

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

**«Sistemi di frenatura ausiliaria a  
correnti indotte nei veicoli ferroviari»**

Tutor universitario:

Prof. Andrea Tortella

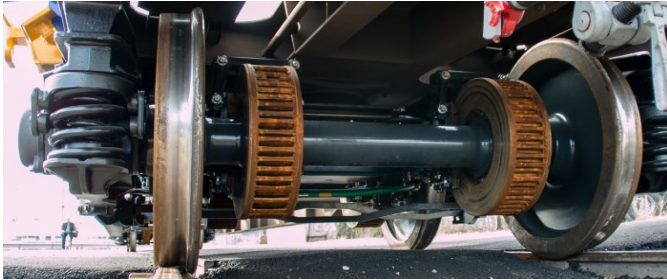
Laureando:

Paolo D'Allotta (n.matricola 1216888)

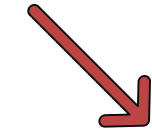
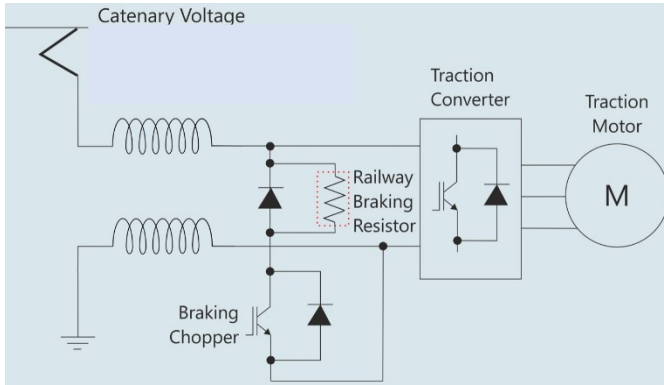
Padova, 19/09/2022

SISTEMI DI FRENATURA PRINCIPALI

**Frenatura meccanica**



**Frenatura elettrica**

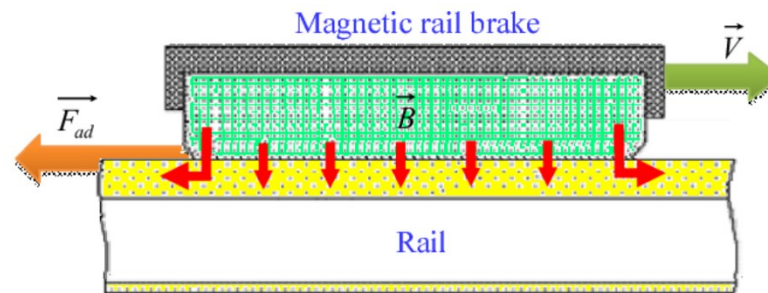


**Frenatura reostatica**

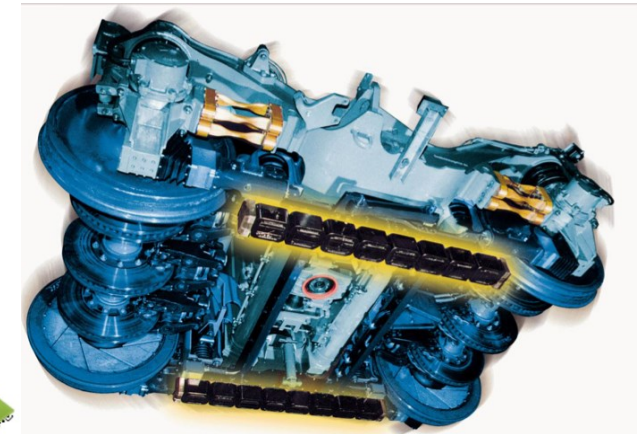
**Frenatura rigenerativa**

SISTEMI DI FRENATURA AUSILIARIA / DI EMERGENZA

**Frenatura elettromagnetica  
(freno a pattino magnetico)**

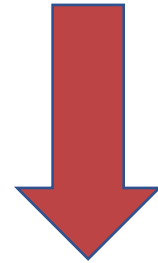


**Frenatura elettrodinamica  
a correnti indotte  
(ECB)**



- *Frenatura senza contatto*
- *Diminuzione spazio frenata*
- *Riduzione inquinamento acustico*
- *Assenza dell'usura dei componenti*

*Analisi e confronto tra i diversi sistemi di frenatura a correnti indotte.*



**LIM/DC eddy current brake**

*Approfondimento dei vantaggi e svantaggi nella reale applicazione dei diversi impianti di frenatura.*



