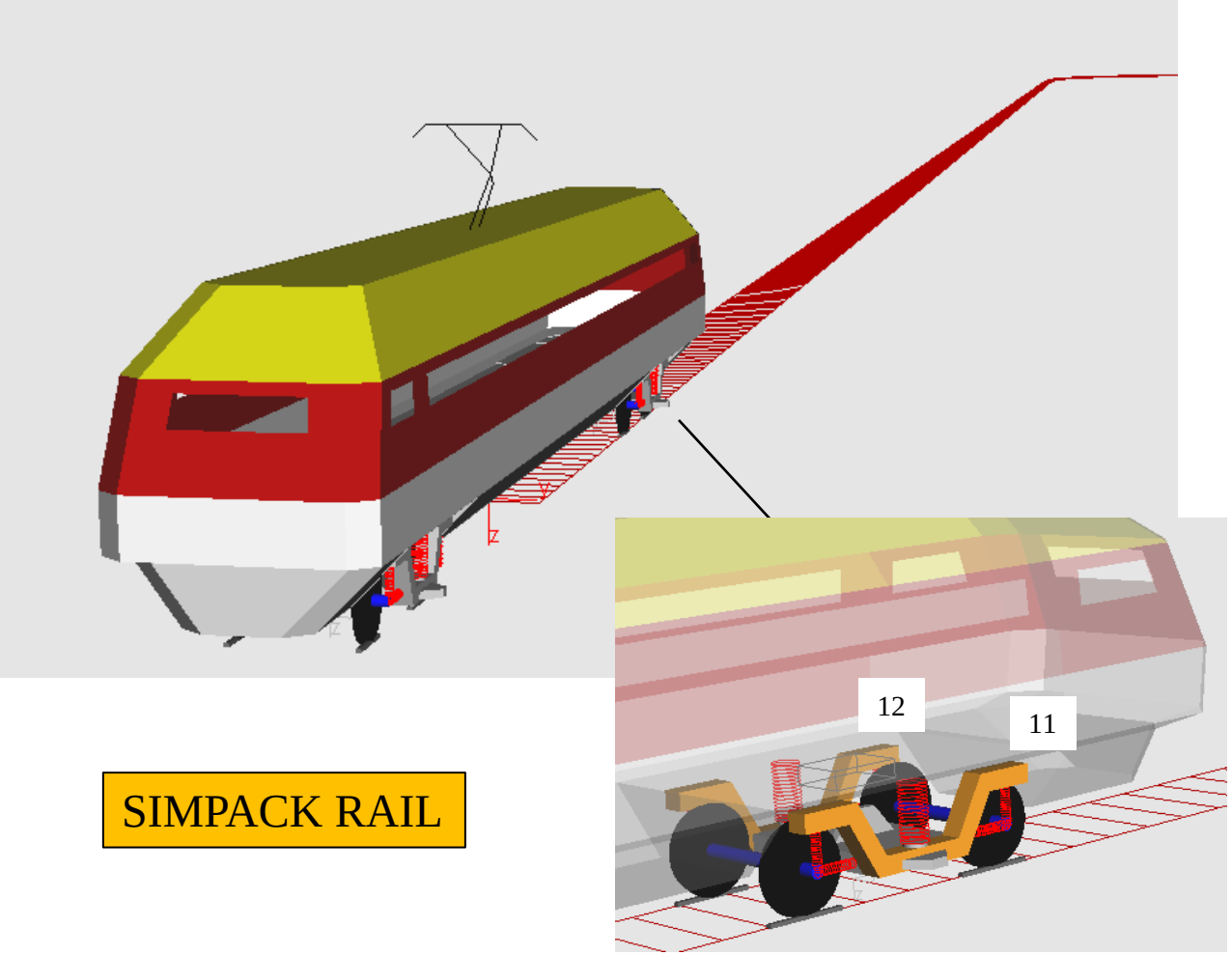
E. Andersson, M. Berg, S. Stichel, Rail Vehicle Dynamics, *Rail Vehicle Dynamics*

Sintesi


Monitoraggio dell'effettivo carico verticale per ruota
Sicurezza di marcia
Usura ruota e rotaia
Stabilità di marcia
Sollecitazioni sull'armamento
Iscrizione in curva
Dinamica longitudinale e valutazioni energetiche
Qualità di marcia

Simulazione

Modellazione multibody del veicolo



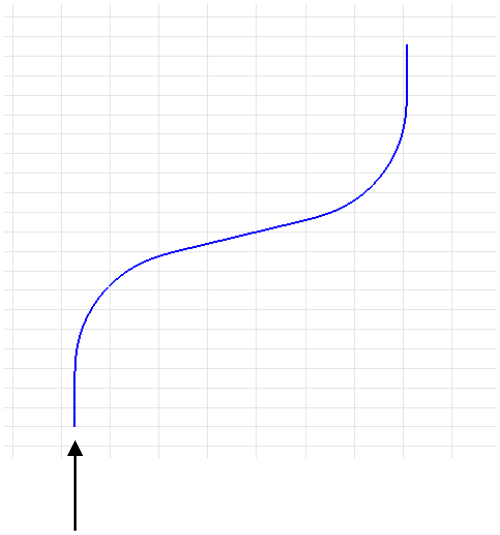
SIMPACK RAIL

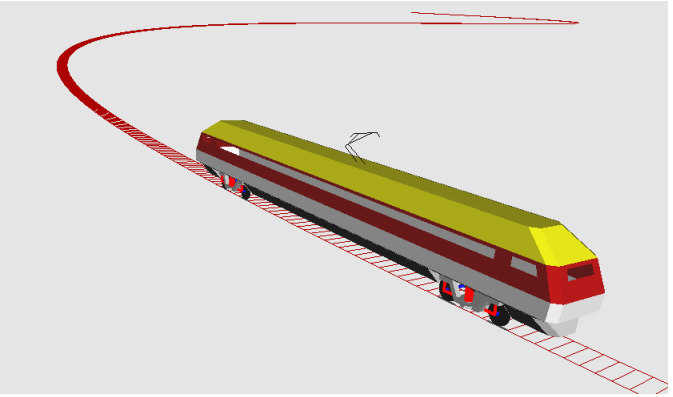
- Veicolo composto da una cassa e due carrelli
- Velocità di avanzamento: 80 km/h
- Tracciato ad S (R = 300 m)

