POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

SISTEMI DI MONITORAGGIO PER L'INSTALLAZIONE A BORDO DI VEICOLI FERROVIARI

Original
SISTEMI DI MONITORAGGIO PER L'INSTALLAZIONE A BORDO DI VEICOLI FERROVIARI / Bosso, N., Gugliotta, A., Zampieri, N.. - ELETTRONICO. - 1:(2015), pp. 1-12. (AIAS 2015 - 44° Convegno Nazionale Messina 2-5 Settembre 2015).

Availability:
This version is available at: 11583/2642500 since: 2016-05-17T12:34:57Z

Publisher:
Università degli Studi di Padova

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

15 October 2026

AIAS 2015 - 552

SISTEMI DI MONITORAGGIO PER L'INSTALLAZIONE A BORDO DI VEICOLI FERROVIARI

N. Bosso, A. Gugliotta, N. Zampieri

Politecnico di Torino - Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Aerospaziale,
Corso Duca degli Abruzzi 25, 10129 Torino, e-mail: nicola.bosso@polito.it

Sommario
Il lavoro mostra l'attività svolta al Politecnico di Torino per sviluppare sistemi di monitoraggio da installare a bordo di veicoli ferroviari, in grado di misurare ed elaborare i segnali rilevati sulla boccola e sul carrello allo scopo di rilevare malfunzionamenti di diversi componenti critici.
Scopo generale del sistema è quello di assicurare una comunicazione di allarme di primo livello in caso di guasto dei componenti, ma è anche in grado di fornire indicazioni relative alle condizioni dei componenti al fine di migliorare la programmazione della manutenzione preventiva.
Diverse architetture sono state progettate considerando l'esigenza di ridurre il costo del sistema in modo da consentire la sua applicazione su una grande varietà di veicoli, compresi i veicoli merci.
La novità di questo approccio è il fatto che il sistema di acquisizione e diagnostica è stato sviluppato specificamente per l'applicazione ferroviario a partire dal livello di architettura hardware.

Abstract
The work shows the activities carried out at Politecnico di Torino to develop monitoring systems to be installed on board of railway vehicles, capable of measuring and processing the signals detected on the axle-box, and on the bogie in order to detect malfunctions of several critical components.
The general purpose of the system is that of ensuring a communication of first-level alarm in the event of component failure, but it is also able to provide indications regarding the requirements of the components in order to improve the programming of preventive maintenance.
Various architectures have been designed considering the need to reduce the cost of the system so as to allow its application on a large variety of vehicles, including freight vehicles.
The novelty of this approach is the fact that the acquisition system and diagnostics was developed specifically for the railway application starting from the level of hardware architecture.

Parole chiave: Monitoraggio on-board, diagnostica ferroviaria, boccole ferroviarie strumentate

1. INTRODUZIONE

L'applicazione di sistema di monitoraggio e diagnostica nel settore ferroviario viene adottato su molti veicoli soprattutto su treni ad alta velocità [1,2,3]. Questi sistemi assicurano elevato livello di sicurezza e riduzione dei costi relativi ai guasti quando vengono utilizzati per migliorare le procedure di manutenzione [4,5]. I sistemi di monitoraggio possono essere utilizzati per rilevare anomalie sul comportamento del veicolo o nelle sue componenti; pertanto è possibile rilevare problemi dinamici, quali il deragliamento [6], instabilità [7], eccessiva velocità in curva. A livello di componenti tali sistemi consentono di rilevare guasti o deterioramenti, tipica applicazione riguarda il danneggiamento dei cuscinetti [8,9], il rilevamento di spiattella mento della ruota [10,11], ma molti altri aspetti possono essere considerati. L'uso del monitoraggio è oggi molto comune in alta velocità, in quanto il costo del sistema non è così importante rispetto al costo di questo tipo di veicolo, ma, d'altro canto, le

prestazioni estreme richieste dal veicolo, richiedono un efficiente e veloce azione in caso di guasti. Anche i veicoli con prestazioni inferiori possono avere grandi benefici con l'utilizzo di sistemi di monitoraggio o diagnostici, soprattutto perché spesso non sono soggetti a frequenti interventi di manutenzione. Tuttavia, il costo del sistema di monitoraggio e la mancanza di sottosistemi quali la presenza di energia elettrica per i carri merce rende difficile estendere l'uso di monitoraggio e diagnostica per tutti i veicoli. In questo lavoro vengono analizzati due sistemi di monitoraggio sviluppati presso il Politecnico di Torino. I due sistemi realizzati si differenziano per l'architettura: il primo [12] è caratterizzato da sistemi di condizionamento riconfigurabili ed acquisizione dati in multiplex, gestita da un sistema operativo in modo da essere in grado di riconfigurare il sistema a seconda delle funzioni di monitoraggio richieste. In questo modo il sistema può essere ottimizzato per l'applicazione specifica ed i costi possono essere ridotti in modo significativo. Il secondo sistema prevede l'impiego di un processore ARM per gestire sia l'acquisizione dati che il condizionamento dei segnali, in questo caso l'acquisizione dati avviene in modo simultaneo.