**Sistema di frenatura  
ausiliaria/principale**

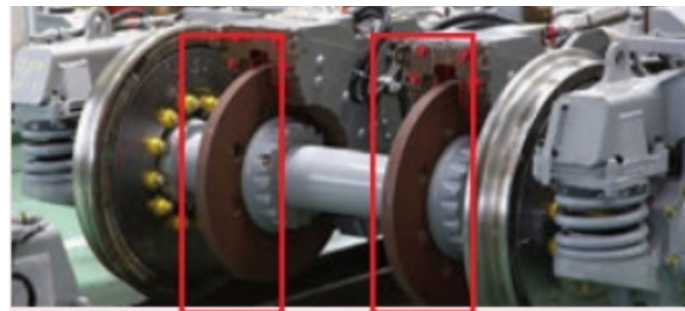
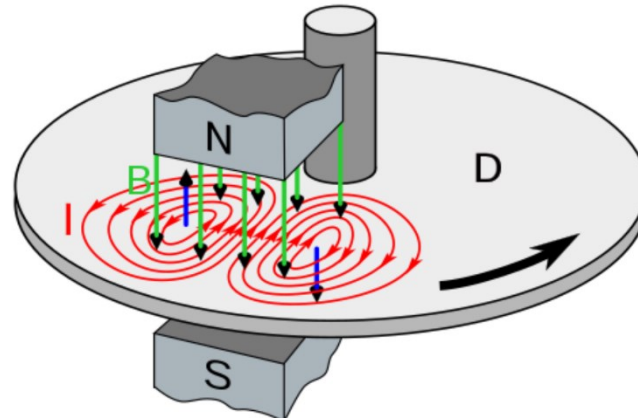
## PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

- Legge Faraday Lenz

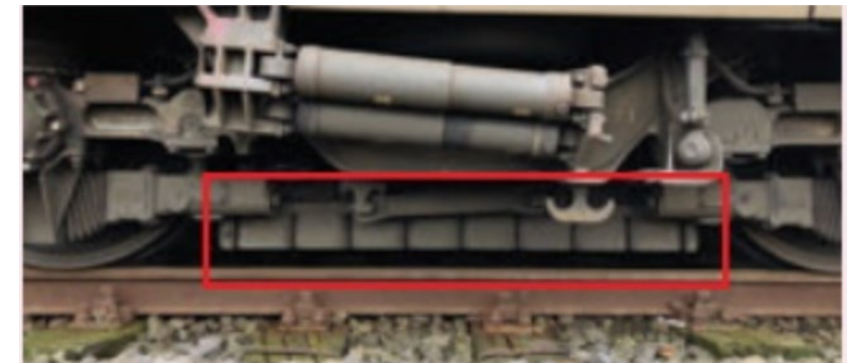
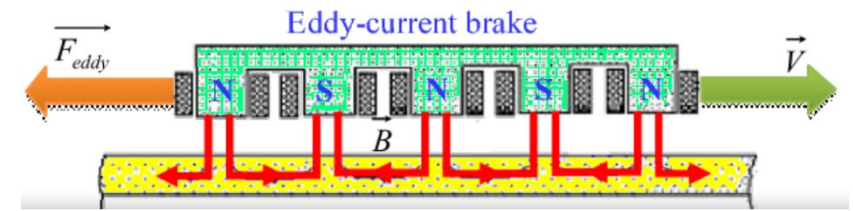
$$\varepsilon = \frac{-d\Phi(B)}{dt}$$

- Generazione correnti indotte, Forza opposta alla direzione del moto

$$F = iL \times B$$

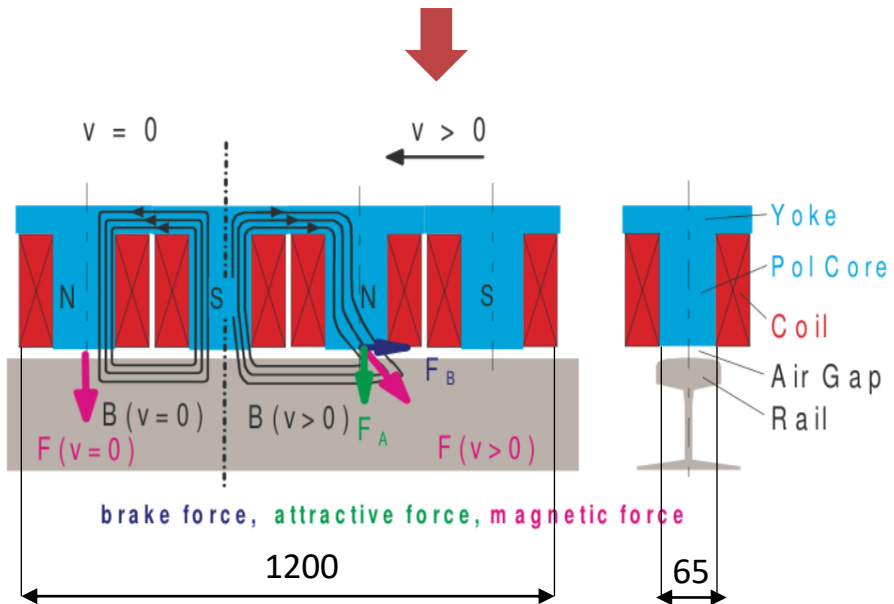
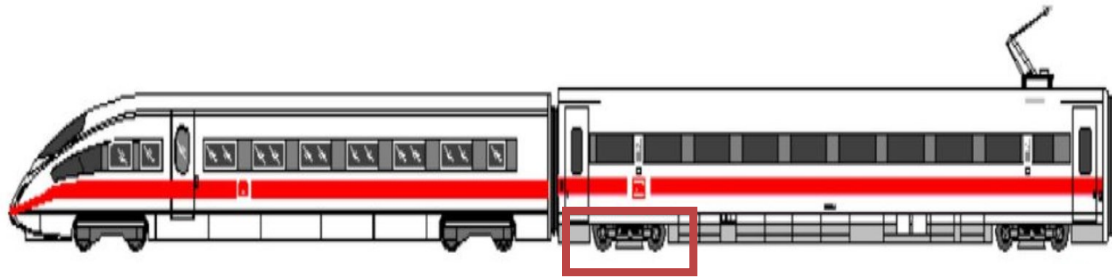