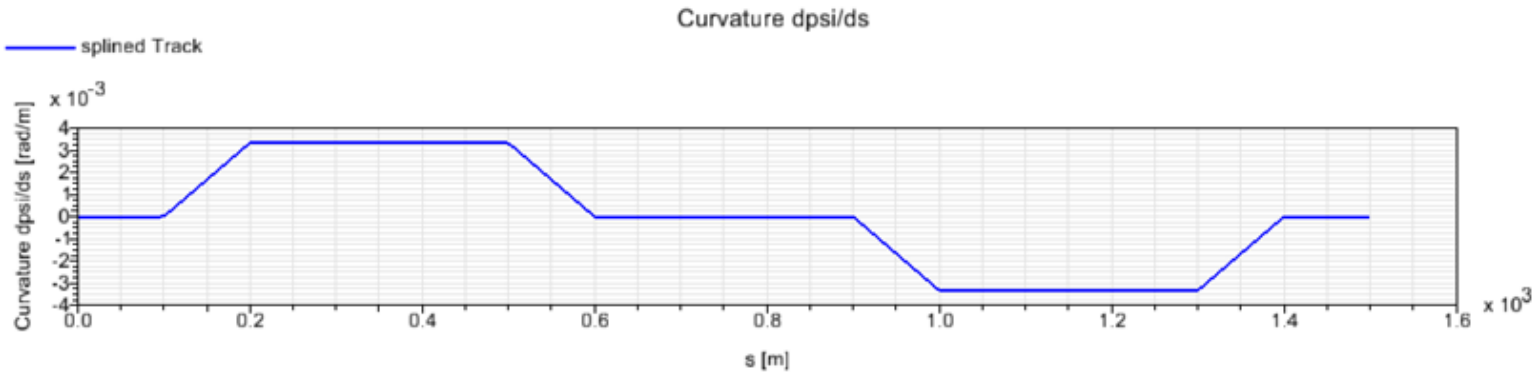
Simulazione dinamica per tre condizioni di sbilanciamento della sala 1:

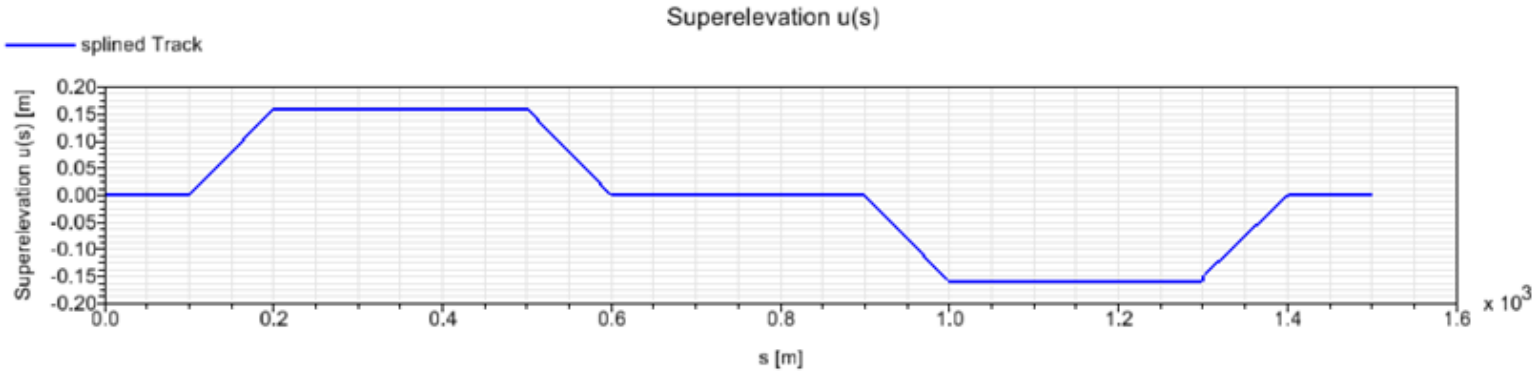
0%, 5 %, 10 %

Tracciato

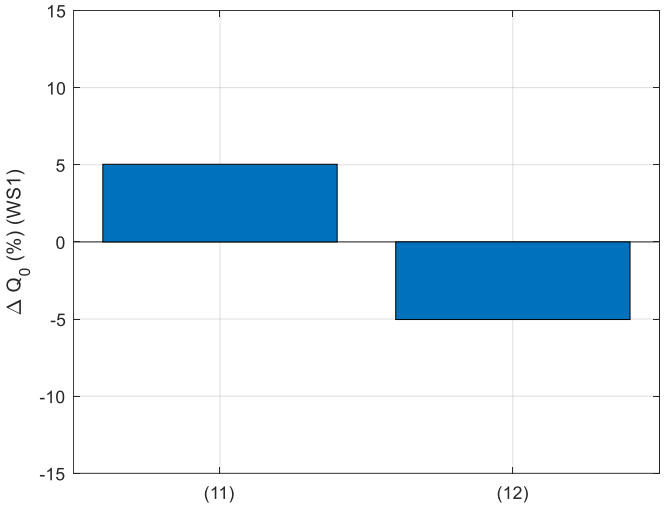




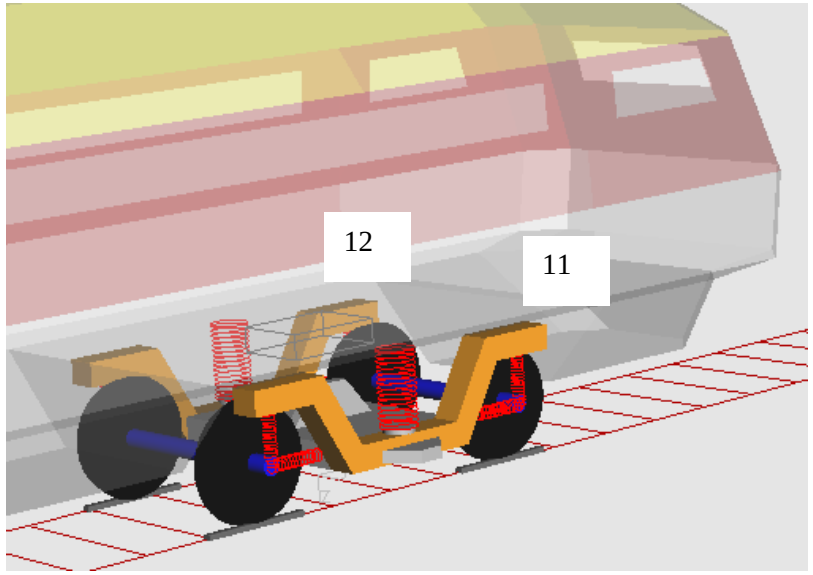

Curvature dpsi/ds
splined Track
x 10^-3
Curvature dpsi/ds [rad/m]
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1.2
1.4
1.6
x 10^3
s [m]

