



POLITECNICO  
DI TORINO

ScuDo

Scuola di Dottorato ~ Doctoral School

WHAT YOU ARE, TAKES YOU FAR



Corso di Dottorato in Ingegneria Meccanica  
XXX Ciclo

Dottorando: *Marco Aimar*

Responsabile scientifico: *Prof. Aurelio Somà*

*Progetto Cluster ITS ITALY 2020*

***Sviluppo di soluzioni per il monitoraggio e la diagnostica dei carri ferroviari  
merci per il trasporto intermodale***

## ***Progetto Cluster ITS (Intelligent Transport System) ITALY 2020***

***OR 2.1 Sviluppo di soluzioni per la diagnosi del mezzo lungo la tratta***



### **Obiettivo**

Sviluppo di un dispositivo per il monitoraggio e la diagnostica di carri merci intermodali

Aziende ferroviarie del progetto

**AMBROGIO**  
INTERMODAL ONLY

**HUPAC**  
moving together

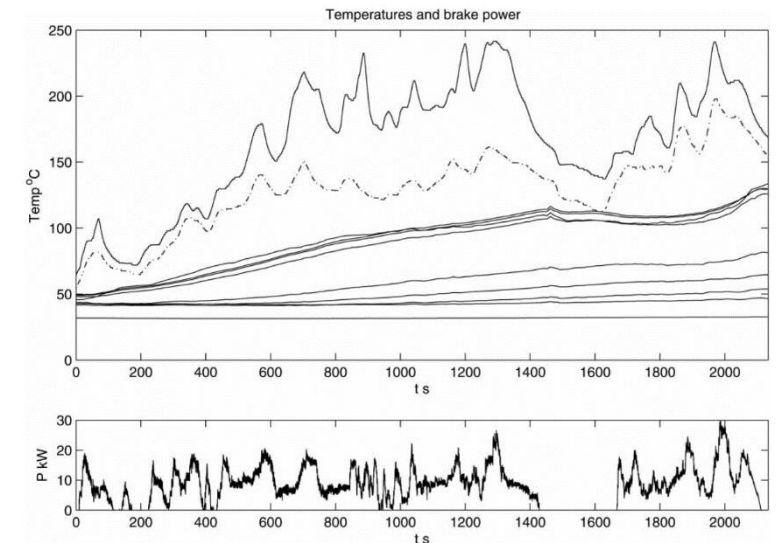
Azienda partner che ha messo a disposizione un carro merci intermodale per il monitoraggio.



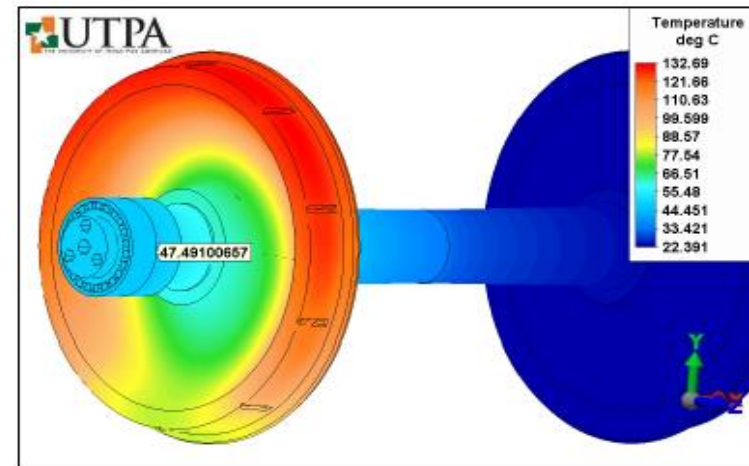
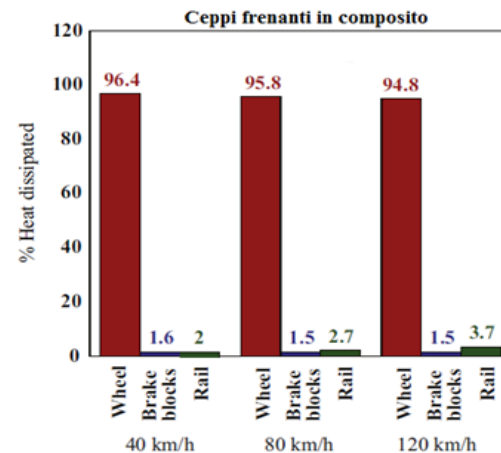
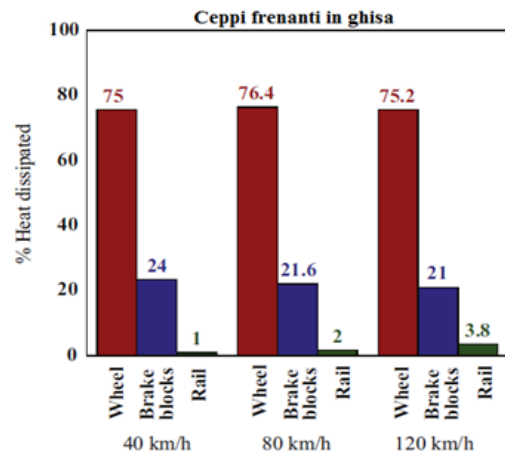
- Il trasporto merci su rotaia offre numerosi vantaggi in termini di **economicità energetica** e **basso impatto ambientale** se comparato con il trasporto su gomma.
- I questi ultimi anni il trasporto merci su rotaia sta incontrando un interesse crescente forte delle sue potenzialità e dell'introduzione di nuove tecnologie per la **gestione logistica** e **manutentiva** dei vagoni.
- Numerose aziende stanno presentando sul mercato soluzioni per il monitoraggio dei carri merci.
- I guasti degli elementi costituenti il **rodiggio** ed il **sistema frenante** presentano i maggiori oneri sui costi totali di gestione del carro. Il loro corretto stato manutentivo è essenziale per assicurare un elevato livello di sicurezza in condizioni di marcia del treno.

- La crescita e la competitività del trasporto intermodale ruota-rotaia richiedono l'adozione di nuove tecnologie per il miglioramento del servizio e per il monitoraggio delle condizioni operative dei carri merci lungo la tratta percorsa.
- Attualmente le attività di manutenzione dei carri merci sono svolte mediante campagne di manutenzione programmate a cadenza temporale fissa non potendo disporre di un numero sufficiente di informazioni sullo stato del vagone e dei suoi sottosistemi.
- Questo tipo di manutenzione non permette però di identificare i guasti che possono insorgere tra una revisione e la successiva. Nei casi in cui si verifichi un guasto in questo arco temporale è quindi necessario ricorrere alla sostituzione del componente adottando una manutenzione di tipo correttivo.
- Attualmente le uniche informazioni in possesso dei proprietari di carri merci sono quelle rilevate dai dispositivi fissi installati lungo la rete ferroviaria.

- Carri merci → frenatura a ceppi (Materiale: Ghisa o materiale composito).
- Stima corretta della temperatura all'interfaccia ruota-freno nei rotabili essenziale per determinare gli **stress termici**. Elevati stress termici possono portare alla formazione di **cricche**.
- In letteratura sono presenti numerosi lavori sullo studio a banco e in linea sul comportamento termico.



- Ceppi frenanti in ghisa → **elevati livelli di rumore** generati in fase di frenata, per ovviare a ciò si stanno progressivamente sostituendo in Europa questi ceppi tradizionali con nuovi in materiale composito.
- Freni in materiale composito → minori livelli di usura dei freni ma maggiore usura e stress termico sulla sala.



- Nuovi studi su questa tipologia di soole per valutarne il comportamento termico e sull'influenza che possono avere anche a livello del corpo boccola.

Studio dello storico guasti registrati in azienda nel corso degli anni.