Freno a correnti indotte a simmetria rotante



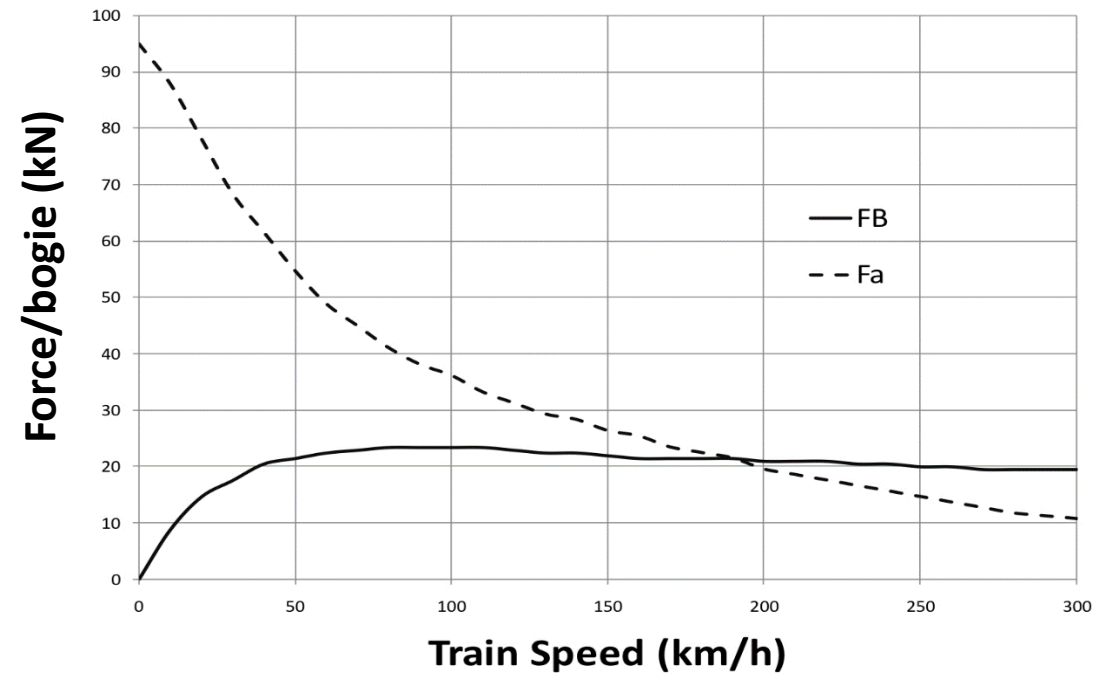
Freno a correnti indotte lineare

## COMPOSIZIONE



## FORZE IN GIOCO

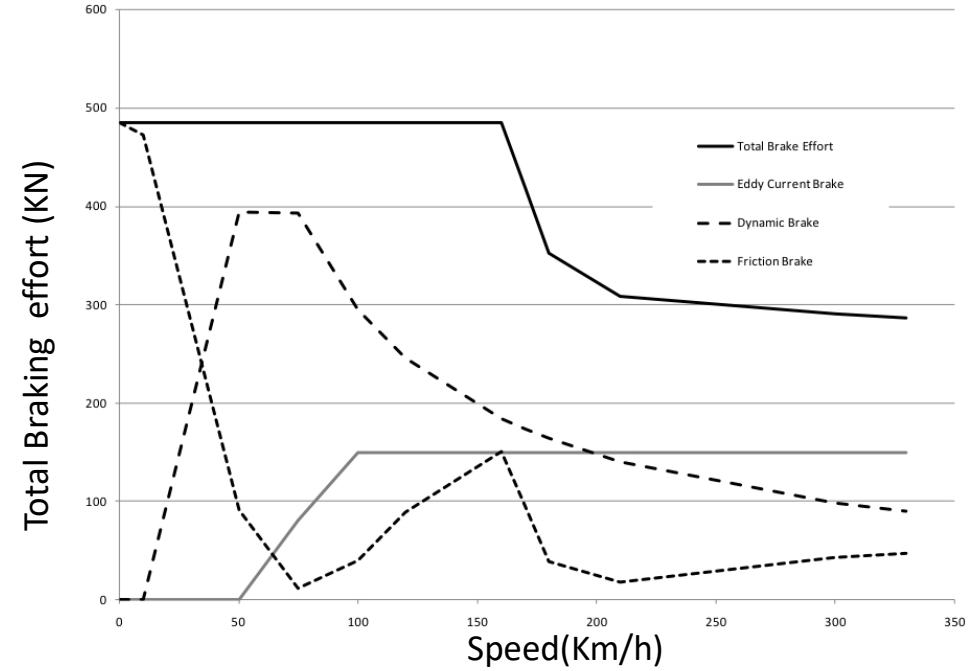
- Forza longitudinale, Forza Frenante
- Forza trasversale, Forza attrattiva



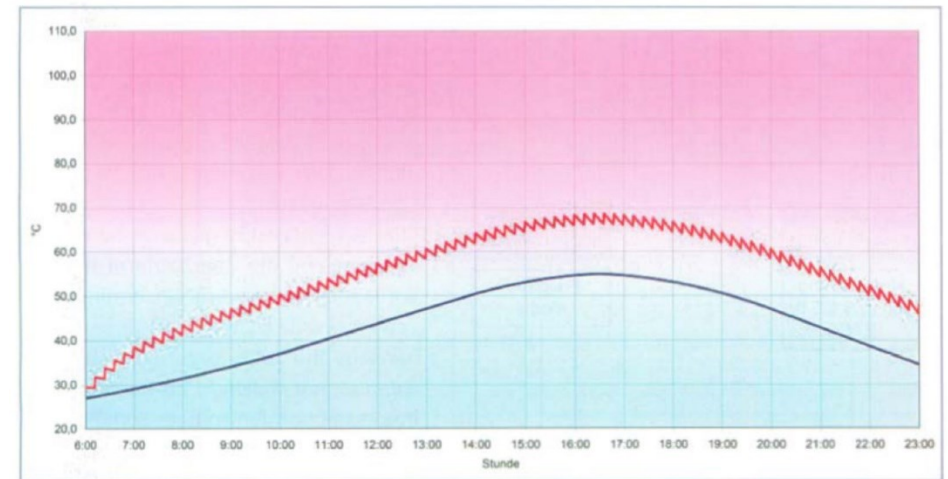
## PROBLEMATICHE PRINCIPALI

- Forza frenante ad elevate velocità
- Fonte di eccitazione esterna
- Aumento del carico sull'asse della ruota
- Compatibilità elettromagnetica con il sistema di segnalazione e rilevamento dei treni
- Riscaldamento rotaia