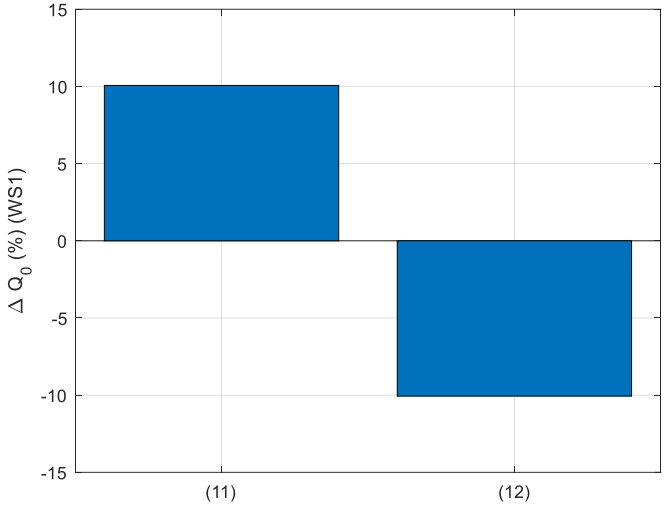

Superelevation u(s)
splined Track
Superelevation u(s) [m]
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
-0.05
-0.10
-0.15
-0.20
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1.2
1.4
1.6
x 10^3
s [m]