## Sottosistema

- Boccola
- Ruota
- Impianto frenante



## Problemi

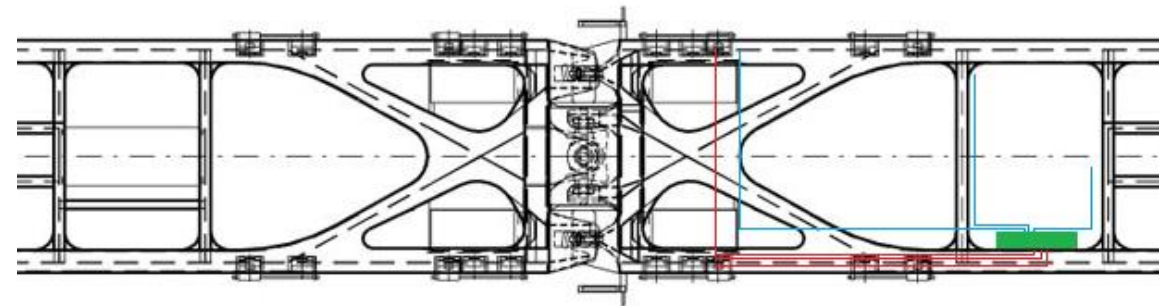
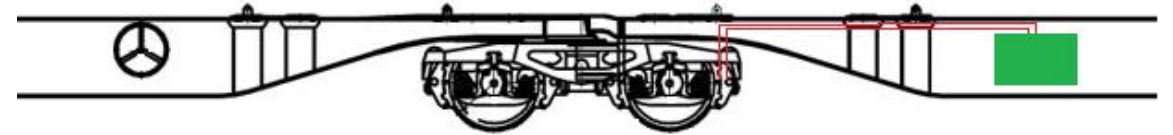
- Guasti ai cuscinetti
- Spiattellamento ruote e danni superficiali
- Bloccaggio dei freni



## Sensori

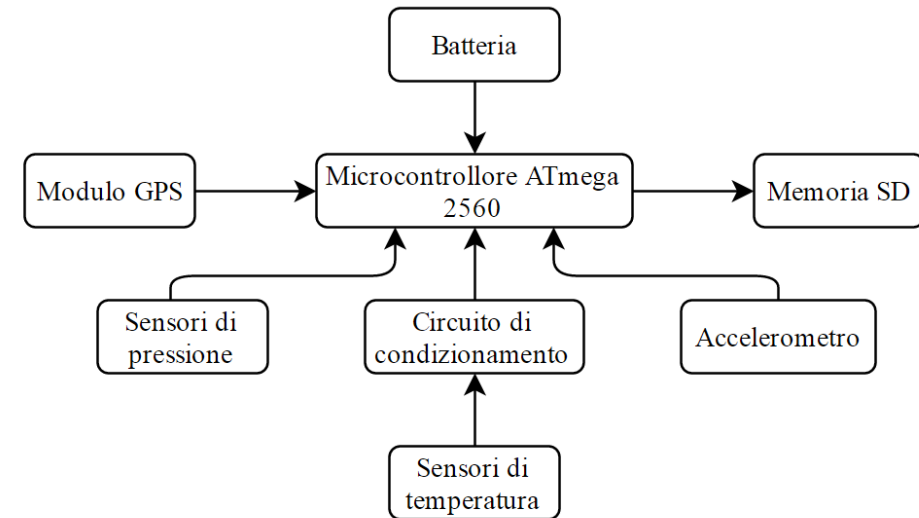
- Accelerometri
- Sensori di pressione
- Sensori di temperatura

- Progettazione di un dispositivo alimentato a batteria per il monitoraggio dei parametri operativi del carro merci messo a disposizione.
- Dispositivo di tipo cablato.
- Non ottimizzato dal punto di vista energetico.





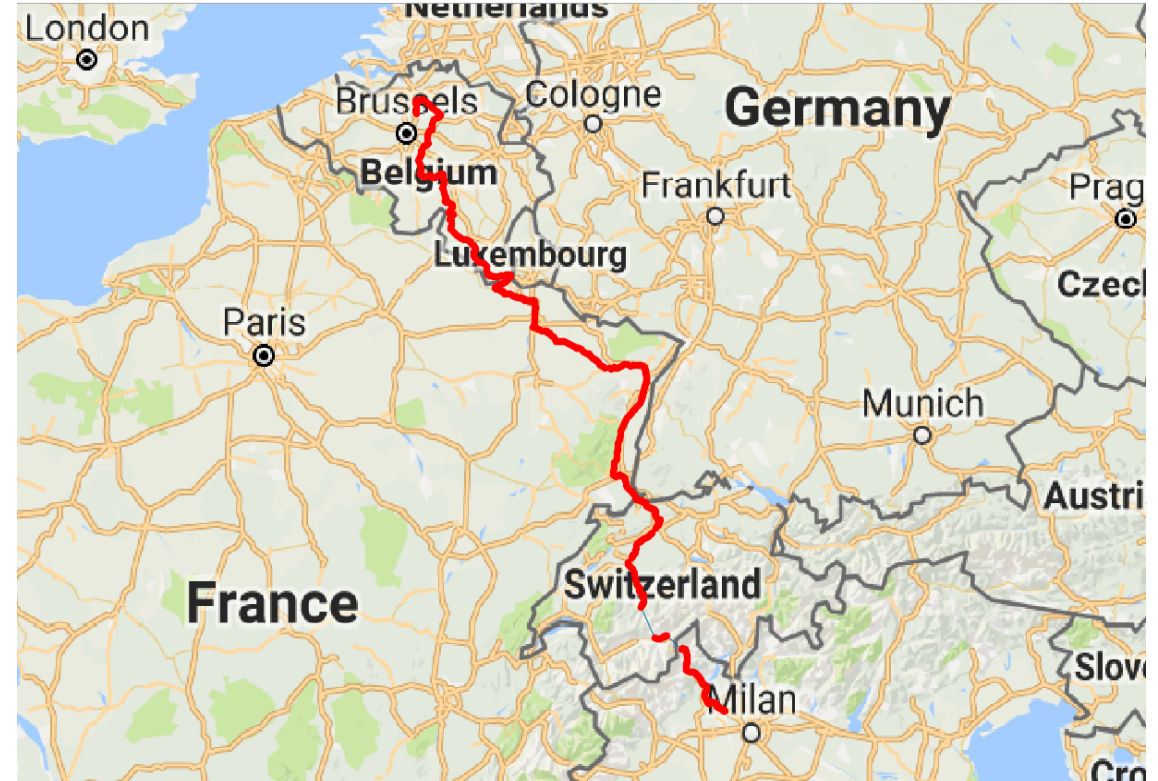
Sistema di monitoraggio dedicato  
all'impianto frenante.



Sensore	Frequenza di campionamento [Hz]	Frequenza di salvataggio [Hz]
Temperatura	1	1
Pressione	1	1
Accelerazione	200	1
GPS	1	1