2. ARCHITETTURE DEL SISTEMA

Questo lavoro mostra un sistema di controllo che è stato studiato per essere utilizzato su diversi tipi di materiale rotabile (merci, passeggeri), di conseguenza, dal momento che i requisiti e le specifiche possono essere diverse, l'architettura del sistema è stata studiata in modo da essere facilmente adattabile alle esigenze del veicolo. In generale, entrambe le architetture realizzate prevedono un insieme di sensori installati in boccola e sul telaio carrello o in cassa, ed una centralina di monitoraggio capace di analizzare i segnali dei sensori, elaborarli e trasmettere o salvare informazioni relative alle condizioni del rotabile. I due sistemi realizzati si differenziano sulla base dell'architettura della centralina di monitoraggio.

2.1. Multiplexer intelligente

La Figura 1 mostra il sistema di monitoraggio smontato in cui è presentata la configurazione completa per un singolo carrello. Si basa su un PC Embedded che analizza continuamente i dati acquisiti dai sensori ed è in grado di fornire segnali di allarme su una linea di rete (protocollo TCP / IP) e per memorizzare gli eventi significativi su un supporto di tipo SD. Il concetto del sistema è quello di utilizzare pochi canali di acquisizione (4 in questo caso) per ridurre il costo del sistema.

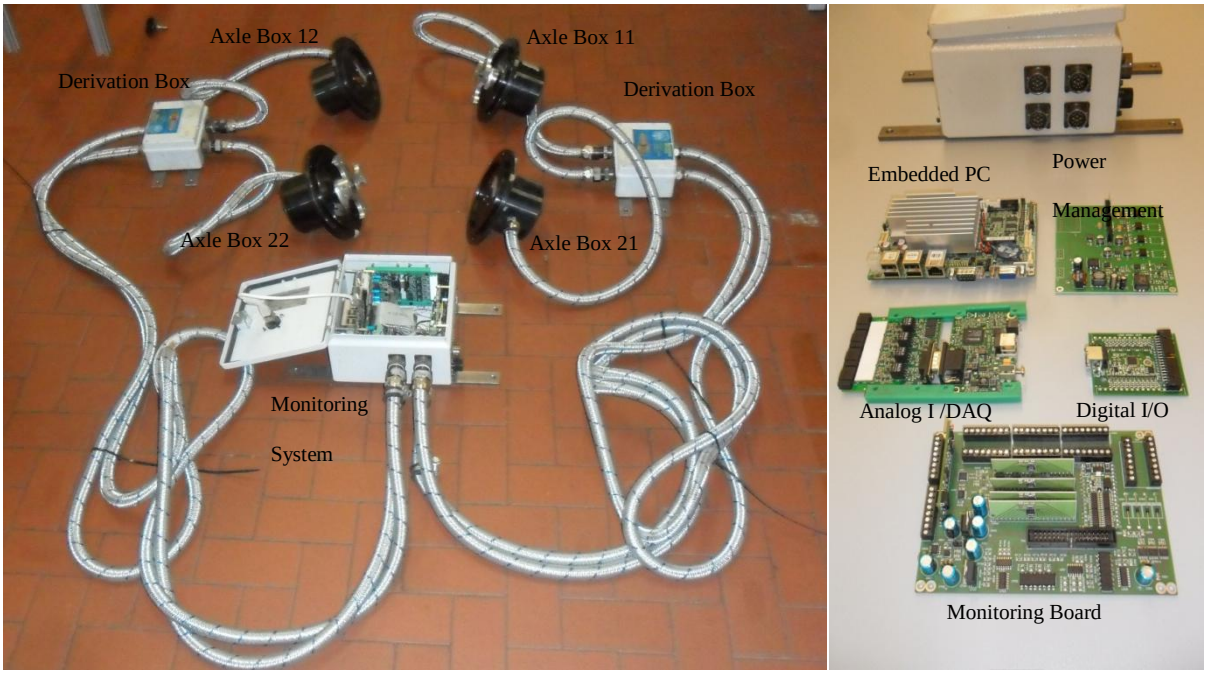

Figura 1: Sistema di monitoraggio per un singolo carrello.