Sbilanciamenti simulati



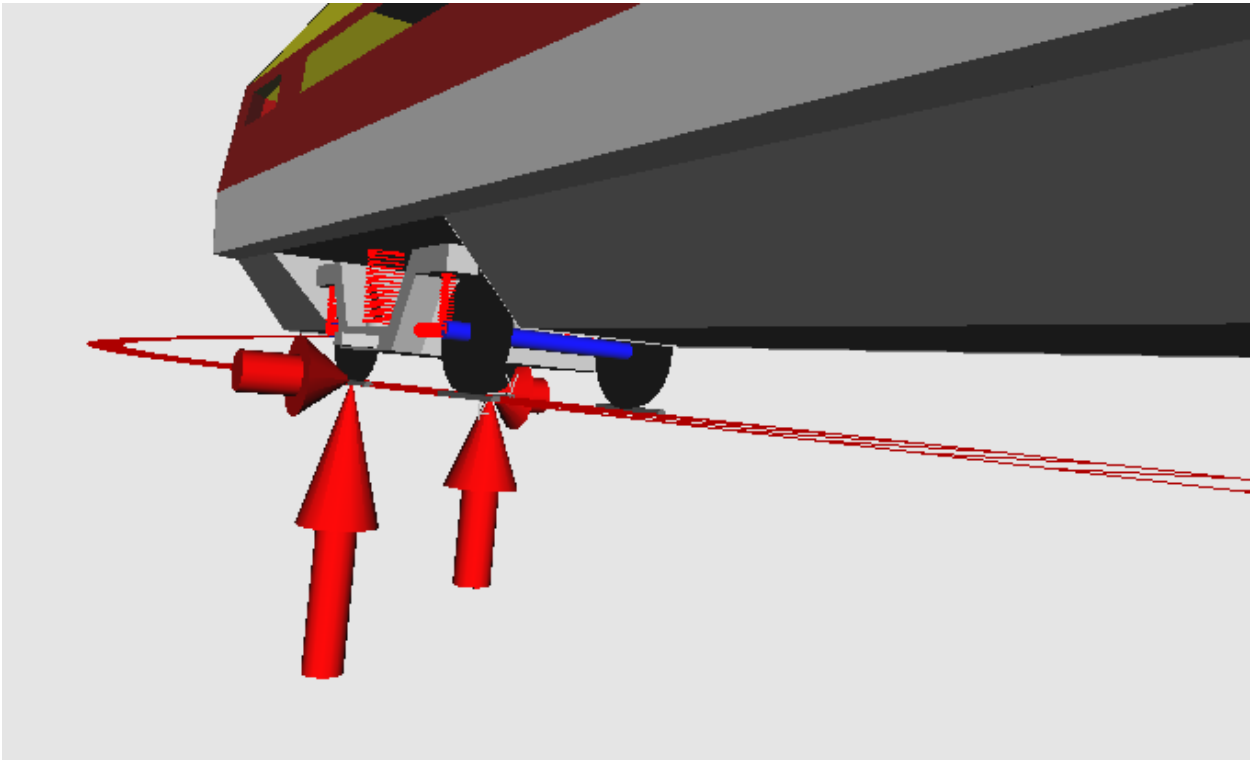
Sbilanciamento 5 %

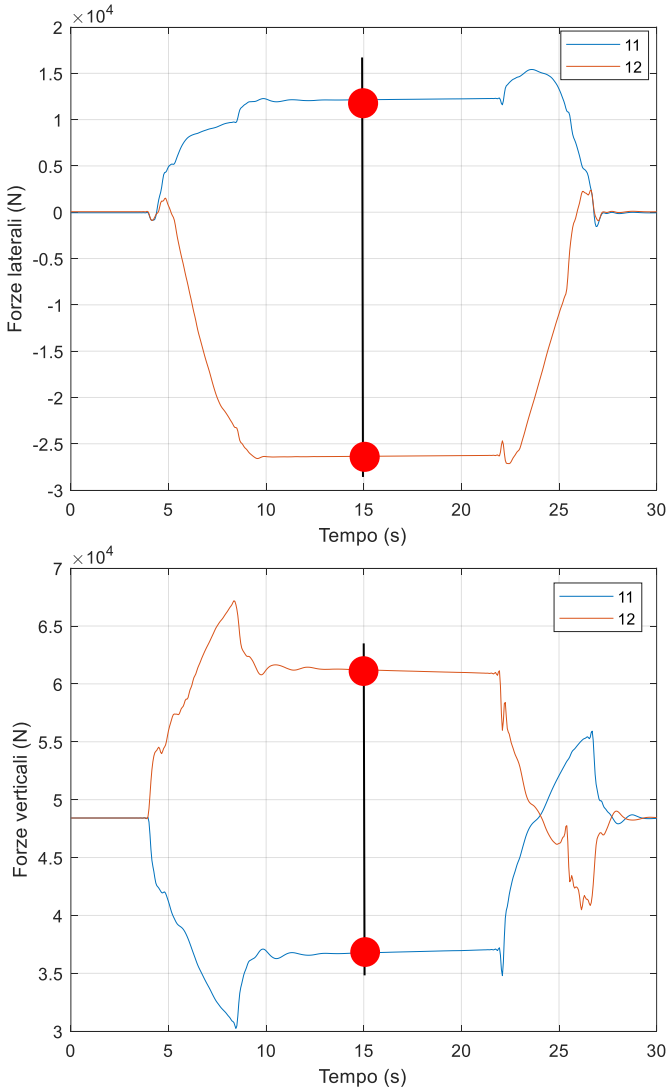




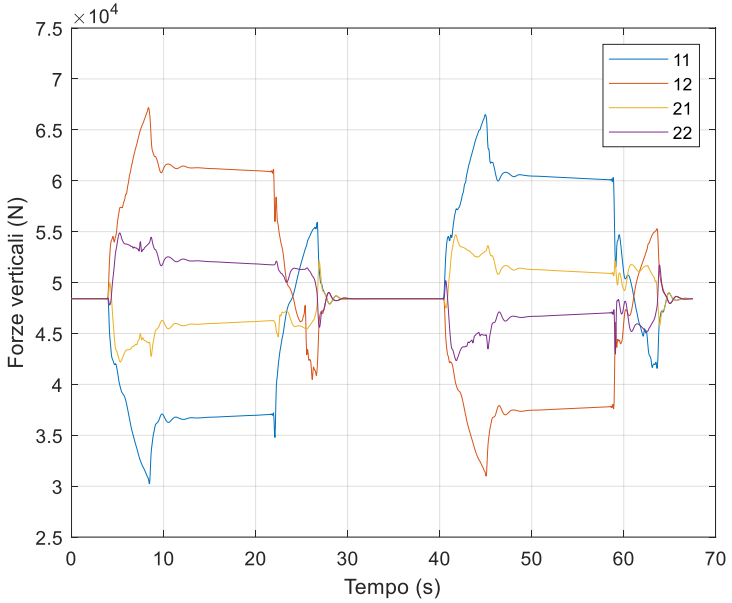
Sbilanciamento 10 %

Visualizzazione delle forze

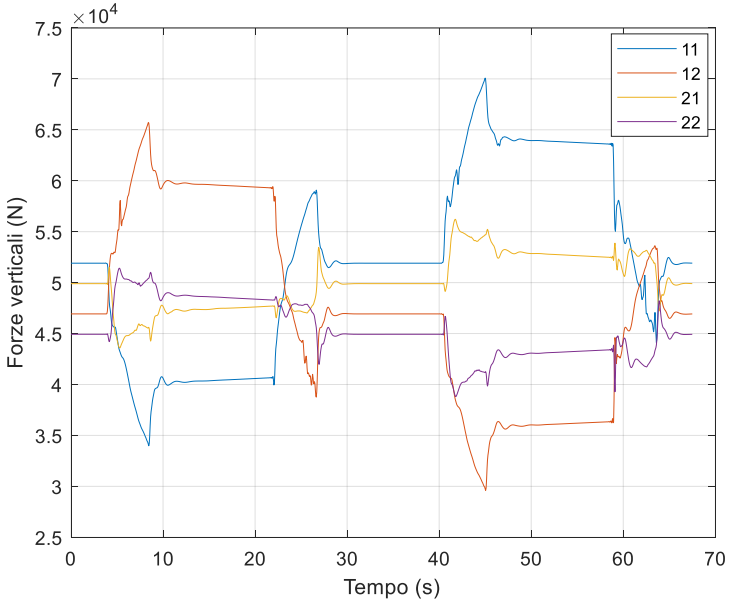




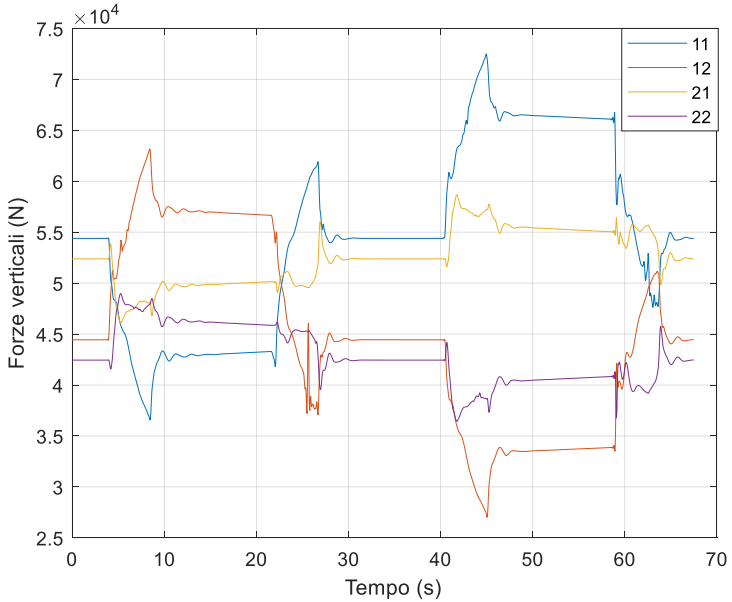
Forze verticali



Sbilanciamento 0 %

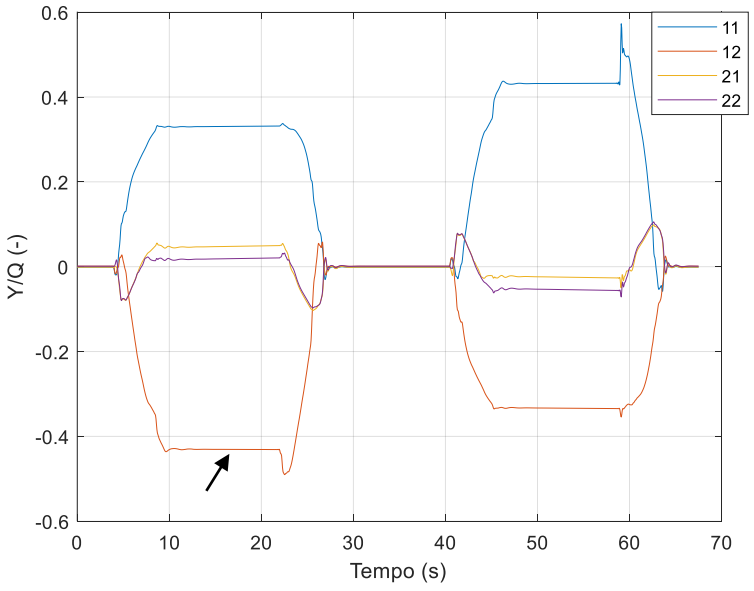