*Frenatura di emergenza  
(ICE3)*



Rappresentazione delle diverse forze frenanti

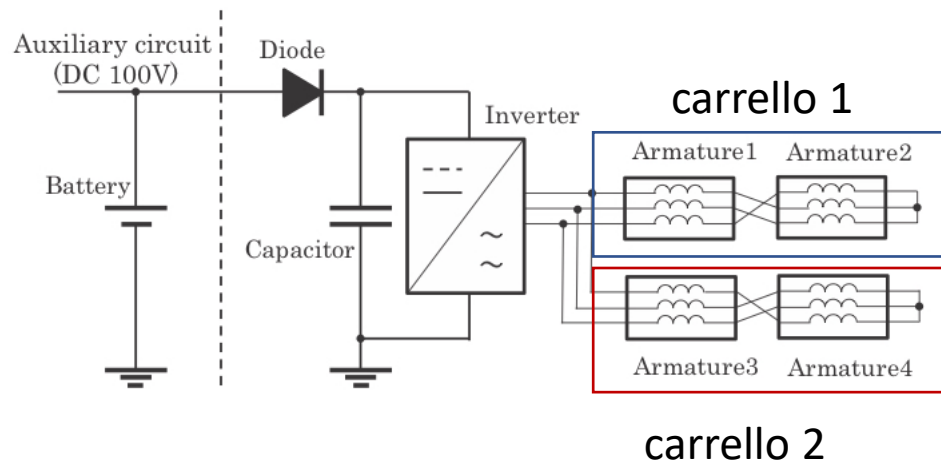
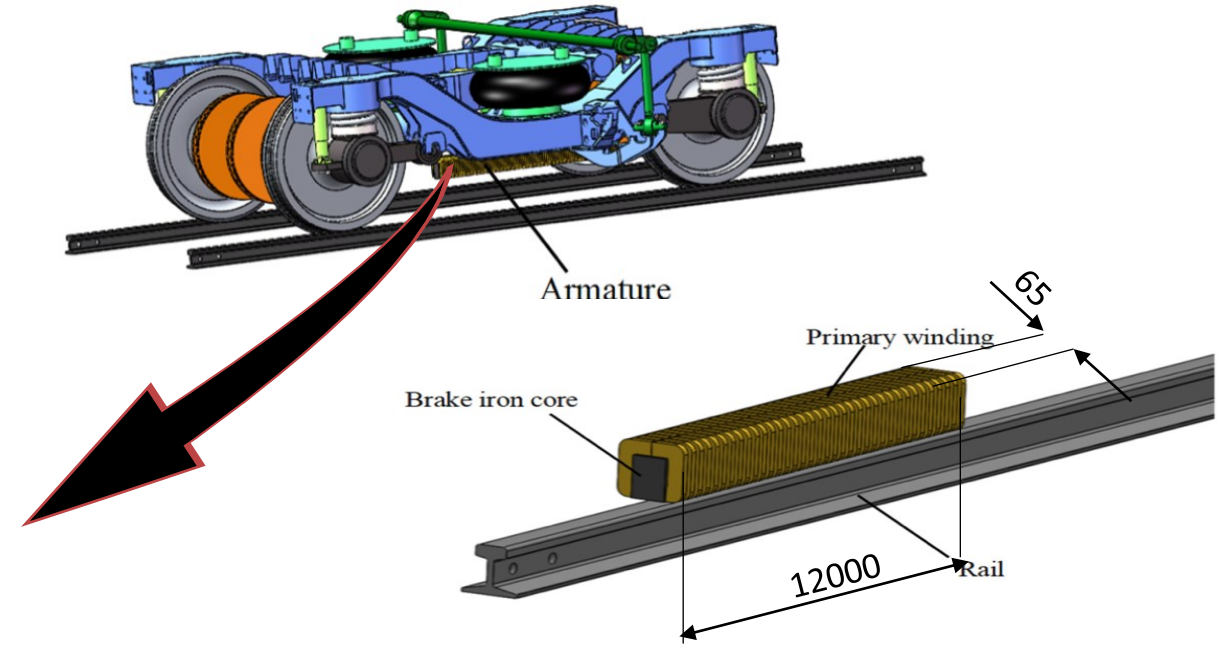


Riscaldamento rotaia per il passaggio di 5 treni l'ora

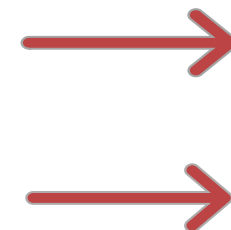
**OBIETTIVI**

- Autoeccitazione
- Riduzione riscaldamento Rotaia
- Forza frenante senza contatto
- Recupero energia quando è possibile per ricaricare sorgenti di bordo