Il cuore del sistema è la scheda di monitoraggio, che fornisce il condizionamento necessario ai diversi sensori e reindirizza i loro segnali alla scheda di acquisizione dati a seconda di una serie di Input / Output (32) controllate dal PC Embedded a seconda il programma specifico da eseguire. In questo modo è possibile definire più sottoprogrammi ciascuno utilizzando 4 canali analogici campionati simultaneamente con specifico condizionamento dei sensori. Il segnale di velocità viene acquisito direttamente usando un contatore incluso tra gli ingressi digitali.
L'architettura del sistema è schematizzata in figura 2, dove si può osservare come il PC Embedded sia connesso, mediante porte USB ad un sistema di acquisizione ed alla scheda di input/output digitali.
I canali della scheda di acquisizione transitano nella scheda di monitoraggio (monitoring board) dove ricevono l'eventuale condizionamento (ICP/Termocoppia/RTD,RPM) e vengono reindirizzati mediante una serie di switch (deviatori) analogici ed infine terminano nel connettore collegato ai sensori (CN4/CN5). Le funzioni della scheda di monitoraggio sono pilotate dagli output digitali. La scheda include un accelerometro triassiale.

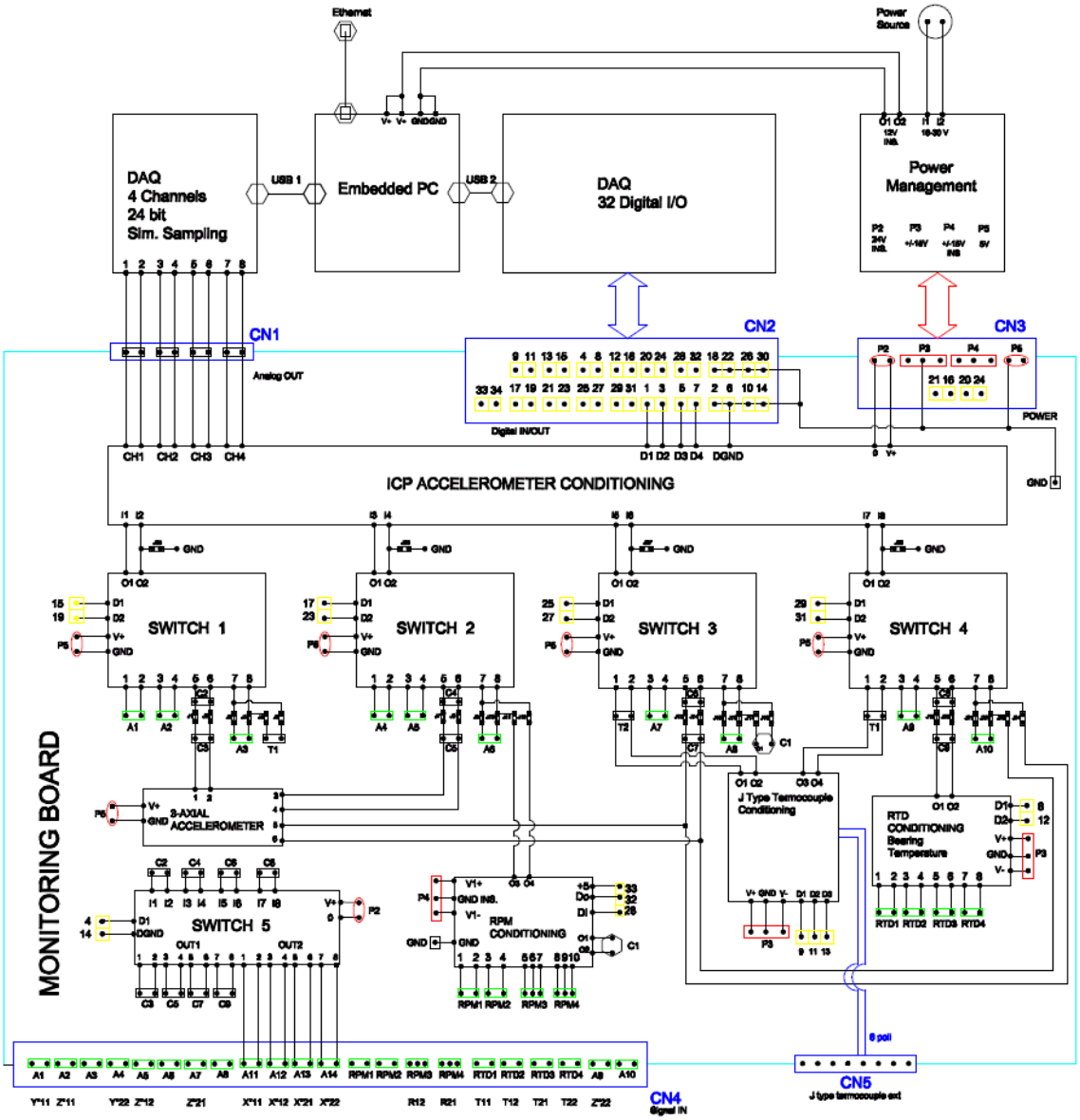

Figura 2: Architettura del sistema di monitoraggio

Il sistema sviluppato permette di rilevare 10 accelerometri montati in boccola, tre montati in cassa o sul telaio carrello, 4 sonde termiche montate in boccola, 8 termocoppie montate sul sistema frenante, due sensori di velocità angolare, 4 segnali analogici aggiuntivi.

2.2. Multicanale con processore ARM integrato

Il secondo tipo di sistema è stato modificato in modo da ottenere un sistema più integrato e facilmente ingegnerizzabile. Le modifiche riguardano la centralina di monitoraggio, che è stata incorporata in una singola scheda elettronica (Figura 3). La scheda include un sistema di acquisizione multicanale a campionamento simultaneo, con campionamento e condizionamento segnale differenziati a seconda del segnale da acquisire (RTD, Accelerometro, Encoder, Termocoppia). La scheda è governata da un processore ARM7 a 32 Bit. Tale processore contiene un codice residente modificabile, che sovraintende all'acquisizione dati ed al trasferimento che può avvenire mediante protocollo Modbus/IP o rete CAN. La scheda contiene un supporto di archiviazione SD che può essere impiegato per salvare parametri del veicolo o particolari situazioni anomale rilevate. L'elaborazione dei dati acquisiti viene effettuata da un unità di elaborazione (PC Embedded) che deve essere collocato sulla linea di trasmissione dati, ma in questo caso non è necessario avere un sistema di elaborazione per ogni centralina di monitoraggio.