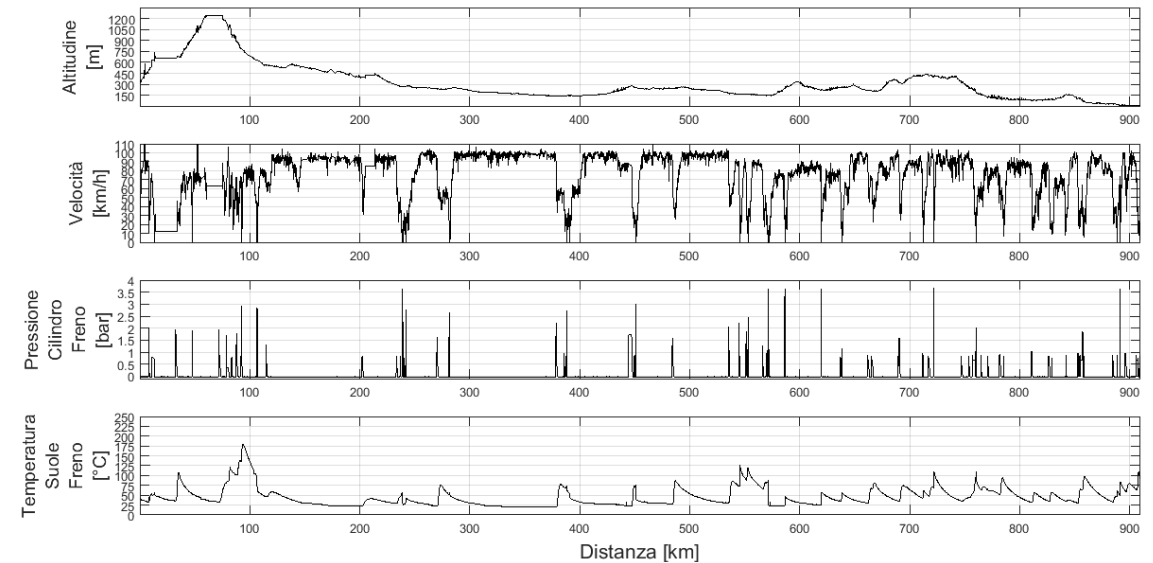
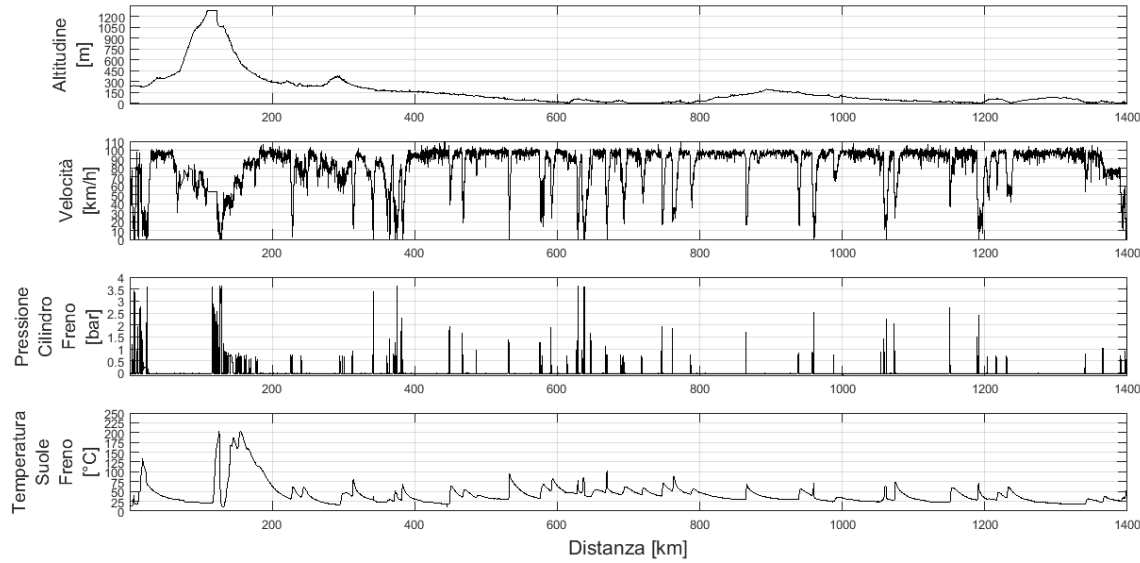


- Due differenti tratte monitorate
- Validazione e calibrazione del dispositivo sviluppato
- 30000 km di monitoraggio → notevole mole di dati

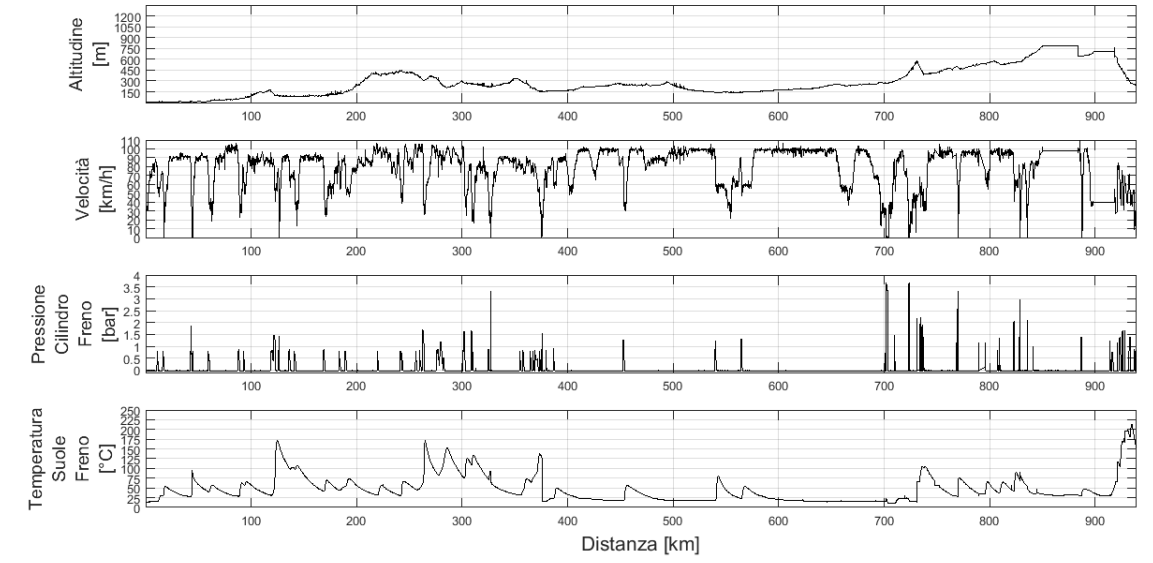
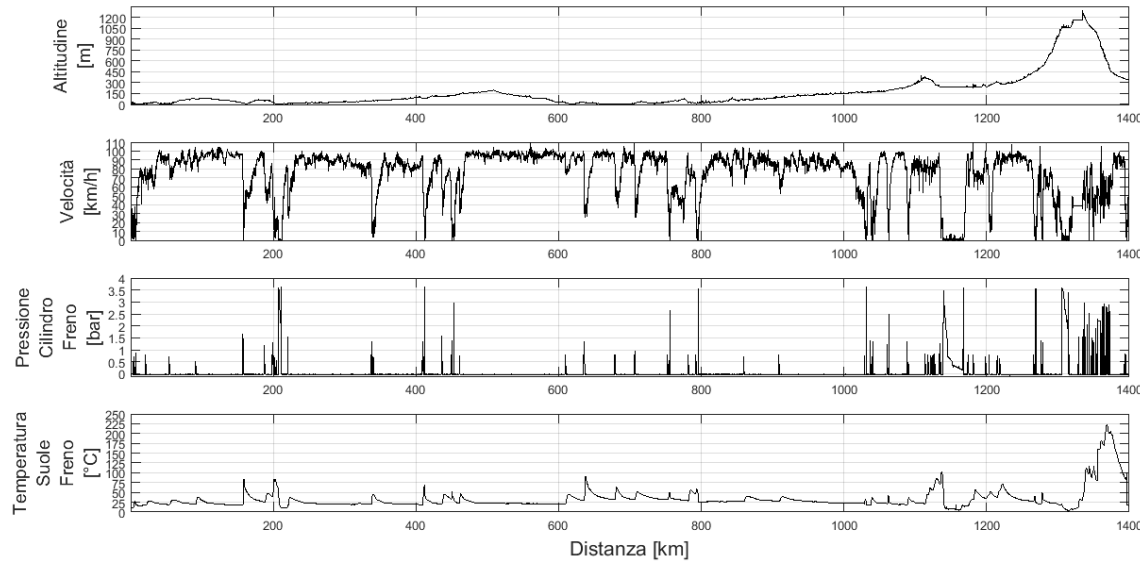


- Necessità di analizzare i dati
- Migliorare le performance energetiche del dispositivo
- Sviluppare parte wireless per il monitoraggio del corpo boccia

A  
n  
d  
a  
t  
t  
a



R  
i  
t  
o  
r  
n  
o



Sviluppo di un semplice modello termico di tipo energetico per lo studio della temperatura delle soles in ghisa.

$$\left. \begin{aligned} \Delta E_c &= \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2) \\ \Delta E_p &= m g \Delta h \end{aligned} \right\} E_{tt} = \Delta E_c + \Delta E_p - E_{ar} - E_{rr}$$