**COMPOSIZIONE**

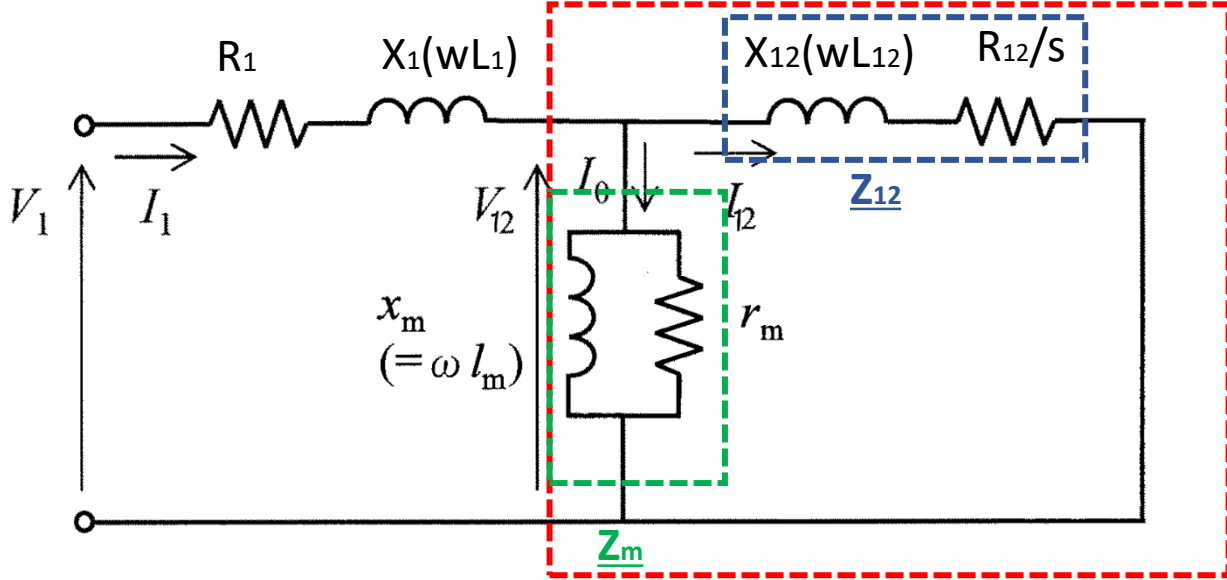


*In base alla  
frequenza di  
eccitazione*

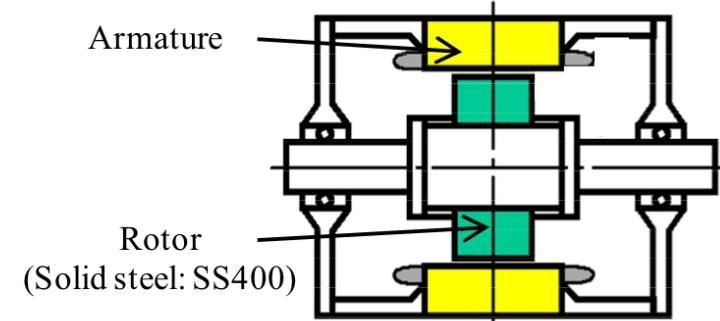


*Recupero energia per ricaricare  
sorgenti di bordo*

*Frenatura Dinamica in assenza di  
potenza elettrica generata*



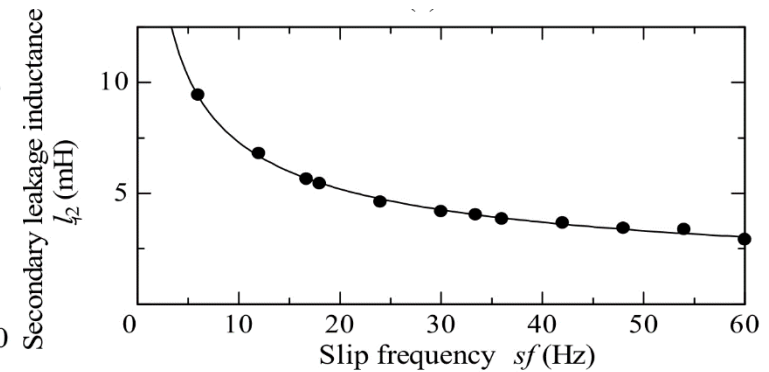
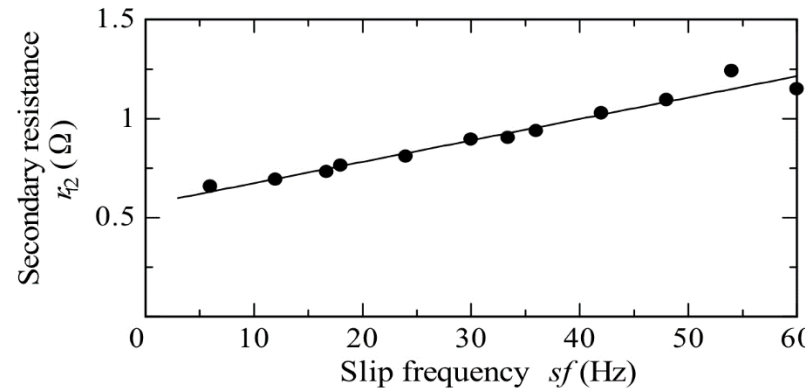
Versione equivalente rotante



Number of poles	4
