



La distribuzione del peso sulle ruote di un carrello ferroviario: impatto sulla sicurezza e sull'esercizio ferroviario (G. Mannara, S. Strano)

VI Convegno Nazionale SEF, 7 Novembre 2024

*SICUREZZA ED ESERCIZIO FERROVIARIO:
INNOVAZIONI E OPPORTUNITÀ*

Sala e Saletta del Chiostro Facoltà di Ingegneria Civile e Industriale Sapienza -
Università di Roma Via Eudossiana, 18 - 00184 Roma



**DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA
INDUSTRIALE**

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

Sommario



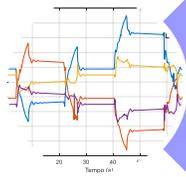
Introduzione e contesto normativo



Caratteristiche strumentazione sul mercato



Il sistema POWERVE[®]



Concetti base di Digital twin di dinamica del
veicolo ferroviario

Inquadramento normativo

Regolamento (UE) n. 1302/2014, STI LOC&PAS

Specifiche per i rotabili per poter essere operabili sull'intera rete Europea

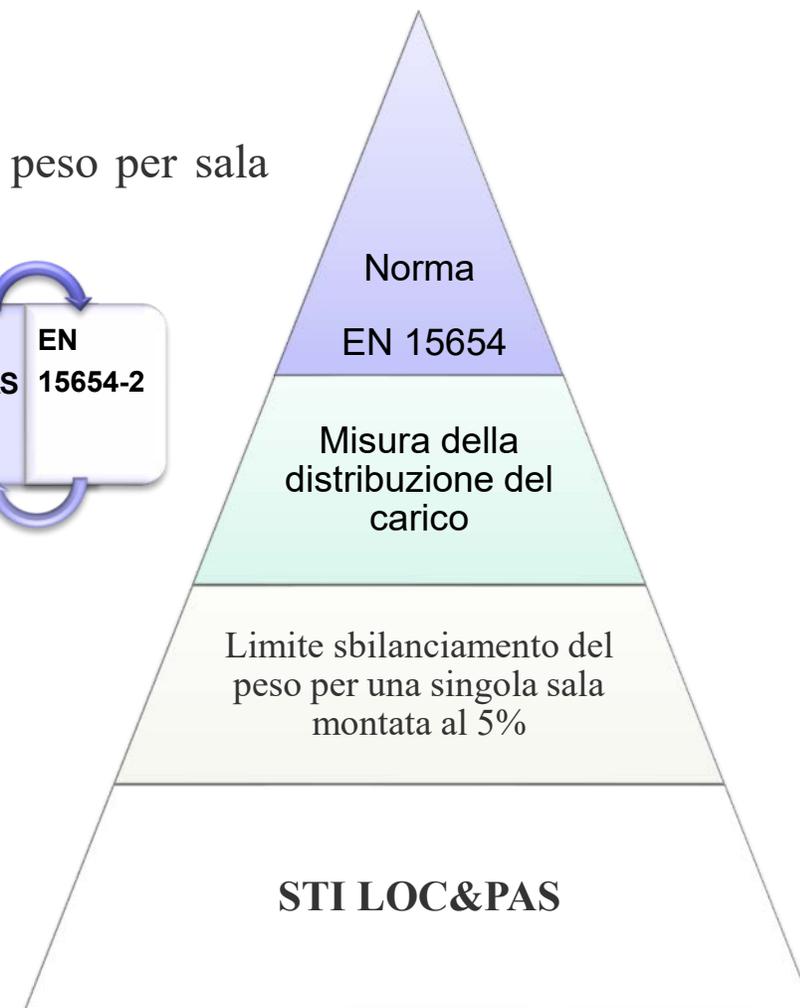
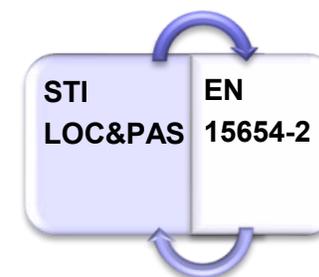
- Al §4.2.3.2.2. Carico per ruota, si stabilisce il massimo sbilanciamento del peso per sala montata:

$$\Delta q_j = | (Q_l - Q_r) | / (Q_l + Q_r) < 5\%$$

Nasce la necessità di misurare la distribuzione della forza peso durante:

- il processo di omologazione della testa di serie;*
- la produzione della serie;*
- la manutenzione.*

- Nella misura della distribuzione del peso, l'utilizzo di sensoristica molto accurata è solo un presupposto per ottenere un buon risultato.
- E' necessario eseguire le misure in conformità alle indicazioni dell'apposita norma EN 15654 Applicazioni ferroviarie Misurazione delle forze verticali su ruote e sale montate