Sbilanciamento 5 %

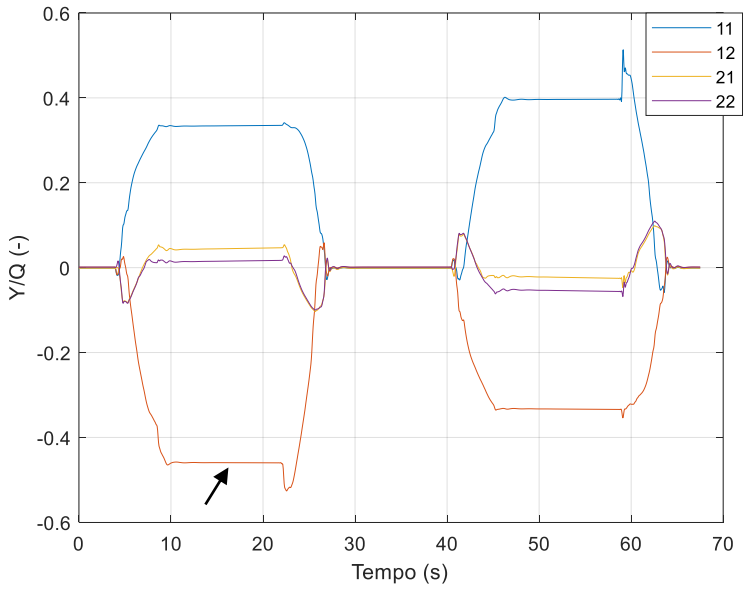


Sbilanciamento 10 %

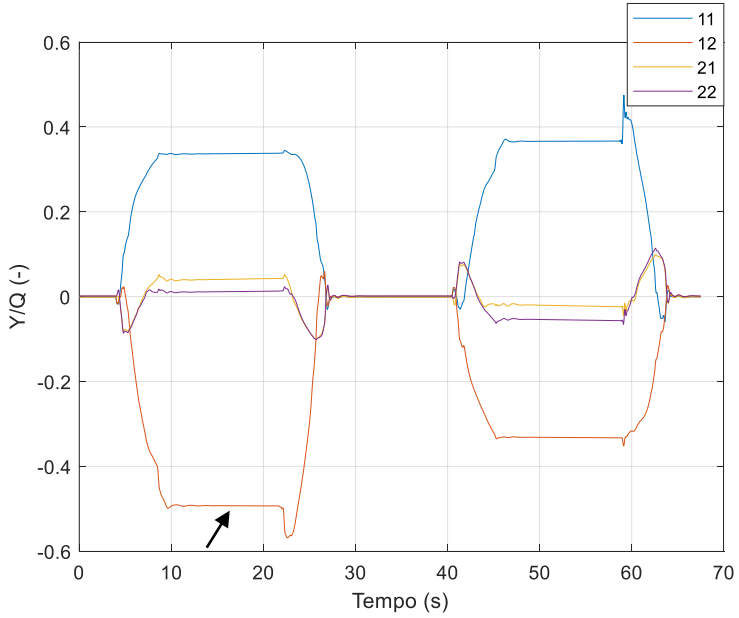
Indice di svio Y/Q



Sbilanciamento 0 %

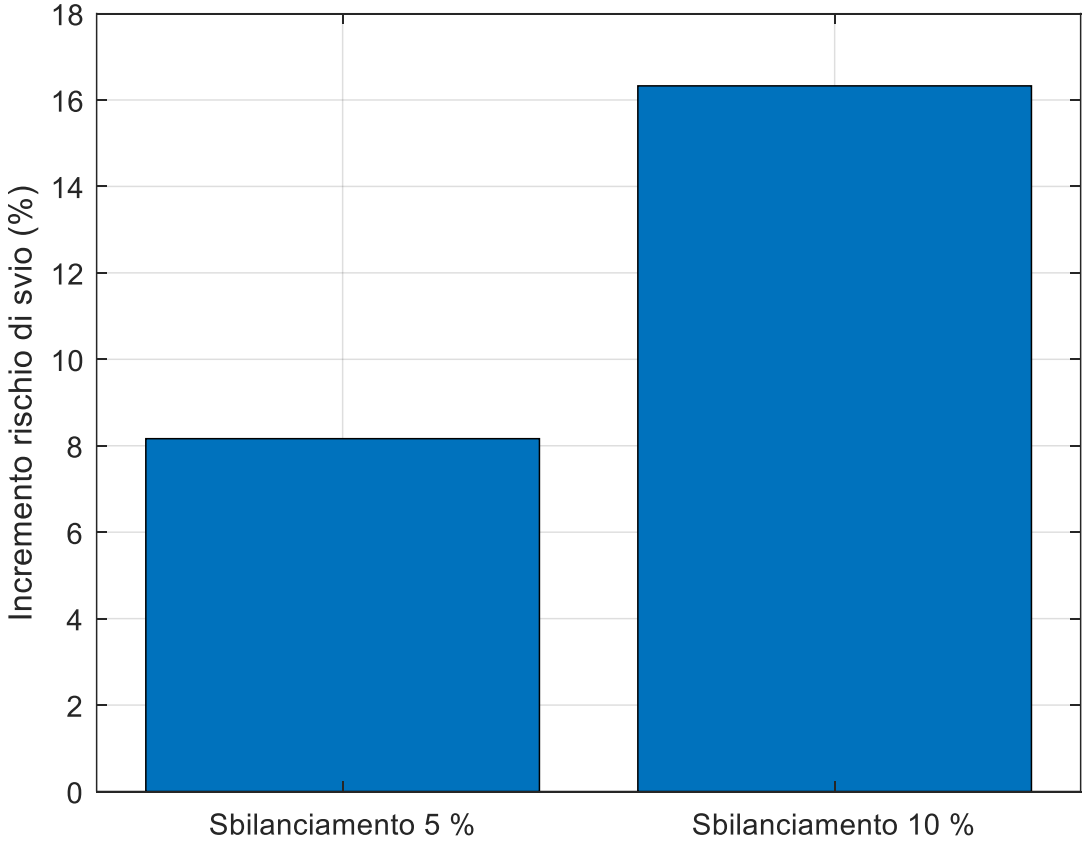


Sbilanciamento 5 %

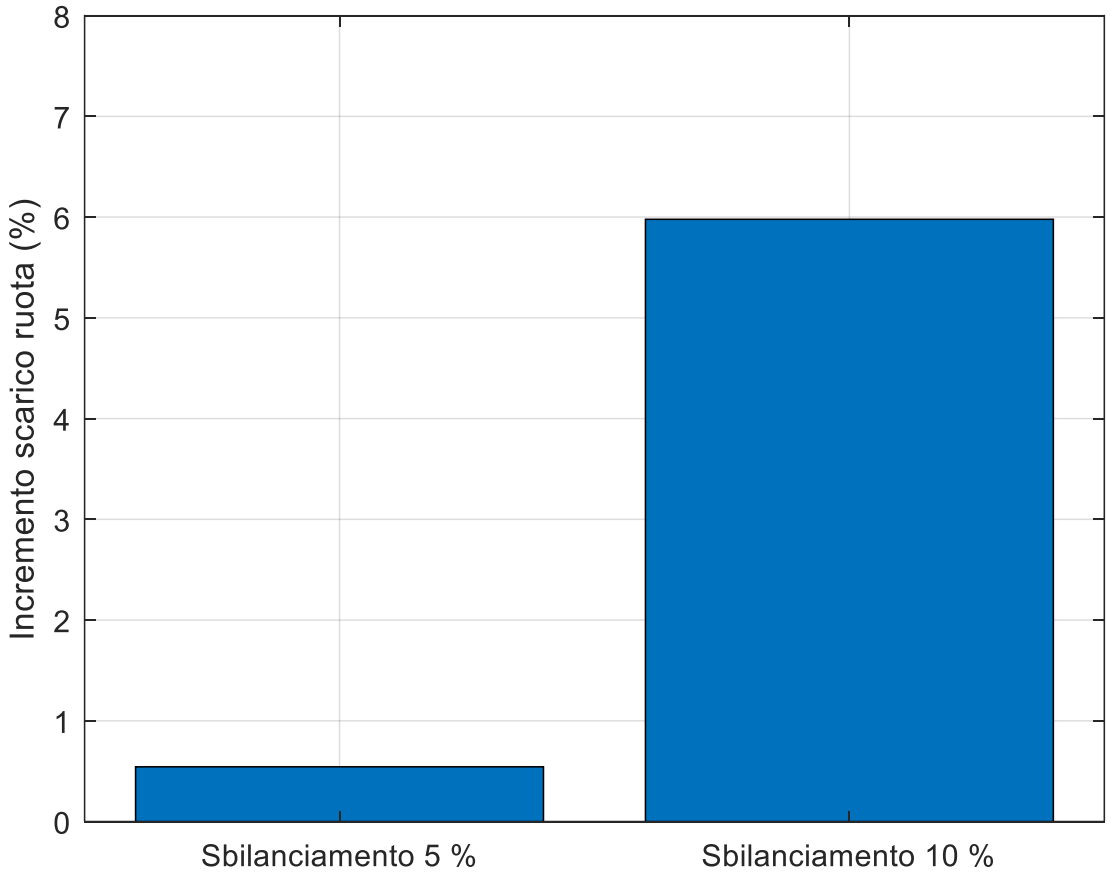


Sbilanciamento 10 %

Sintesi indice di svio Y/Q



Fattore di scarico ruota $\Delta Q/Q_0$