Rated output	255 kW (before remodeling)
Inner diameter of stator	270 mm
Mechanical clearance	:5mm
Rotor width	65 mm

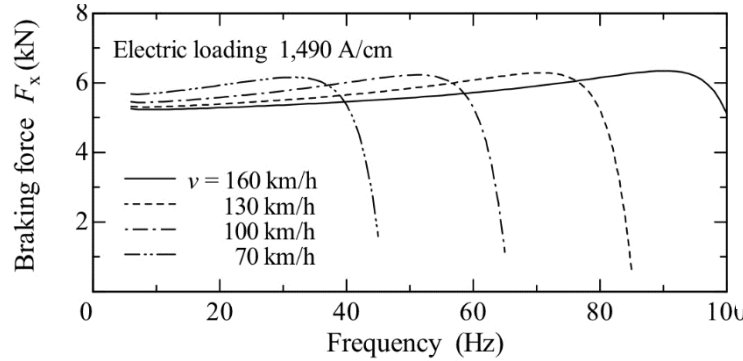
- Utilizzo circuito equivalente non semplificato
- Prova a Rotore sfilato per la determinazione di R1 ed X1
- Prova al sincronismo per determinare rm ed Xm
- Prova a carico per determinare R12 ed X12
- R12 ed L12 dipendono dalla frequenza di scorrimento