La norma EN 15654

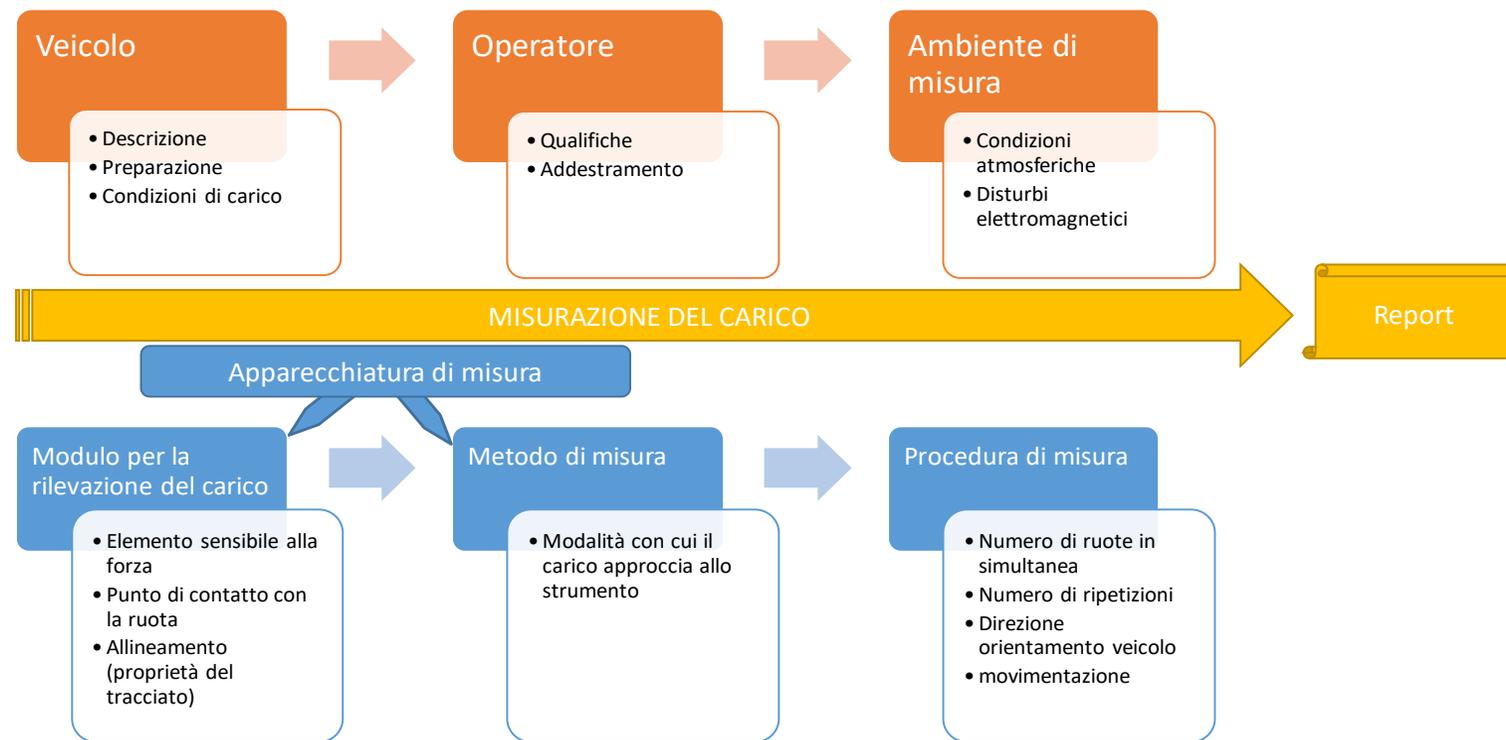
La norma EN 15654 si colloca come riferimento nell'attività di pesatura.

Le parti 1 e 3 sono riferite ai Siti di misurazione in linea per veicoli in servizio (pesatura dinamica)

La parte 2, **Prove in officina per veicoli nuovi, modificati e sottoposti a manutenzione**, è rivolta a prove in officina (pesatura in condizioni statiche)

La EN-15654-2 fornisce indicazioni relative ai componenti dell'intero processo di misura in termini di:

- Stato del veicolo;
- Caratteristiche del binario;
- Operatore;
- Condizioni ambientali;
- Procedura di misura;
- Sistema di misura;
 - strumento di misura;
 - metodologia di misura;
- *Rappresentazione dei risultati e report di misura.*



Tecnologie presenti sul mercato

Lo sviluppo tecnologico degli ultimi anni consente di eseguire la misurazione anche al di fuori solo di porzioni di binario opportunamente attrezzate con sistemi di pesa fissi.



Principali caratteristiche di un sistema di misura di peso di un veicolo ferroviario

Tipologia generale del sistema di misura	Installazione (tempi)	Esecuzione (tempi)	Vincoli operativi	Ripetibilità (tipica)	Accuratezza (tipica)	Conformità alla Norma (EN 15654-2)
<input type="checkbox"/> Sistemi portatili a mano	<input checked="" type="checkbox"/> 10 minuti	<input checked="" type="checkbox"/> 10 minuti	<input checked="" type="checkbox"/> Nessuno*	<input checked="" type="checkbox"/> Molto elevata	<input checked="" type="checkbox"/> Elevata	<input checked="" type="checkbox"/> Sì
<input checked="" type="checkbox"/> Sistemi trasportabili	<input checked="" type="checkbox"/> Alcune ore	<input checked="" type="checkbox"/> 2-3 minuti	<input checked="" type="checkbox"/> Binario pari lunghezza rot.	<input checked="" type="checkbox"/> Bassa	<input checked="" type="checkbox"/> Bassa	<input checked="" type="checkbox"/> No
<input type="checkbox"/> Pese fisse sul tracciato	<input type="checkbox"/> Settimane	<input type="checkbox"/> Tempo di transito	<input type="checkbox"/> Spazio di fianco al binario	<input type="checkbox"/> Variabile da sito e tarature*	<input type="checkbox"/> Bassa	<input type="checkbox"/> No
<input type="checkbox"/> Pese fisse in aree dedicate	<input type="checkbox"/> Settimane	<input type="checkbox"/> 2-3 minuti (a carrello)	<input type="checkbox"/> Area dedicata	<input type="checkbox"/> Molto elevata	<input type="checkbox"/> Elevata	<input type="checkbox"/> Sì/No