Area di materiale asportato per usura

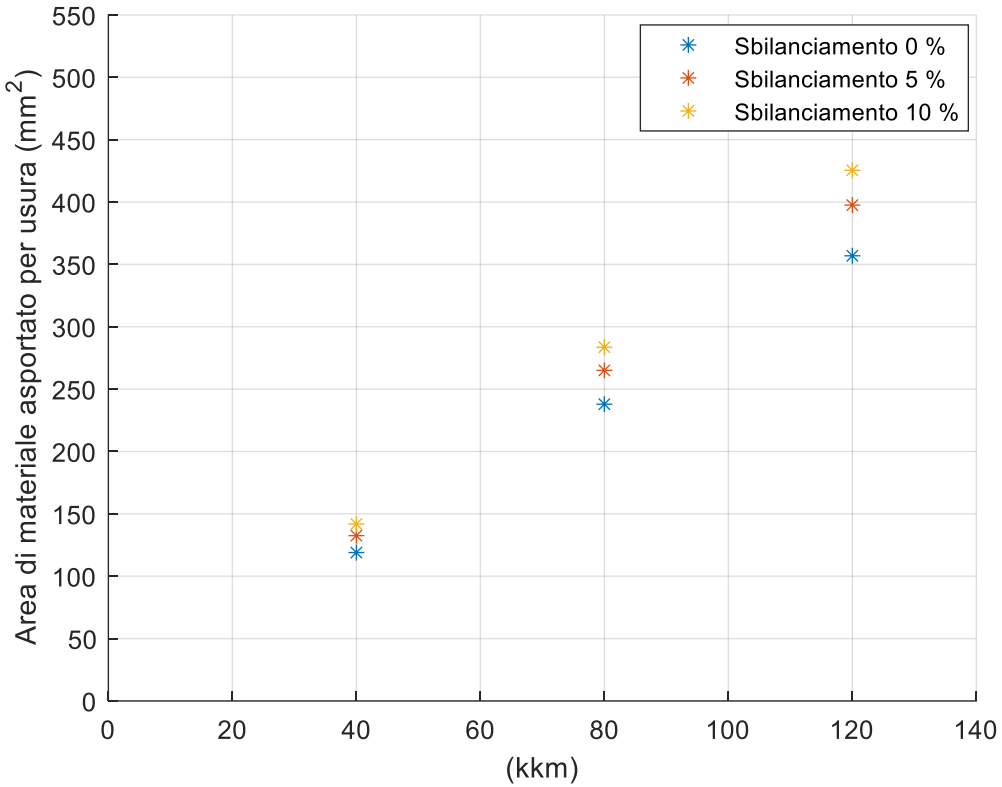
Output simulazione dinamica veicolo

↓

Algoritmo di stima dell'usura

↓

Indici di usura



Incremento dell'area di materiale asportato per usura

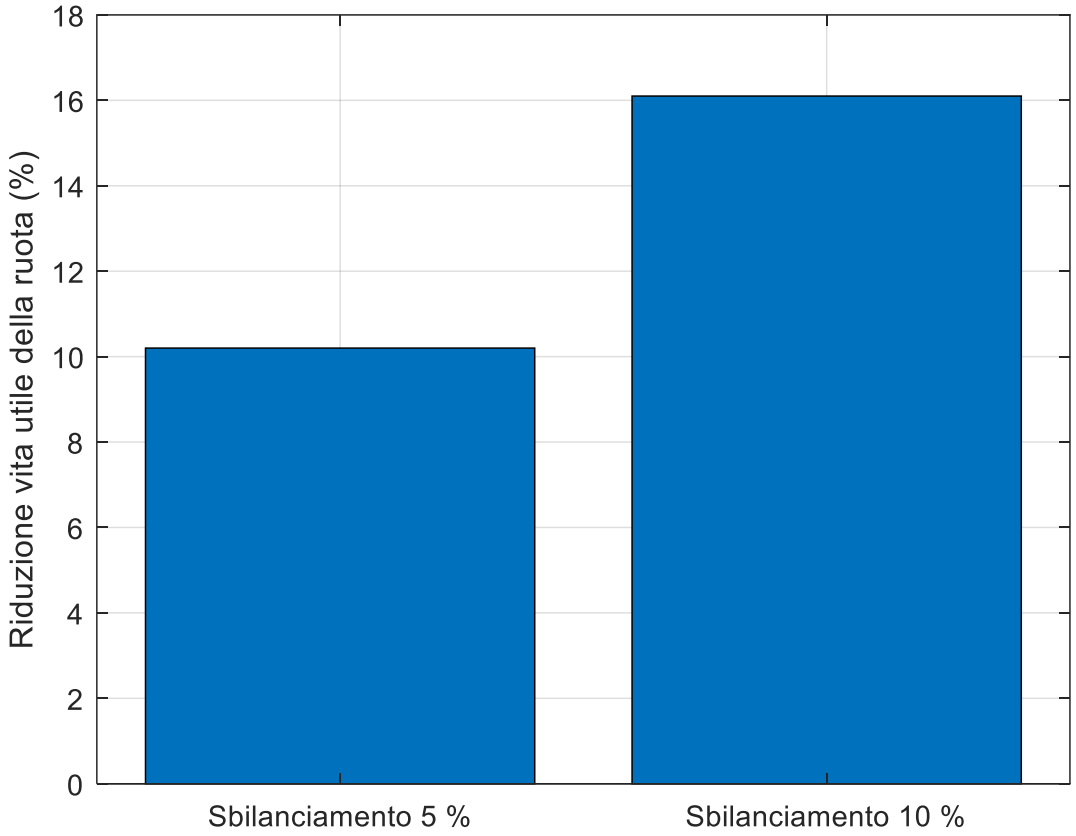
Sbilanciamento 5 %:

<u>11,3 %</u>

Sbilanciamento 10 %:

<u>19,3 %</u>

Riduzione vita utile della ruota per effetto dello sbilanciamento



Sviluppi futuri

Sviluppi futuri

Classificazione delle tipologie di usura attraverso misure dei profili ruota

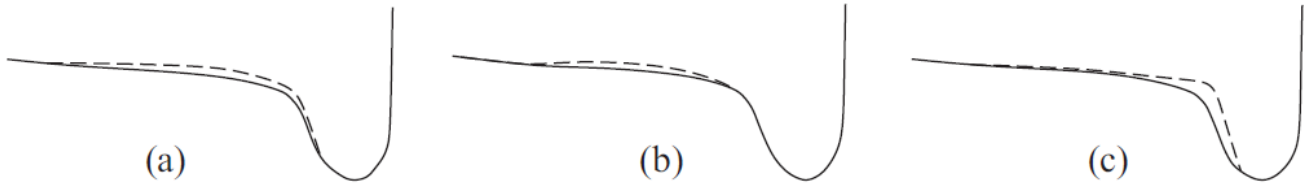
Analisi delle correlazioni tra indicatori di usura rilevati e misure di forze verticali per ruota

Studio delle possibili cause di squilibrio del carico verticale statico per ruota