**Z12e**

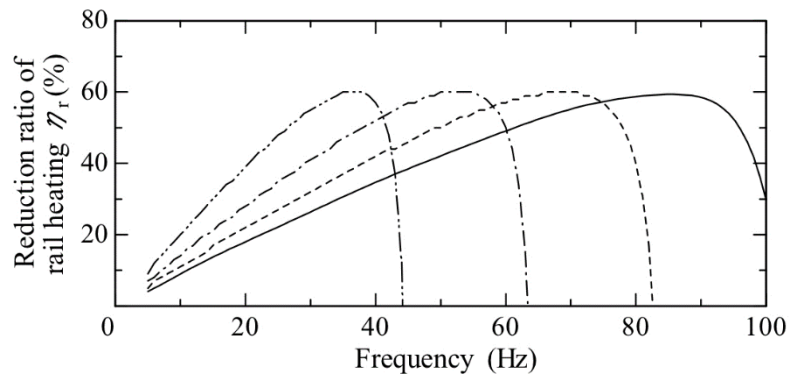




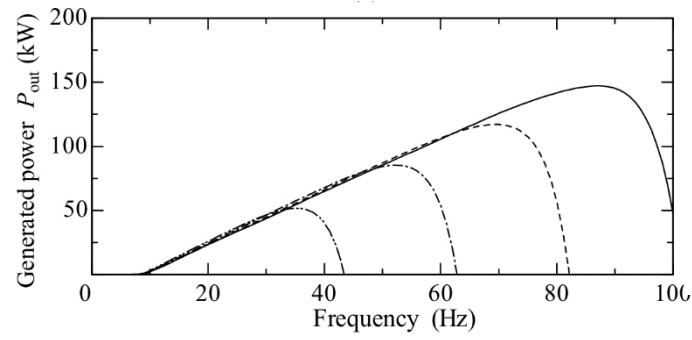
- Le prestazioni di frenata del freno LIM sono state stimate usando il circuito equivalente derivato dalla virtuale apertura e srotolamento della macchina di prova
- Date le diverse dimensioni di questa « nuova macchina di prova » e del freno reale LIM , le impedenze sono state moltiplicate per un coefficiente  $k$ , rapporto lunghezza armatura:  $Z_{12}' = kZ_{12}$   
 $Z_{12}e' = kZ_{12}e'$



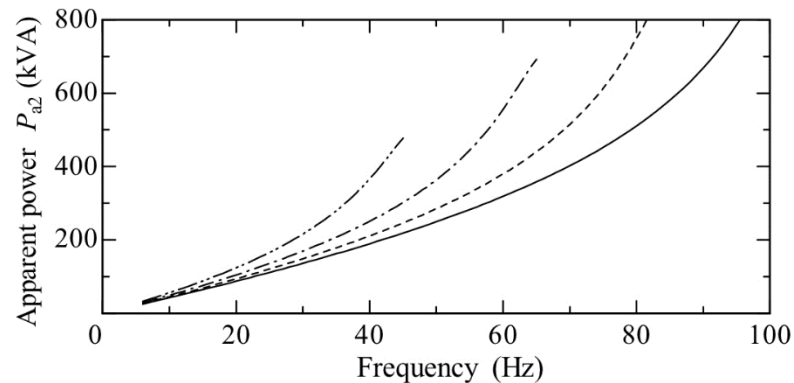
$$F_x = \frac{3 \cdot (1-s) k r_2 I_1^2}{s v} \cdot \left| \frac{Z'_{42e}}{Z'_{42}} \right|^2$$



$$\eta_r = \frac{s}{(1-s)} \cdot \frac{\text{Re}[Z'_{42e}]}{r_2} \cdot \left| \frac{Z'_{42}}{Z'_{42e}} \right|^2$$