Un Sistema portatile: POWERVE[®]

Il prodotto POWERVE della IVM è un sistema di misura in cui ciascuna ruota di un carrello si adagia su due celle di carico poggiate direttamente sulla rotaia

- Completamente portatile
- Rapida installazione ed utilizzo
- Sensori ad elevate prestazioni
- Misure verificate in campo con carrelli campione e pese fisse certificate
- Certificato nella prestazione e nel processo rispetto alla norma EN-15654



Celle di carico
in dotazione
POWERVE

- Classe 1 ISO 376
- Custom design



Conformità alla
15654-2

- Errore sul peso totale <0.5%
- Errore sul peso elemento <0.5%*

La problematica manutentiva

- La corretta distribuzione statica del carico verticale sulle singole ruote di un veicolo ferroviario è di fondamentale importanza nei riguardi della sicurezza di marcia (Y/Q) e per la dinamica di interazione ruota/rotaia impattando anche sulla vita utile delle ruote.
- Non è insolito imbattersi in valori di sbilanciamento superiori a quanto imposto dalle norme



$$\Delta q_j = | (Q_l - Q_r) | / (Q_l + Q_r) < 5\%$$

Da statistica delle esperienze di misura condotte con il sistema di misura POWERVE in ambito europeo

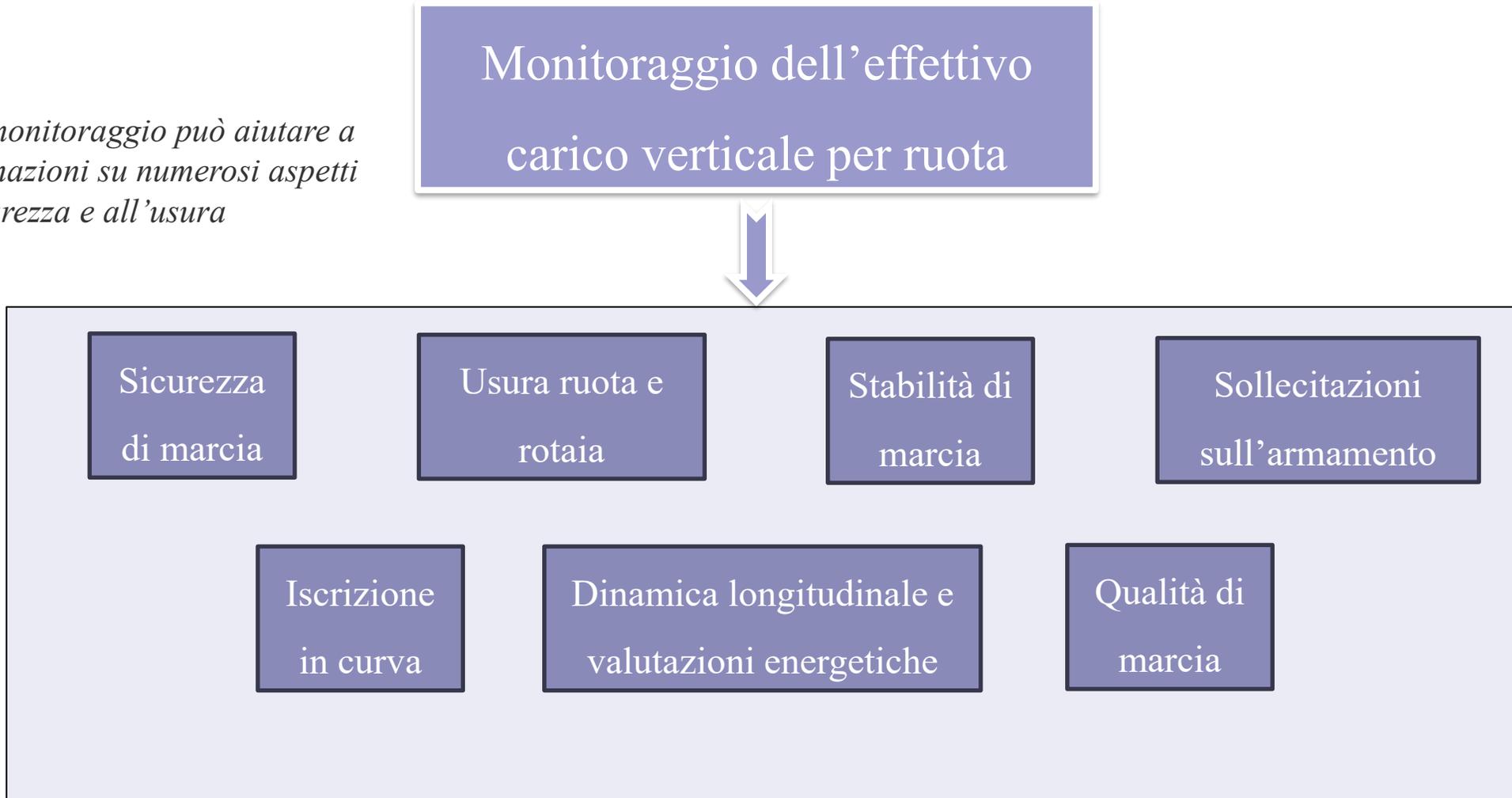


Tipologico	Periodo	Treni	n° Wheelset Misurati	n° Wheelset Sbilanciati >5% (>8%)	n° Diagonali Sbilanciate >3%
Treni Passeggeri Europei	2020/2021	13	52,00	23 (5)	12,00
Treni Regionali	2020/2021	17	68,00	44 (25)	11,00
Treni Alta Velocità	2020/2021	9	36,00	19 (4)	3,00

In tabella si tiene conto anche dello sbilanciamento delle diagonale, indizio di rigidzze delle sospensioni primarie non uniformi

L'importanza del monitoraggio

Un adeguato monitoraggio può aiutare a reperire informazioni su numerosi aspetti legati alla sicurezza e all'usura

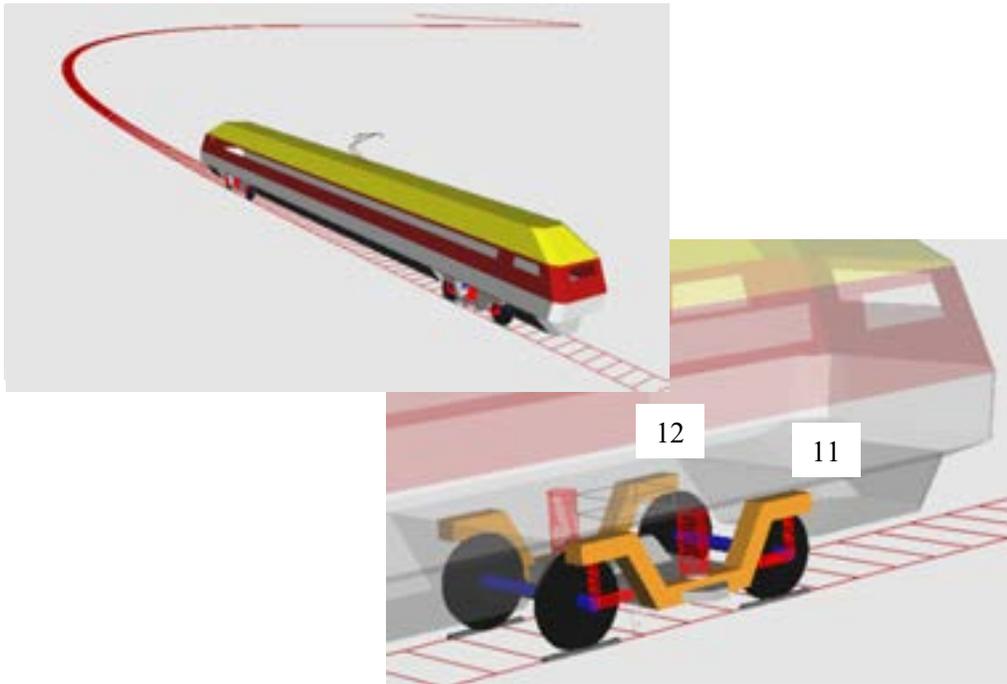


Valutazioni con simulazioni numeriche dell'impatto dello sbilanciamento

Nella letteratura dell'interazione ruota – rotaia vengono descritti diversi modelli d'usura

- Modellazione multibody del veicolo con il software SIMPACK Rail
- Simulazione dinamica per tre condizioni di sbilanciamento della sala 1:

Digital twin di
dinamica del veicolo
ferroviario



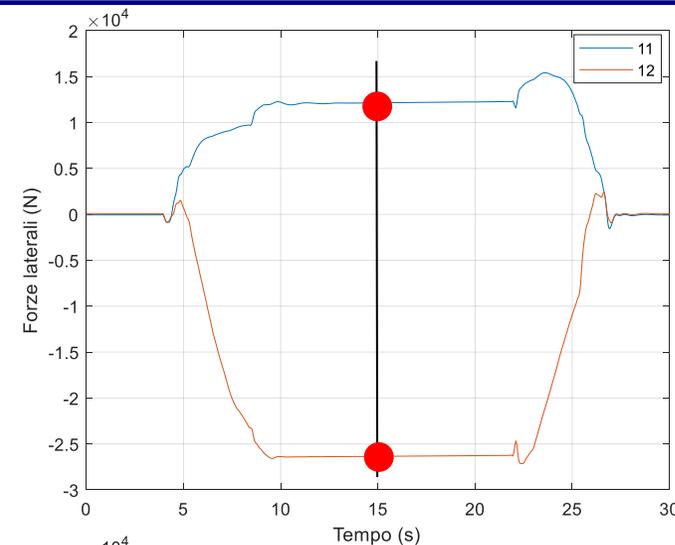
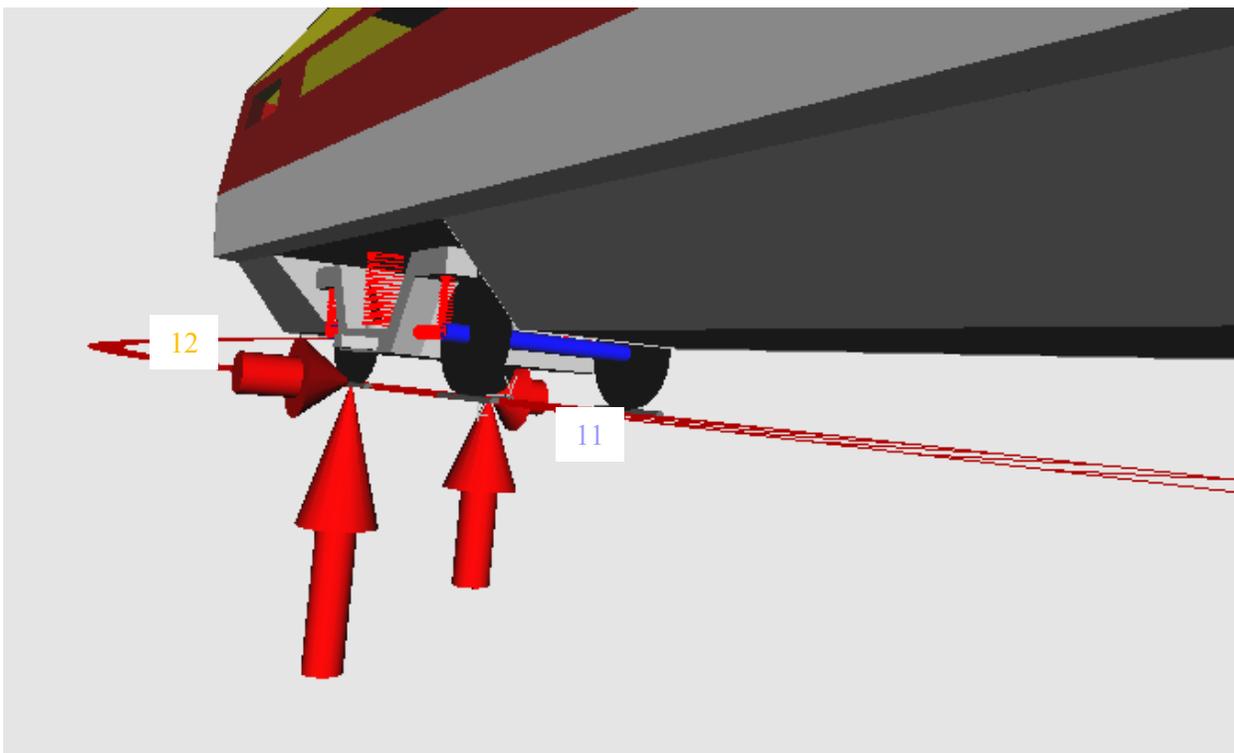
- Veicolo composto da una cassa e due carrelli
- Velocità di avanzamento: 80 km/h
- Tracciato ad S ($R = 300$ m)

Simulazione dinamica per tre condizioni di sbilanciamento della sala 1:

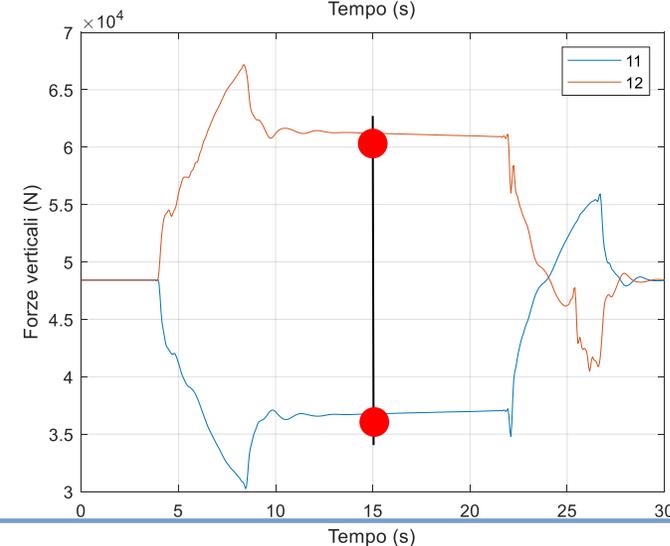
0%, 5 %, 10 %

I parametri controllati dalla simulazione

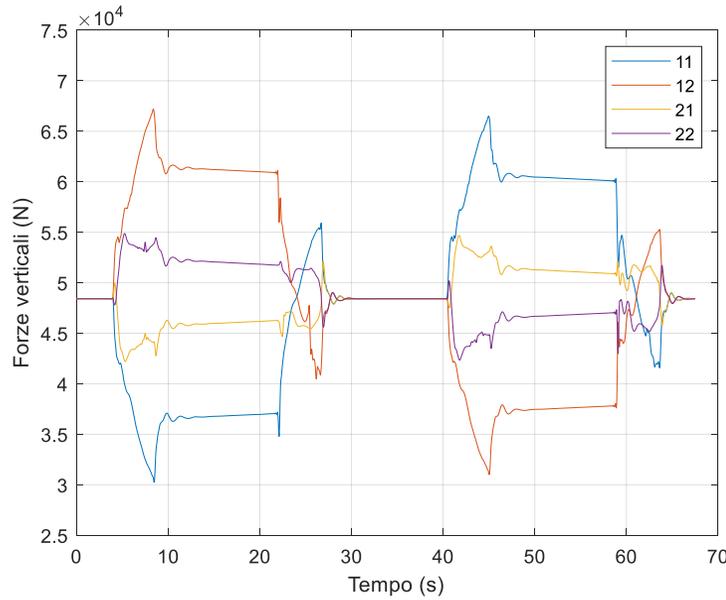
Visualizzazione delle forze laterali e verticali in curva



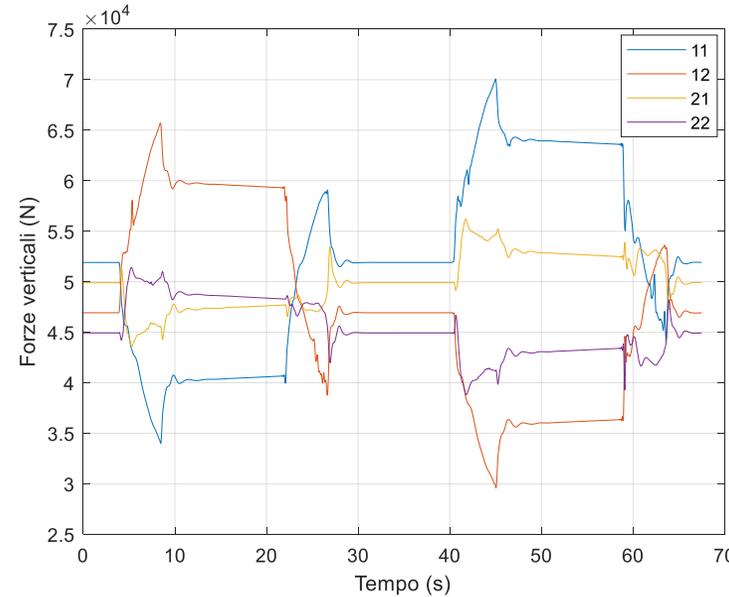
Ruote del primo asse nel verso di marcia