$\downarrow$   
 $\left\{ \begin{aligned} r_{ar} &= 0,0005 C S V^2 \\ E_{ar} &= r_{ar} m g D \end{aligned} \right.$   
 Perdite aerodinamiche

$\downarrow$   
 $\left\{ \begin{aligned} E_{rr} &= r_{rr} m g D \end{aligned} \right.$   
 Perdite rotolamento

Ripartizione del calore ceppo - ruota

$$\alpha = \frac{\beta_r S_r}{\beta_r S_r + \beta_s S_s}$$

$$\beta = \sqrt{k \rho c}$$

$$\longrightarrow E_{ts} = (1 - \alpha) E_{tt}$$

Variazione di temperatura sul singolo ceppo

$$\Delta T = \frac{E_{ts}/48}{m_s c_s}$$

Frenata	$\Delta$ Energia Cinetica [MJ]	$\Delta$ Energia Potenziale [MJ]	Perdite totali [MJ]	$\Delta$ Temperatura monitorata [°C]	$\Delta$ Temperatura calcolata [°C]	Errore assoluto [°C]
I	29.4	-3.1	2.7	33	31	2
II	29	-0.9	1.2	38	36	2
III	29.2	0.7	1.1	38	38	0
IV	21.2	-1.5	0.9	24	25	1
V	21.6	6.2	2.5	35	33	1

- Con questo approccio sono stati ottenuti dei buoni risultati sulla singola frenata
- Il lavoro presentato fin qui è stato oggetto di pubblicazione su rivista internazionale
- Necessità di sviluppare un modello FEM per lo studio della distribuzione di temperatura nel ceppo durante e a seguito della frenata

- Per lo studio termico dei freni in ghisa di cui è dotato il carro monitorato è stato utilizzato un approccio di tipo energetico basato sull'energia termica generata dall'attrito tra la ruota e il freno durante le operazioni di frenatura.
- I parametri fondamentali per questo tipo di analisi sono:
  - la stima del coefficiente di attrito tra questi due corpi;
  - la geometria e le caratteristiche fisiche del ceppo in ghisa;
  - i valori di pressione raggiunti dal cilindro freno;
  - la geometria dei leverismi dell'impianto frenante.
- Ogni ruota del carro monitorato è dotata di 4 ceppi in ghisa, per un totale di 16 ceppi per carrello.

- Il valore di pressione nel cilindro freno è essenziale per il calcolo del flusso termico entrante nella suola.
- La forza che ogni ceppo frenante esercita sulla ruota durante la frenatura,  $\beta$  rappresenta il coefficiente moltiplicativo della timoneria pari a 2.
- La forza di attrito media della frenata.
- L'energia termica generata durante la frenata è quindi stimata dalla seguente formula,  $d_f$  rappresenta la distanza percorsa con il freno attivato e  $t_f$  è la durata della frenata.
- Il flusso di calore che si genera sulla superficie di contatto tra i due corpi è ottenuto con l'espressione.

$$P_{media} = \frac{1}{t_f - t_i} \int_{t_i}^{t_f} P(t) dt$$

$$F_{ceppo} = \frac{\beta P_{media} A_{cil. freno}}{16}$$

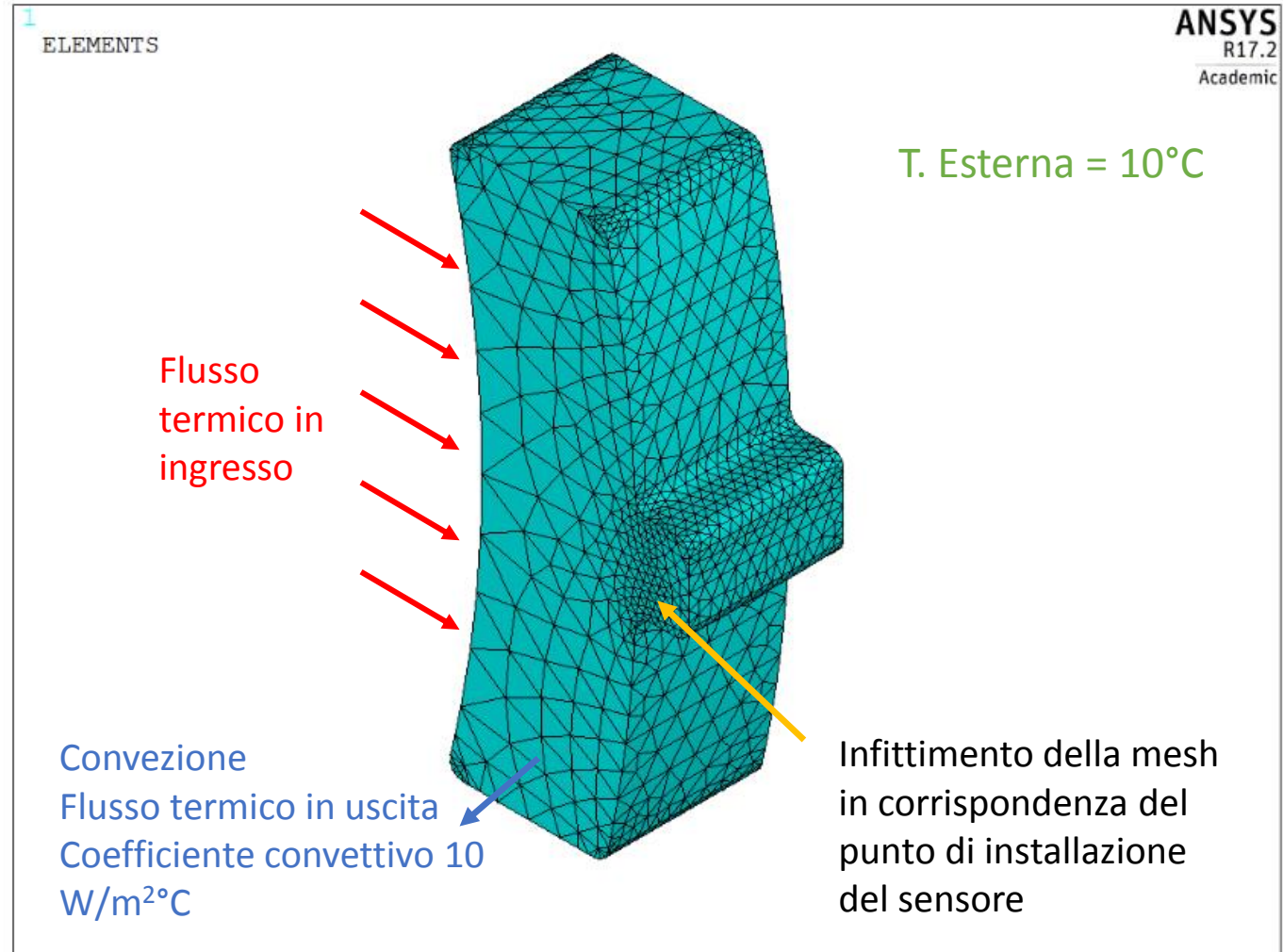
$$F_{attr. media} = F_{ceppo} \mu$$

$$E_{termica frenata} = \frac{F_{ceppo} d_f}{t_f}$$

$$H_{termico frenata} = \frac{E_{termica frenata}}{A_{contatto}}$$



- ANSYS.
- SOLID 90 a 20 nodi.
- 21076 nodi totali.
- Flusso termico applicato per una durata temporale pari a quella della frenata monitorata.
- Simulazione del transitorio per lo studio della distribuzione del calore all'interno del ceppo.