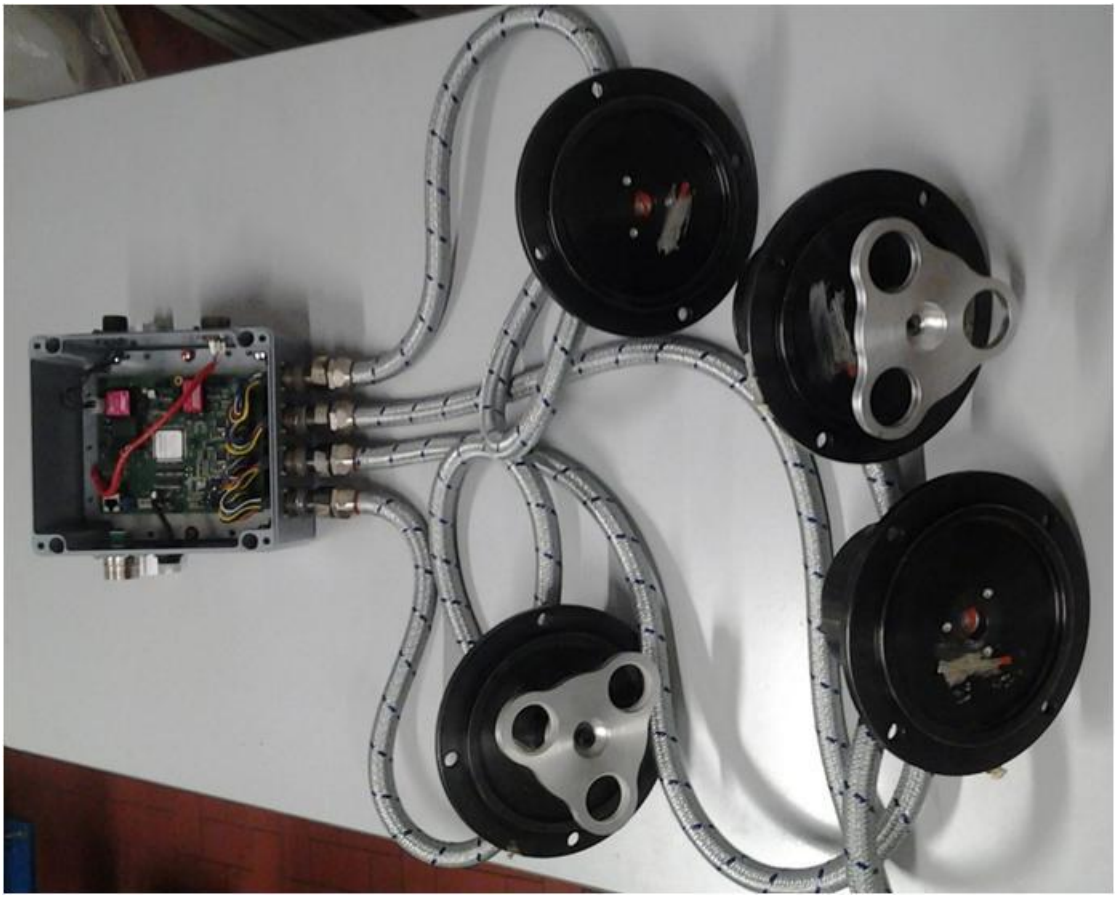

Figura 3: Sistema di monitoraggio Multicanale per un singolo carrello.

3. EQUIPAGGIAMENTO DEL VEICOLO

Il veicolo viene equipaggiato mediante una serie di sensori collocati in boccola, la centralina di monitoraggio, montata in cassa o sul telaio carrello ed i relativi collegamenti cablati. Le centraline del convoglio devono essere tra loro collegate mediante una rete ethernet cablata o WiFi. Le soluzioni attualmente testate sono state realizzate mediante rete cablata.

3.1. Sensori e cablaggi

La maggior parte dei sensori, viene collocata in boccola ed eventualmente possono essere impiegati sensori già presenti sul veicolo. Le configurazioni impiegate nelle prove sperimentali prevedono la