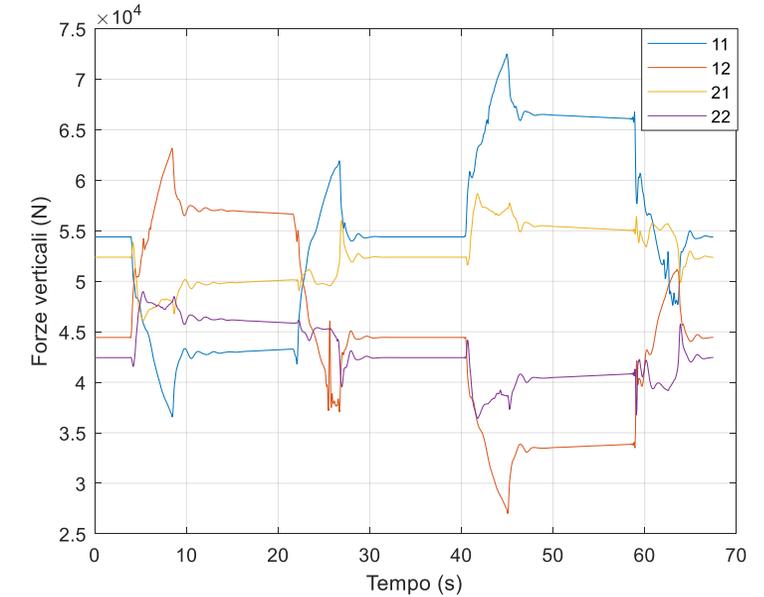
Simulazione



Sbilanciamento 0 %



Sbilanciamento 5 %



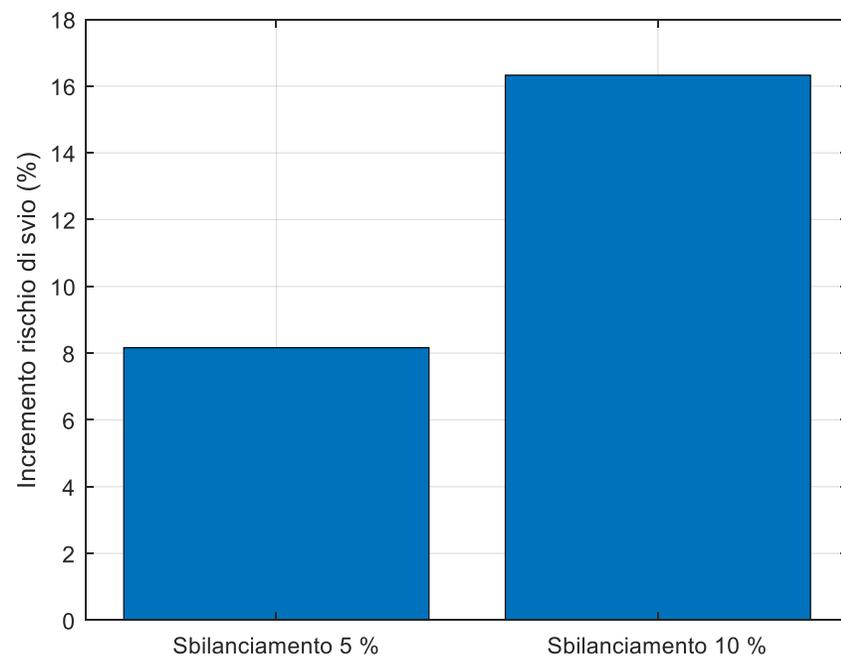
Sbilanciamento 10 %

Soltanto in assenza di sbilanciamento
c'è simmetria sulle due curve della S
del tracciato simulato

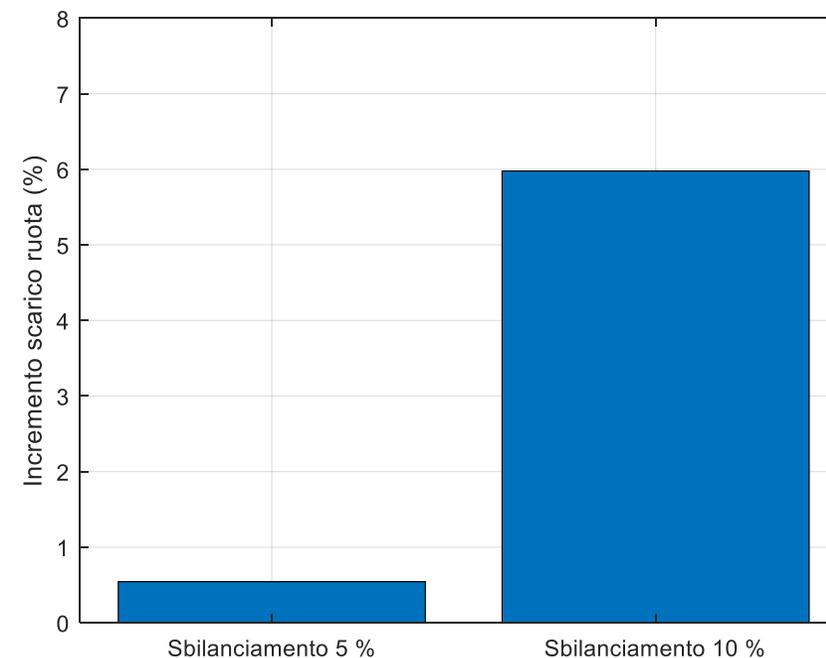
Un incremento di sbilanciamento
comporta un incremento delle forze

Conseguenze dello sbilanciamento sulla sicurezza

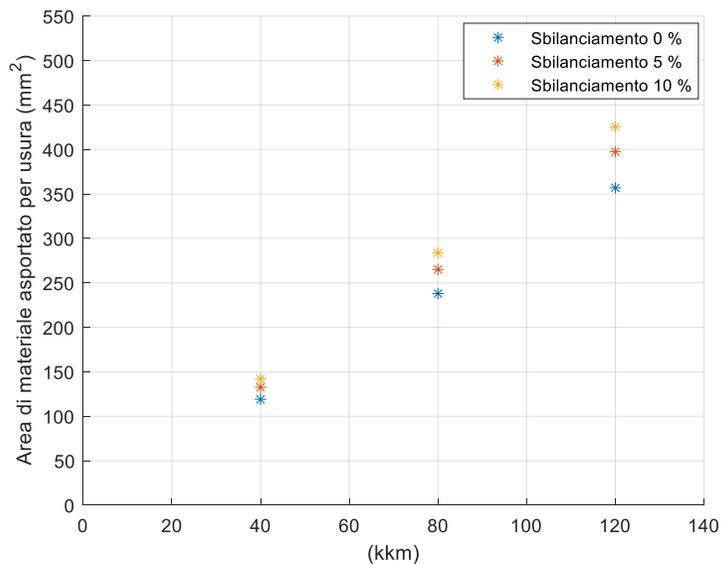
Sintesi indice di svio Y/Q



Fattore di scarico ruota $\Delta Q/Q_0$



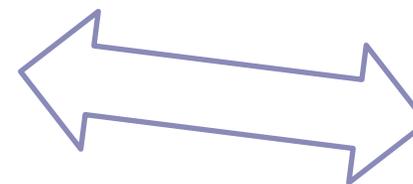
Conseguenze dello sbilanciamento sull'usura