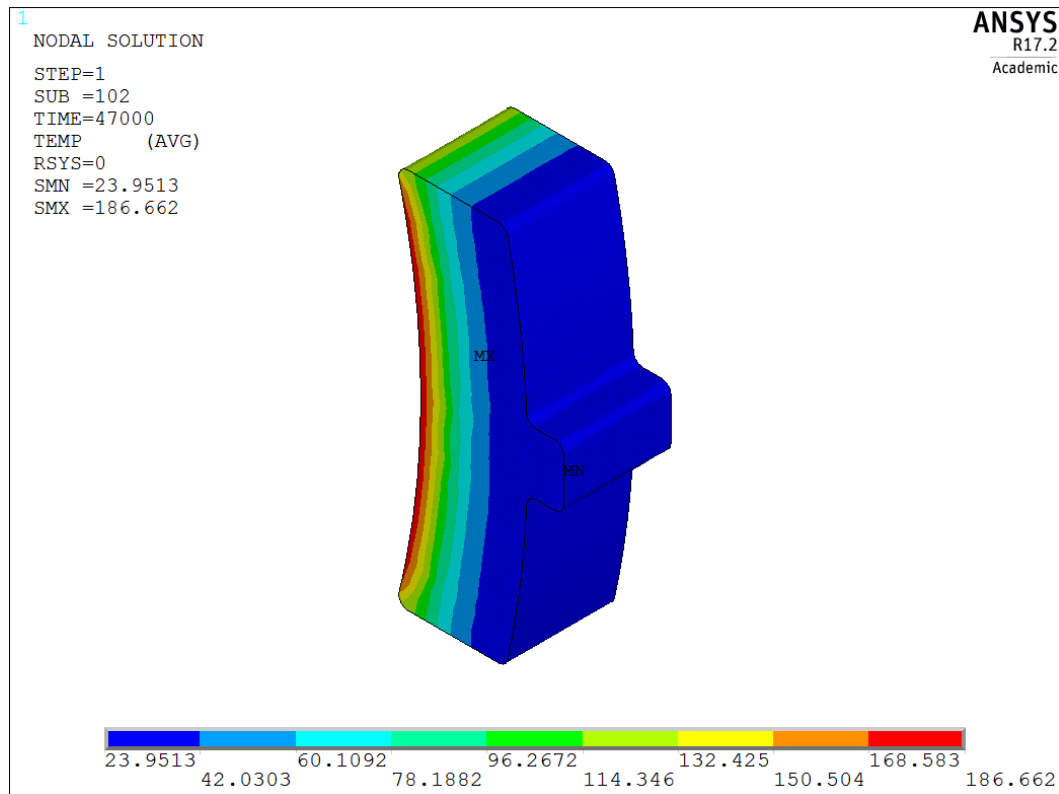
- Input relativi alle frenate analizzate.

Frenata	Distanza con freno attivato	Velocità iniziale	Velocità finale	Temperatura iniziale freno	Pressione media cilindro freno	Durata frenata	Tempo da inizio frenata a picco di temperatura
	[m]	[km/h]	[km/h]	[°C]	[MPa]	[s]	[s]
A	786	95	33	23	0,112	47	271
B	713	93	23	37	0,1202	46	256

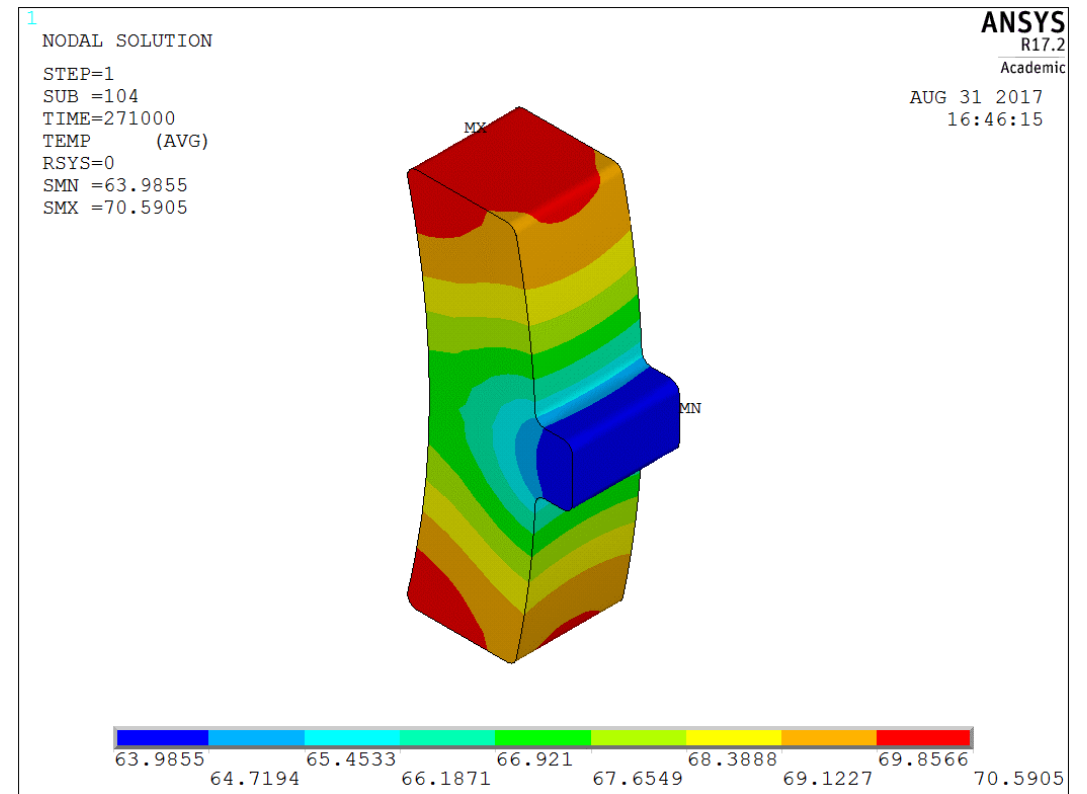
- I dati sono stati ottenuti attraverso il sistema di monitoraggio installato.
- Le due frenate analizzate sono state acquisite nella stessa installazione a distanza di poche decine di chilometri l'una dall'altra.