sostituzione del coperchio boccola, comune a differenti tipologie di veicoli merci (Y25, ORE bogie) e passeggeri (MDVE, MDVC etc.), utilizzando il coperchio strumentato illustrato in figura 4.

Il coperchio strumentato prevede l'installazione di 3 acceleormetri ICP (sensibilità 1000 mV/g) nelle tre direzioni, una sonda termica di tipo PT1000, affacciata verso l'interno della boccola. Su una delle due boccole di uno stesso asse viene installato un Encoder, che viene trascinato in rotazione dalle viti di precarico cuscinetto montati sull'assile. Tali viti si accoppiano con una flangia forata, solidale all'asse dell'encoder durante l'installazione del coperchio strumentato, senza necessità di un fissaggio tra i componenti. La boccola che è dotata di Encoder, non prevede il montaggio dell'accelerometro laterale.

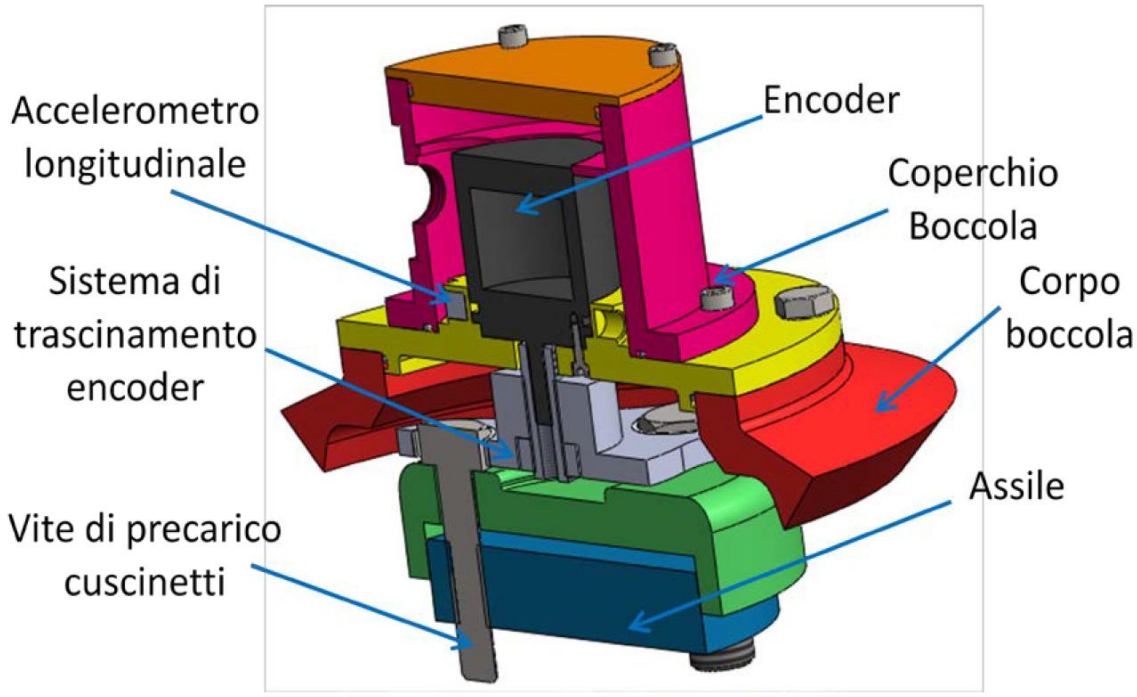

Figura 4: Coperchio boccola strumentato.