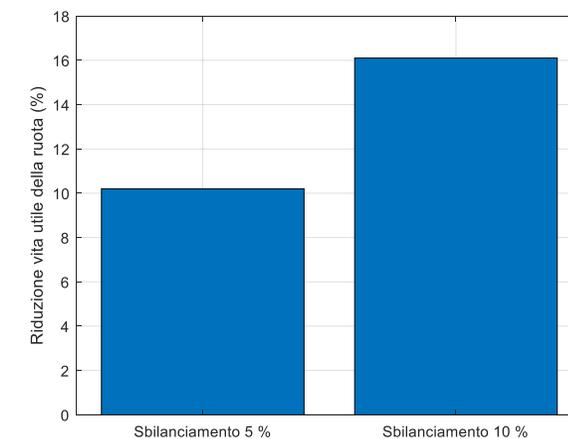
Incremento dell'area di materiale asportato per usura

Sbilanciamento 5 %:
11,3 %

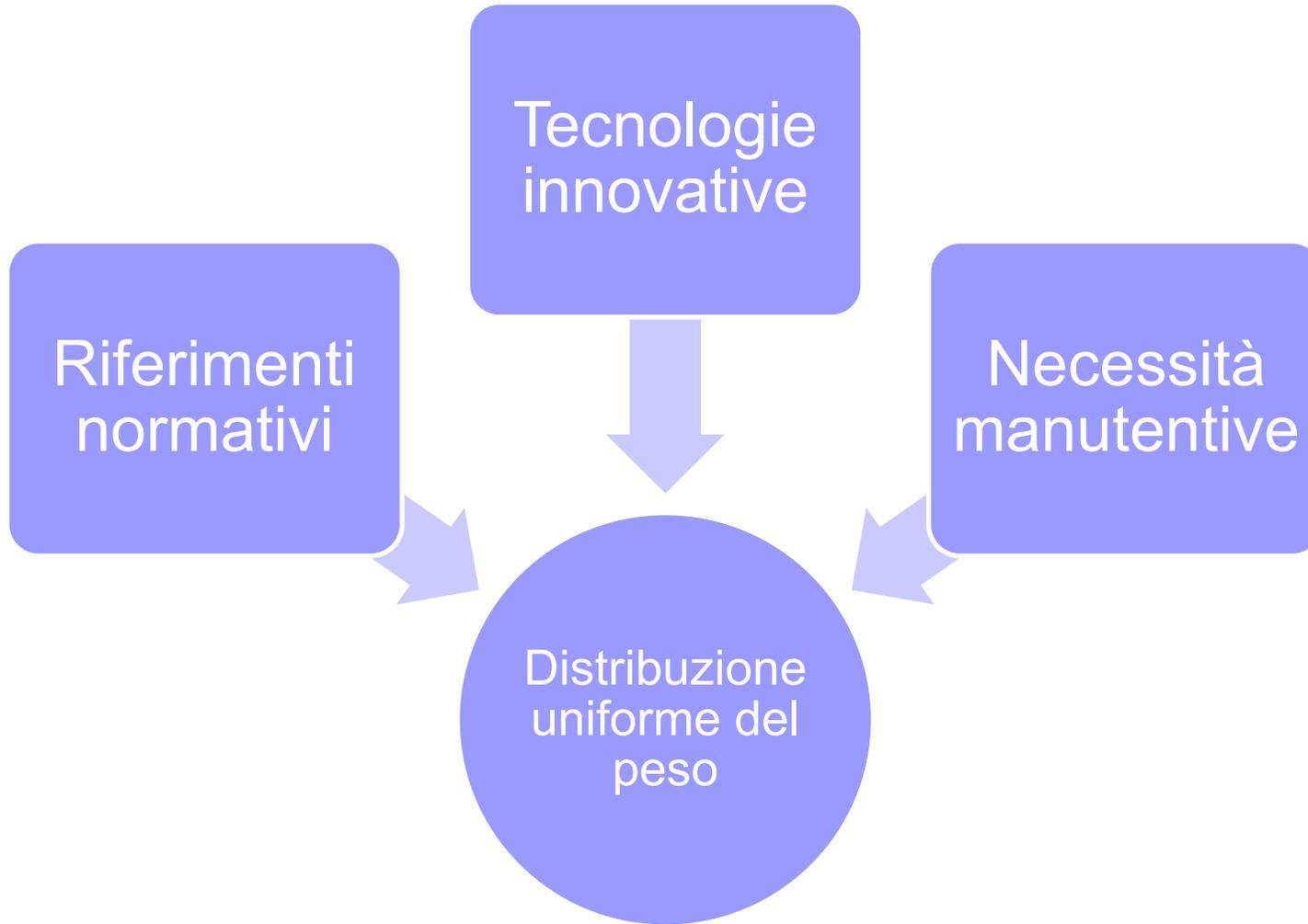
Sbilanciamento 10 %:
19,3 %



Riduzione vita utile della ruota per effetto dello sbilanciamento



Conclusioni



- *L'uniforme distribuzione del peso sulle ruote di un carrello ferroviario è un parametro verso il quale si pone sempre maggiore attenzione per aumentare ulteriormente la sicurezza di esercizio*
- *Si va verso l'introduzione nei cicli manutentivi del carrello della verifica della distribuzione del peso come fase operativa di tipo on condition*
- *Benefici attesi oltre che per l'incremento di sicurezza anche per i costi di esercizio del rotabile e dell'infrastruttura binario.*