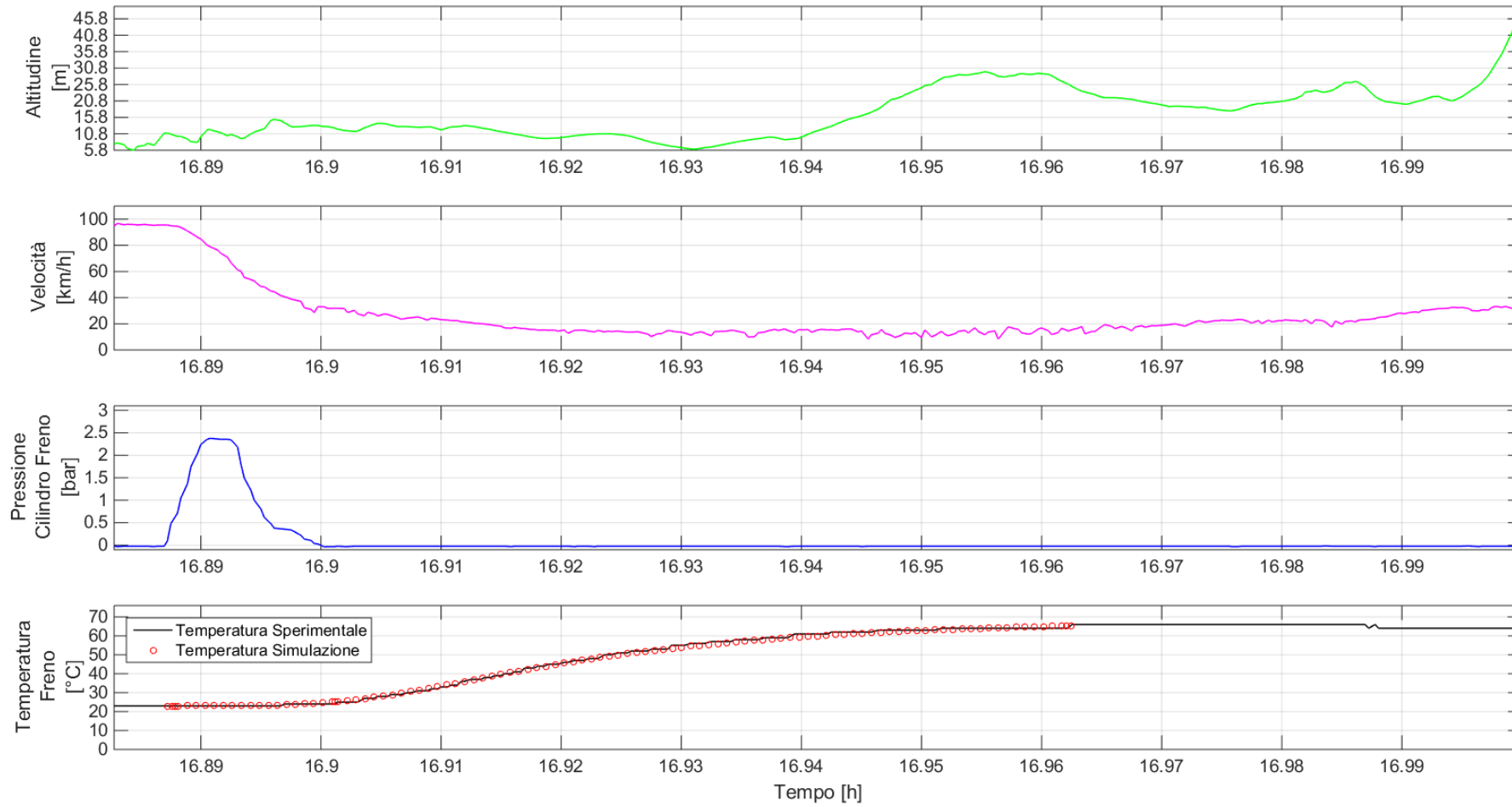
- Frenata A

## Termine Frenata



## Raggiungimento Max Temperatura

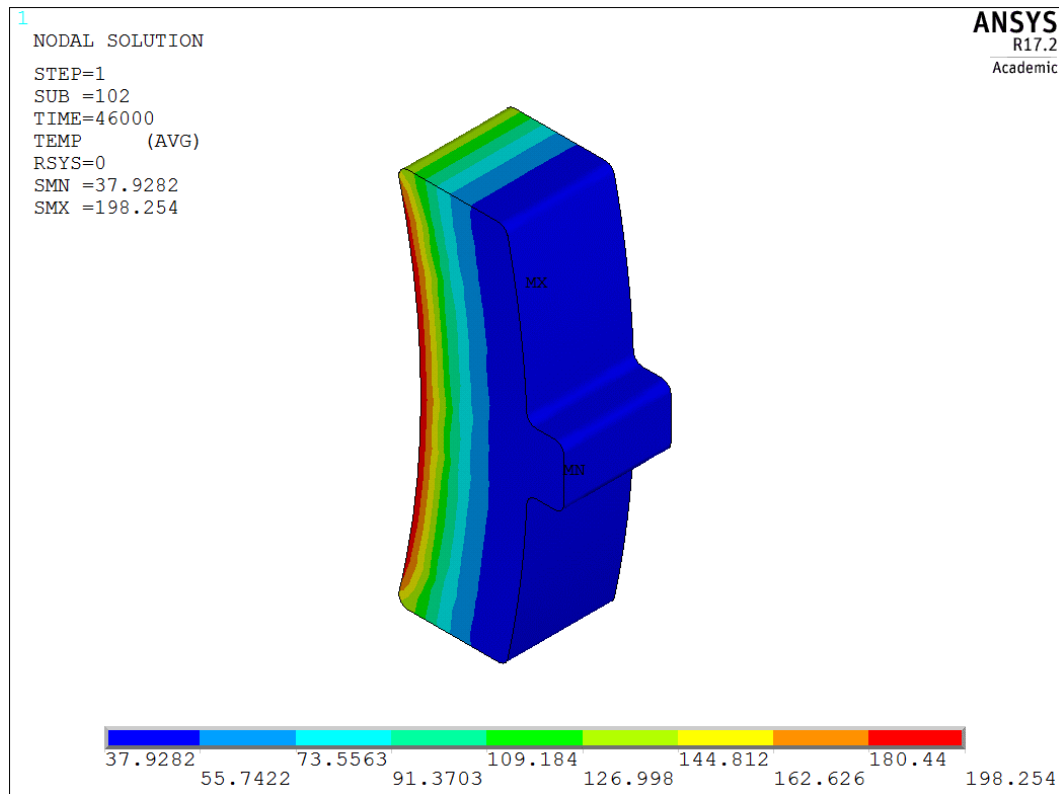




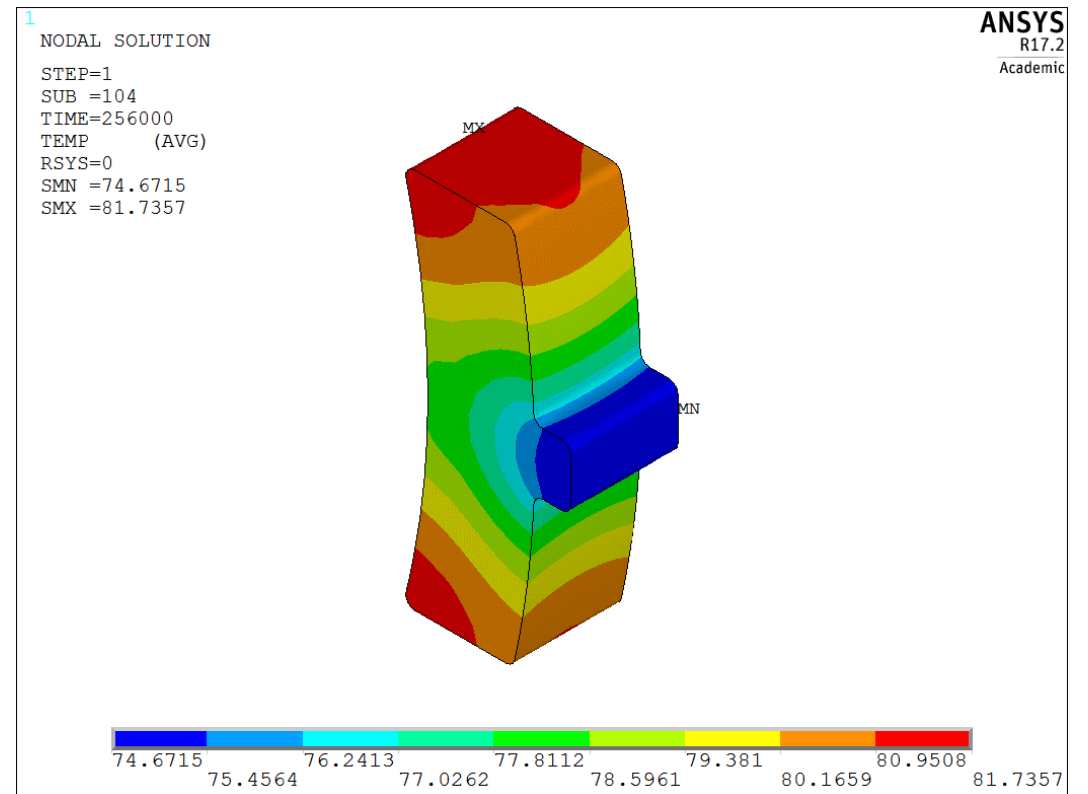
Ottimo fitting dei dati sperimentali nel punto di installazione del sensore applicando in ingresso un carico termico mediato.