3.2. Trasferimento e comunicazione dati

Il sistema di trasmissione dati si differenzia per le due architetture come illustrato in figura 5 e 6.

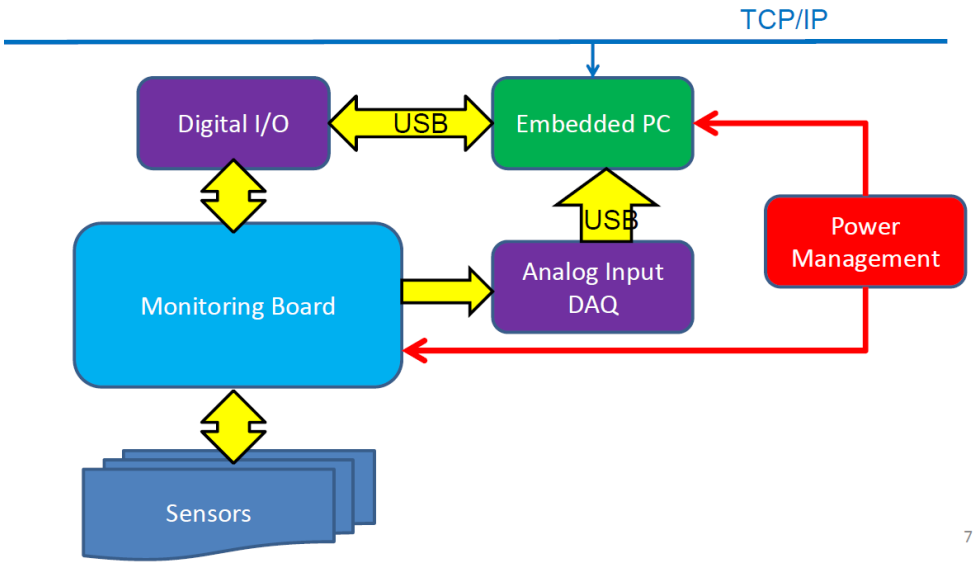

Figura 5: Interfaccia Utente durante il funzionamento del sistema

Nel caso del sistema con Multiplexer intelligente, ciascuna centralina di monitoraggio, corrispondente ad un carrello, deve contenere un PC Embedded, che costituisce quindi un nodo della rete Ethernet su cui sono trasferiti i dati.
Invece la scheda multicanale può operare come un elemento stand-alone sulla rete e costituire un nodo senza necessità di un PC-Embedded per la sua gestione. Lungo la rete dovranno essere comunque disposti uno o più PC-Embedded allo scopo di elaborare i dati e rilevare le anomalie nel funzionamento. Ognuno dei due sistemi deve chiaramente poter disporre di adeguata alimentazione (10-15 W per centralina) che nel caso di veicoli merci richiede l'adozione di un generatore a bordo carro.