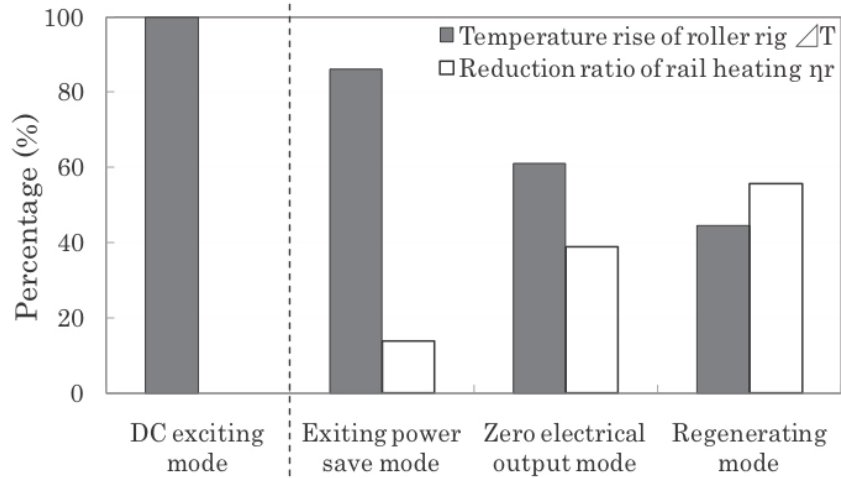


$$P_{out} = -3 I_1^2 (k r_1 + \text{Re}[Z'_{42e}])$$



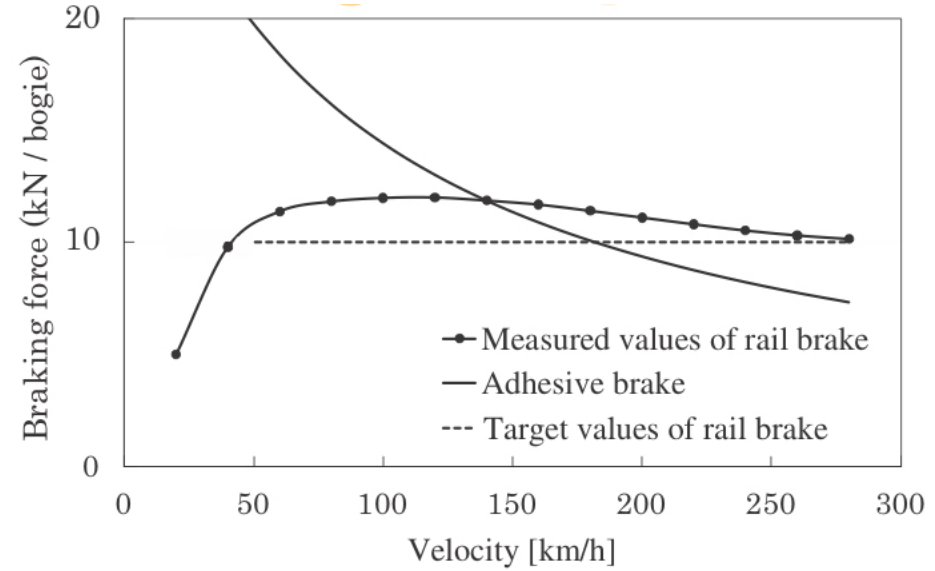
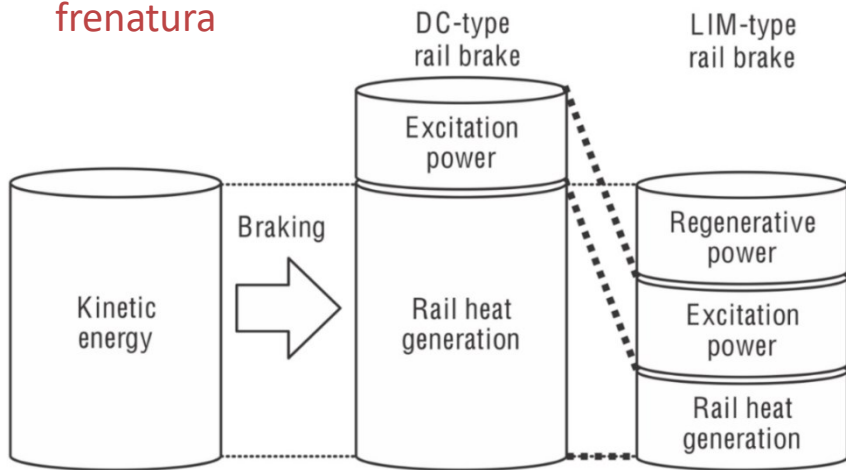
$$P_{a2} = 3 \cdot |Z'_{42e}| I_1^2$$

**Confronto riscaldamento a diverse frequenze**



➔ Advantages of LIM-type rail brake

**Distribuzione dell'energia per i sistemi di frenatura**



LIM

www.dii.unipd.it



*A parità di dimensioni*

**Forza Frenante LIM < Forza Frenante DC eddy current brake**

## LIM brake/DC eddy current brake

### Vantaggi

- *Forza frenante senza contatto*
- *Assenza usura componenti freno*
- *Riduzione inquinamento acustica*
- *Riduzione spazio frenata*

### Svantaggi

- *Forza frenante ad elevate velocità*
- *Basso fattore di potenza*
- *Compatibilità elettromagnetica*
- *Riscaldamento rotaia*
- *In prospettiva uso di magneti permanenti abbinati a bobine*

➤ *Freni a simmetria rotante*

*poco utilizzati*



- *Elevato riscaldamento*
- *Limiti di spazio*



**GRAZIE**