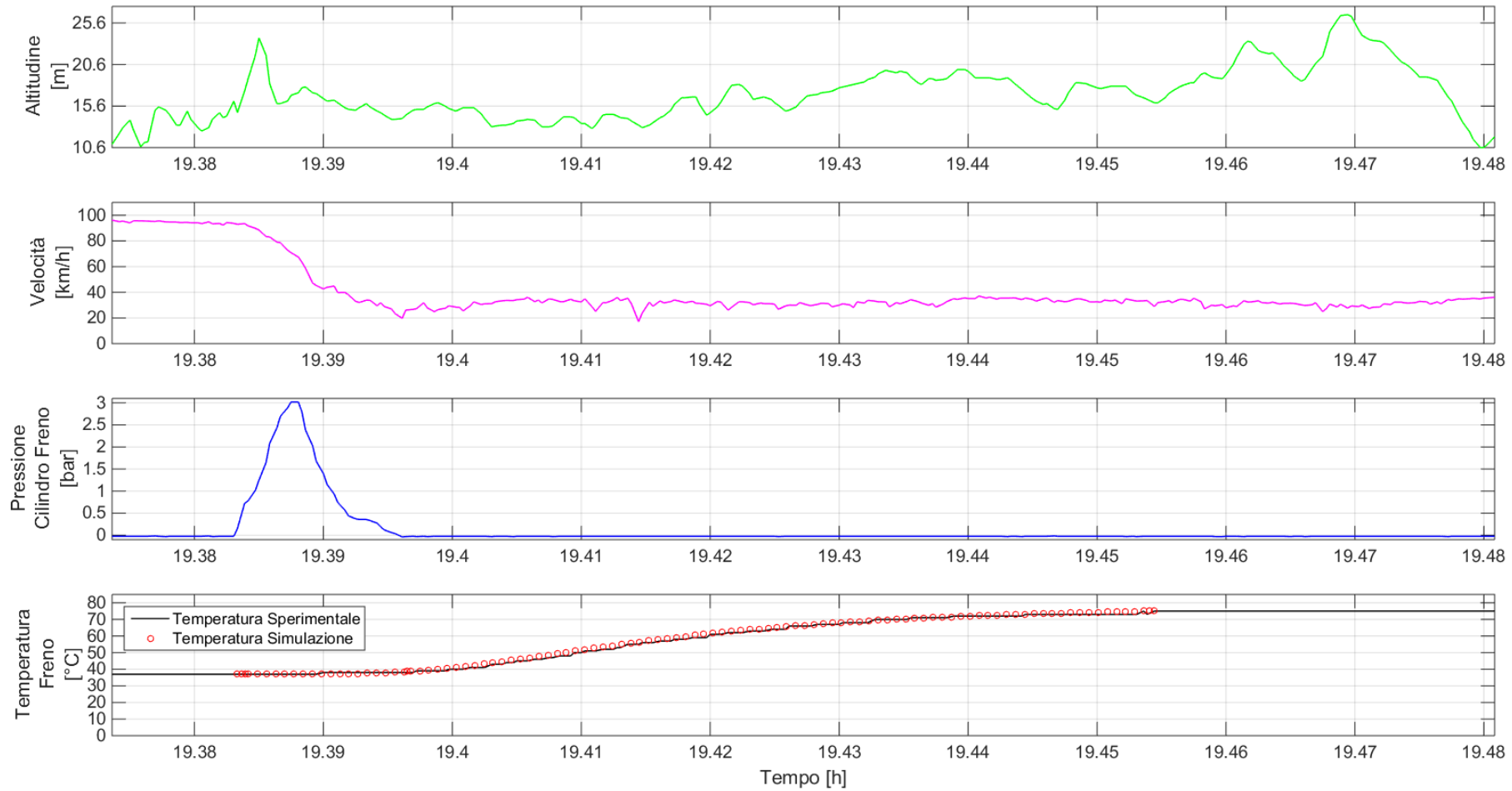
- Frenata B

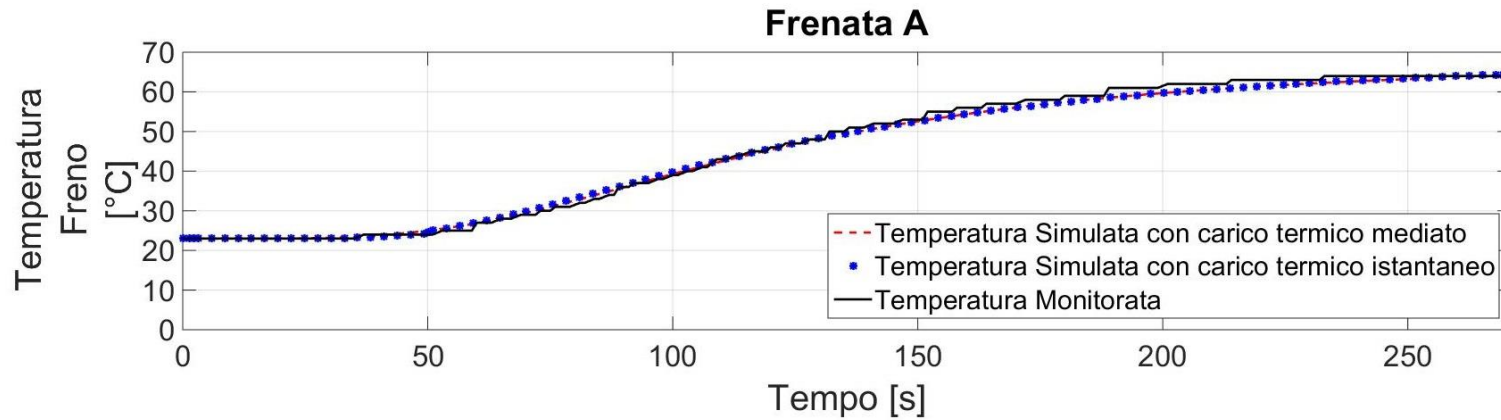
## Termine Frenata



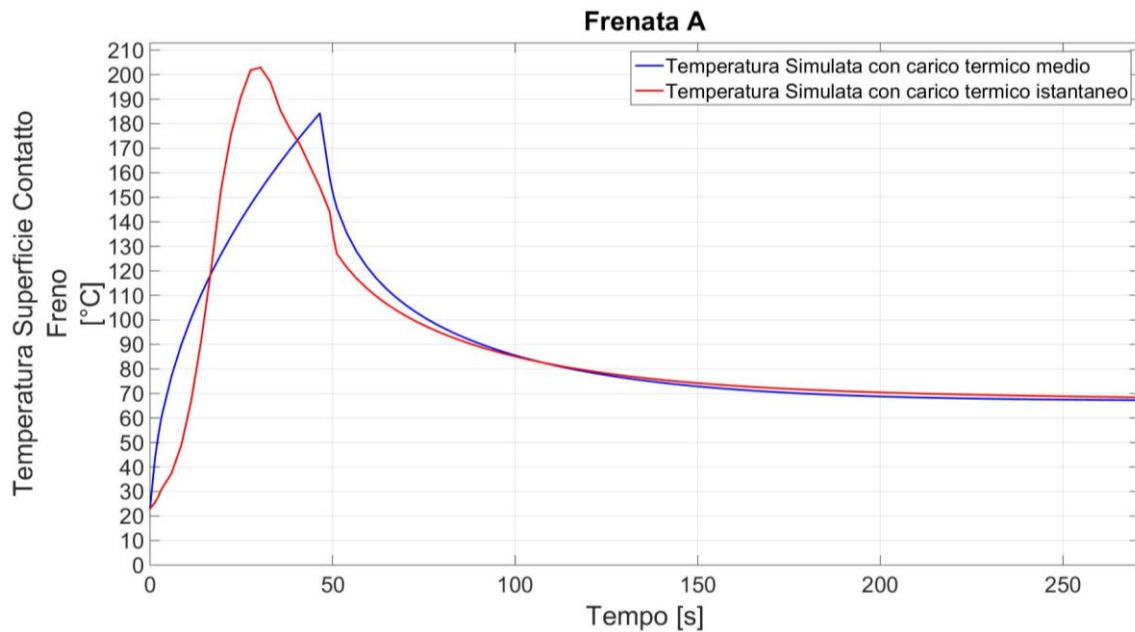
## Raggiungimento Max Temperatura





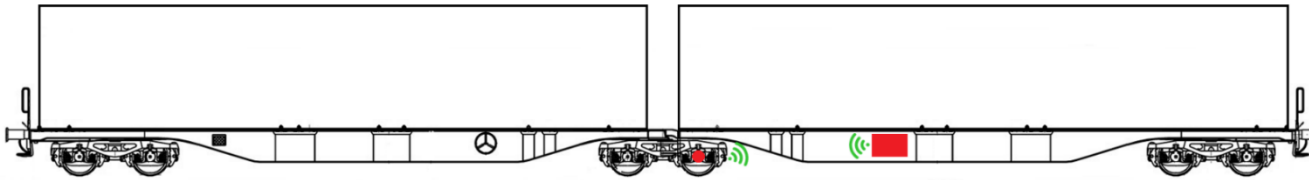


Modificando la metodologia di applicazione del carico termico utilizzando un carico termico istantaneo, si è andati a verificare che le simulazioni effettuate precedentemente non fossero influenzate da questo cambiamento