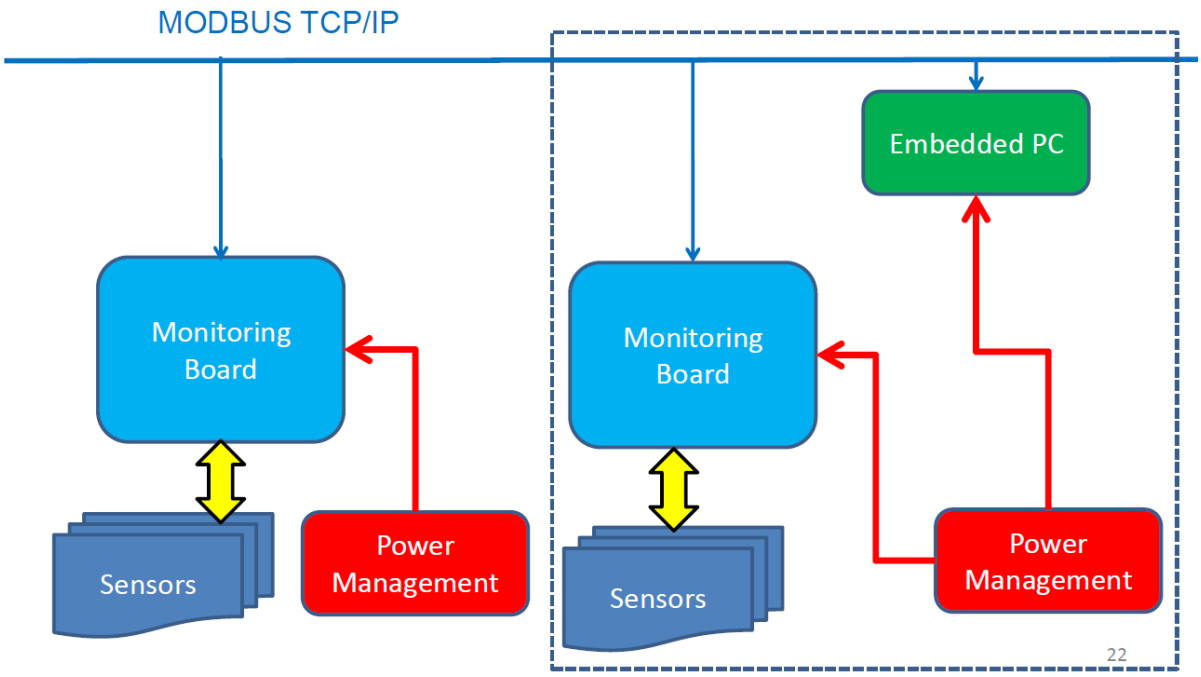

Figura 6: Interfaccia Utente durante il funzionamento del sistema

Il risultato dell'elaborazione dati può essere salvato o trasmesso ad un unità a disposizione del macchinista, o eventualmente ad un centro di controllo remoto. Durante le prove effettuate i dati rilevati sono stati salvati e trasmessi ad un unità portatile mediante rete WiFi.

4. FUNZIONI DIAGNOSTICHE

Il sistema di monitoraggio implementa diversi programmi eseguiti continuamente dal PC Embedded in un ciclo di controllo dei vari possibili problemi del veicolo. Il sistema dotato di Multiplexer richiede che i segnali siano opportunamente aggregati ed analizzati in gruppi per ciascuna funzione di monitoraggio. Si è scelto di aggregare quattro segnali di acquisizione perché risulta il numero minimo indispensabile ad eseguire funzioni comparative sulle boccole. Il sistema basato su processore ARM non presenta questa limitazione in quanto può analizzare tutti i segnali simultaneamente. A parte la necessità di aggregare e gestire i segnali per la prima tipologia di sistema, le funzioni diagnostiche eseguite dall'elaboratore sono sostanzialmente le stesse.
Dapprima viene rilevata la condizione di marcia, considerando la velocità del veicolo che viene continuamente acquisita e l'evento di accelerazione / decelerazione viene memorizzato in un registro a cui il programma attualmente eseguito è in grado di accedere.
Ciascun programma produce uno o più indice qualitativo per il componente o funzione considerata ed è in grado di generare un segnale di avviso quando l'indice supera il valore limite prestabilito. L'indice qualitativo è definito nello stesso modo per tutti i programmi, utilizzando valori interi dove: -1 anomalia del sensore; 0: condizione ottimale; 1: buone condizioni; 2: condizioni accettabili; 3: cattive condizioni; 4: condizioni critiche; 5: superiore a condizioni critiche (intervento immediato richiesto).

I programmi implementati sul PC Embedded sono descritti in tabella 1 ed illustrati in dettaglio nel seguito.

Tabella 1: Funzioni Diagnostiche

Programma	**Grandezza Monitorata**	Indici diagnostici
Prg. 1	Temperatura Cuscinetti	P1
Prg. 2	Temperatura Dischi freno	P2
Prg. 3	Accelerazione in Cassa	P3-P4-P5-P6-P7
Prg. 4	Accelerazione verticale boccola	P8-P9-P10-P11-P12-P13
Prg. 5	Accelerazione longitudinale boccola	P14-P15-P16-P17
Prg. 6	Accelerazioni laterale - long. boccola	P18
Prg. 7	Accelerazione Laterale boccola-cassa	P19

4.1 Prg1: monitoraggio della temperatura dei cuscinetti.

Questo programma utilizza due canali per misurare la temperatura sulle boccole (in modo iterativo) e la temperatura ambiente. Un'anomalia viene segnalata se viene rilevato una differenza importante tra la temperatura di una boccola e la temperatura media delle boccole. Due limiti sono stabiliti per la temperatura massima assoluta per definire la condizione critica (indice pari a 4) e l'estrema sovratemperatura (indice pari a 5). Per valori inferiori, la temperatura della boccola viene confrontata con un valore di riferimento che la boccola dovrebbe avere alla velocità corrente e pre - memorizzato nel sistema durante la fase di start-up (con nuovi cuscinetti). L'indice (indicata come P1 in figura 7) è impostata su un valore da 0 a 4 a seconda della differenza tra il valore teorico e il valore reale della temperatura. La figura 8 riporta andamenti rilevati sperimentalmente.