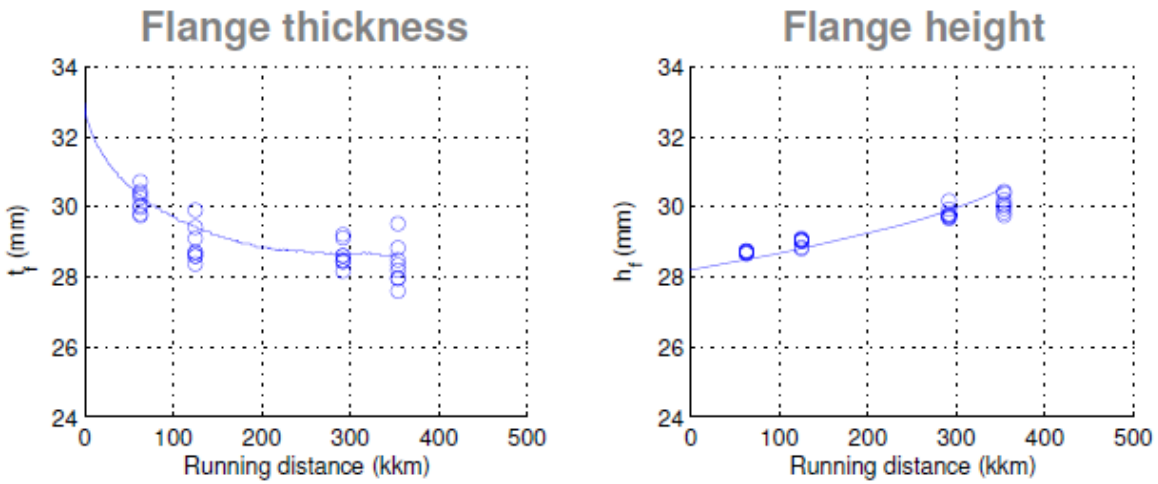
Sviluppo di algoritmi a supporto della manutenzione: modellazione fisica del veicolo e machine learning

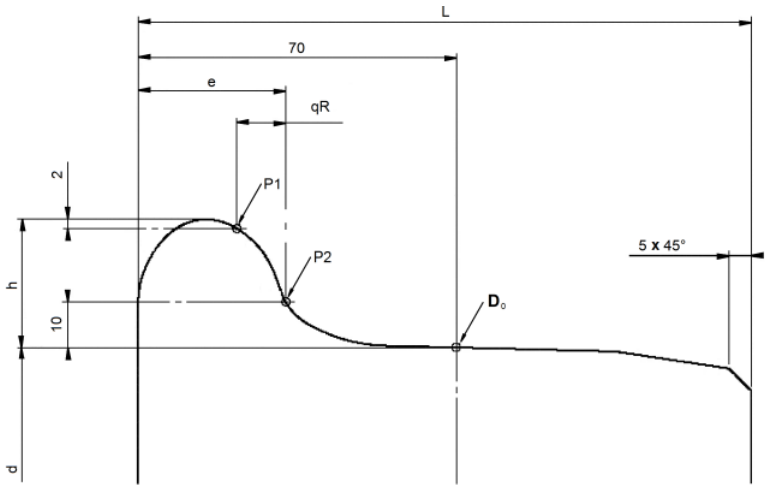
Sviluppi futuri

Classificazione delle tipologie di usura attraverso misure dei profili ruota e correlazione con squilibri misurati



(a) evenly distributed wear on the tread and flange, (b) mainly tread wear and (c) mainly flange wear





Key

d wheel diameter
D_0 location of the wheel tread, 70 mm from its internal face
h flange height
L rim nominal width
e flange thickness
qR flange angle dimension between P1 and P2
5 x 45° Nominal chamfer

EN 15313

Applicazioni ferroviarie - Requisiti per l'impiego in esercizio delle sale montate - Manutenzione delle sale montate in esercizio e fuori opera

Sviluppi futuri

Studio delle possibili cause di squilibrio del carico verticale statico per ruota

Proprietà inerziali non uniformemente distribuite

Degrado delle sospensioni primarie

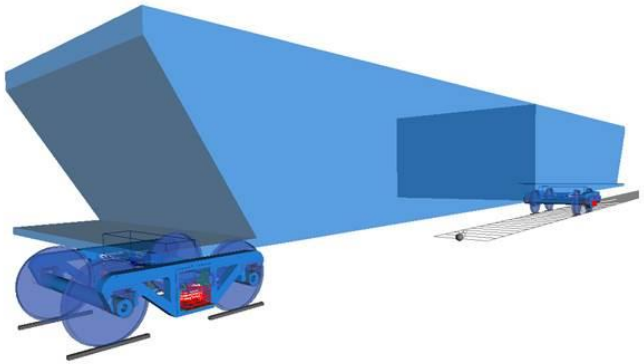
Fenomeni dissipativi

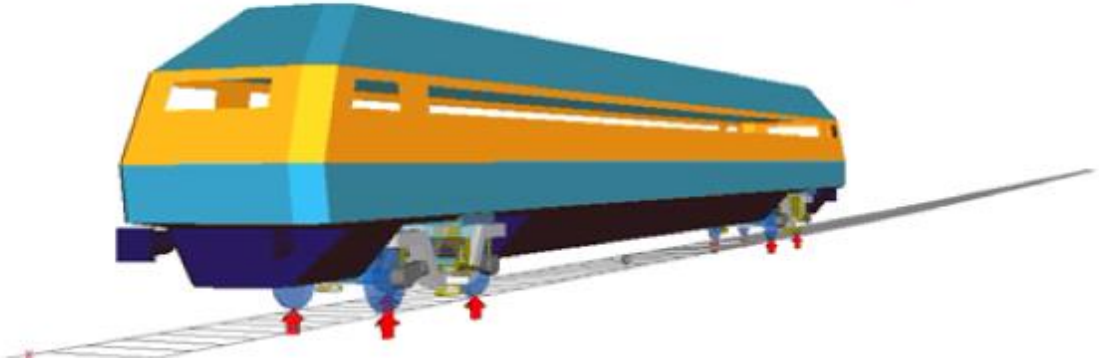
Imperfezioni geometriche del telaio carrello e delle sale

Problematiche relative alle sospensioni secondarie

Sviluppi futuri

Sviluppo di algoritmi a supporto della manutenzione: modellazione fisica del veicolo e machine learning





Grazie per l’attenzione