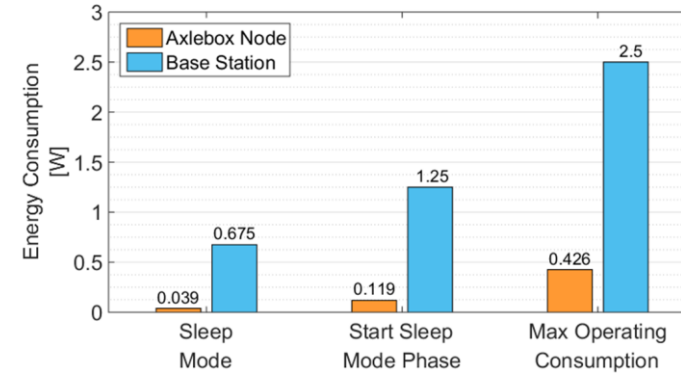


- Il profilo di temperatura ottenuto è coerente con il profilo della pressione all'interno del cilindro freno durante la frenatura.
- Il valore di picco di temperatura raggiunto è coerente con la letteratura.

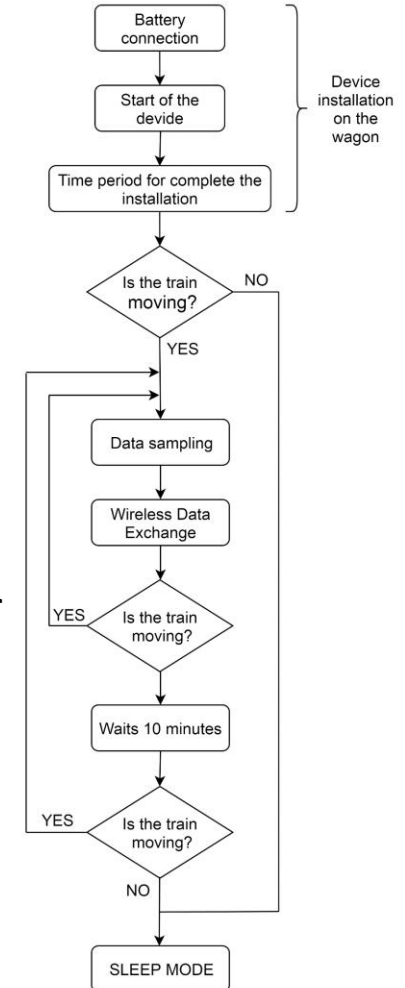
## Svilupo di un dispositivo di monitoraggio ibrido cablato - wireless

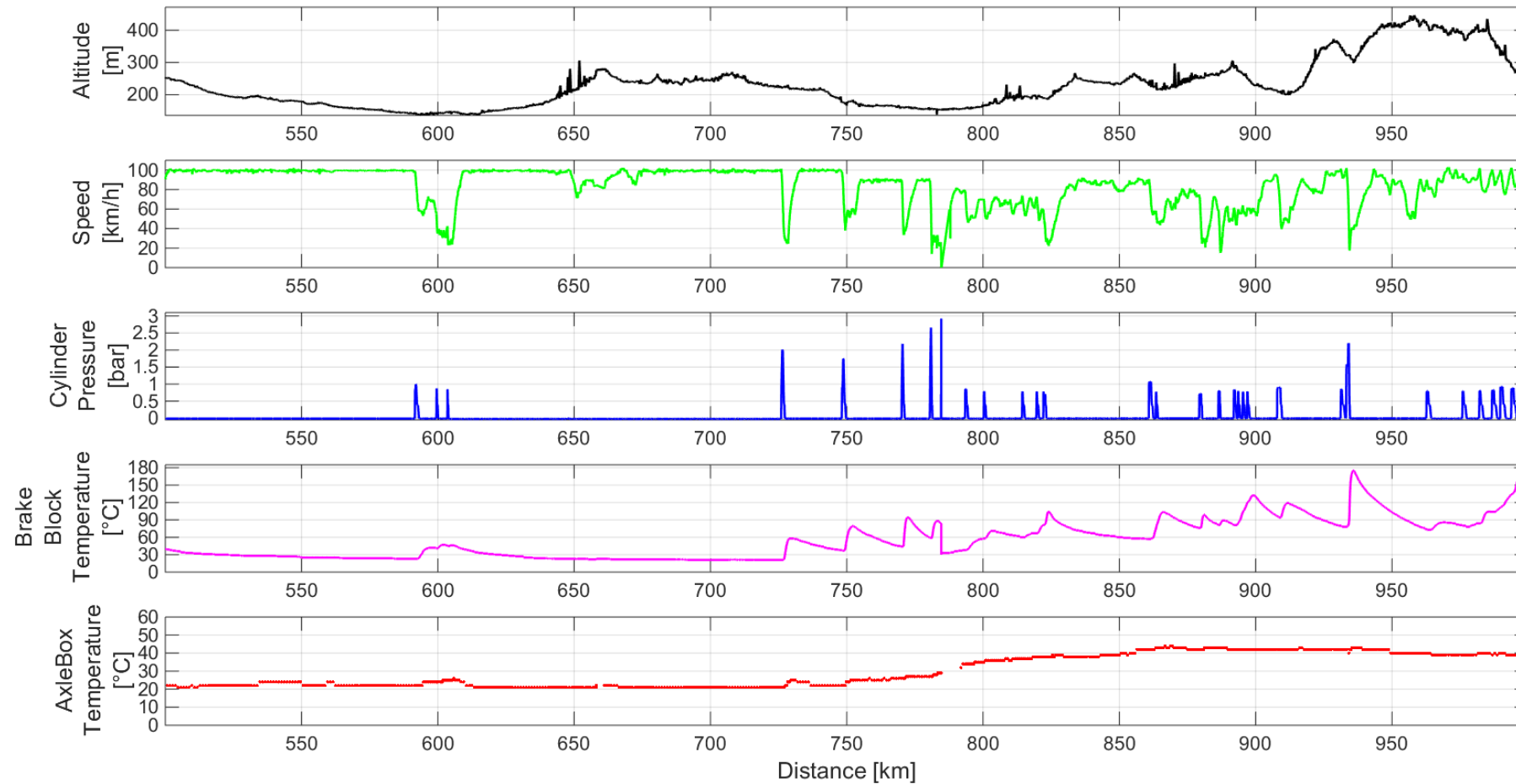


Monitoraggio parametri di temperatura e accelerazione a livello boccola



- Ottimizzazione energetica basata su riduzione delle componenti hardware superflue e sullo sviluppo di un algoritmo di power saving basato sul livello accelerometrico registrato a livello boccola e in cassa.





Alla data odierna sono stati monitorati all'incirca 1000 km.



- L'attività presentata oggi ha riscontrato un buon interesse nella comunità del mondo ferroviario.
- Ha portato alla pubblicazione di due articoli su rivista ( 1 internazionale e 1 italiana) e 4 articoli come atti di convegni (2 internazionali e 2 italiani).
- Nei mesi restanti per la stesura della tesi di dottorato verrà approfondito il tema della temperatura dei ceppi freno e della superficie delle ruote
- Verrà inoltre realizzato un modello utilizzando un codice multibody per lo studio delle accelerazioni misurate in cassa in fase di frenatura e di composizione treno
- Possibile nuovo miglioramento delle performance energetiche del dispositivo wireless grazie all'utilizzo di nuovi componenti hardware.

*Grazie dell'attenzione*