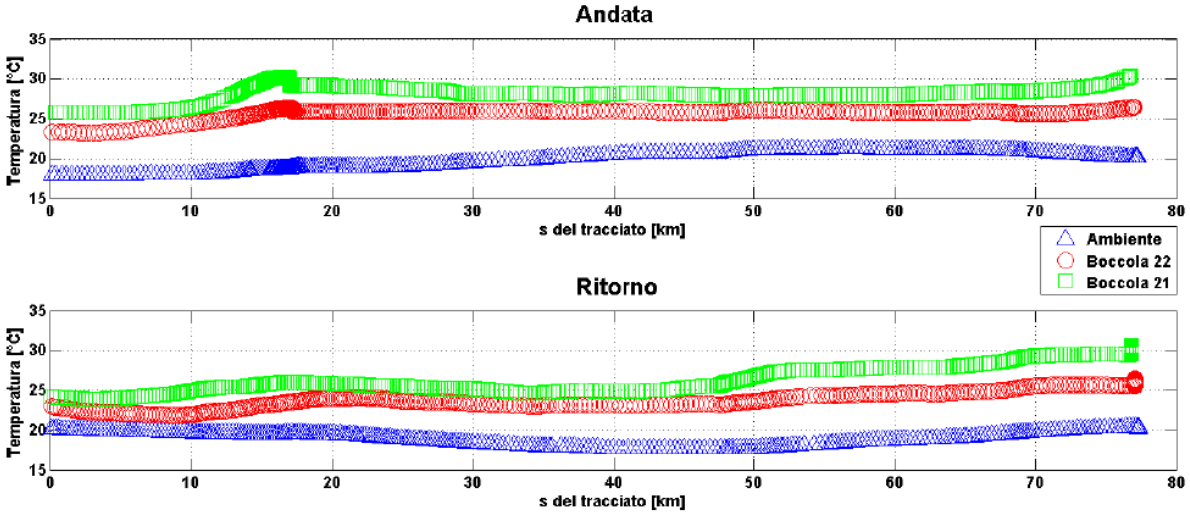

Figura 8: Andamenti di temperatura rilevati in linea sulla tratta San Severo - Peschici.

4.2 Prg2: Controllo della temperatura dei freni

Il secondo programma viene utilizzato per rilevare se una pinza freno rimane frenata durante il normale funzionamento. I sensori termici (termocoppia di tipo J) sono installati nei pressi della pinza freno e la loro temperatura è rilevata in modo iterativo rispetto alla temperatura ambiente. Se la temperatura di una pinza è superiore all'altra o la temperatura rimane elevata anche se lontano da eventi di frenatura (rilevata dalla riduzione di velocità) l'indice del freno (P2) è impostato su un livello alto (4-5 in caso di temperature critiche).

4.3 Prg3: Accelerazioni in Cassa

Il programma misura contemporaneamente le accelerazioni sulla struttura del veicolo attraverso un accelerometro triassiale capacitivo, montato direttamente sulla scheda di monitoraggio. Il quarto canale viene utilizzato per misurare alternativamente l'accelerazione su uno degli assi nella boccola. Le accelerazioni sulla struttura del veicolo vengono utilizzate per calcolare l'indice di comfort secondo

ISO 2631 [13] e UIC 513 [14], e il risultato viene scalato considerando la velocità attuale del veicolo e memorizzato in una scala 0-5. Le accelerazioni misurate sulla boccola sono usate per calcolare la funzione di trasferimento dalla boccola alla cassa in diverse direzioni. Questa funzione di trasferimento è confrontata con una funzione di trasferimento predefinita memorizzata nella fase di start-up, con il veicolo in buone condizioni, e può essere usato per rilevare il livello di degrado della sospensione secondaria. Un indice per il comfort (P3) e tre indici (P4-P6) per la condizione delle sospensioni sono definiti ei loro valori medi, minimi e massimi vengono memorizzati e aggiornati ad ogni esecuzione del programma. Le accelerazioni vengono anche utilizzate per definire un indice di sicurezza del veicolo (P7) secondo il metodo indiretto della UIC 518 [15] come illustrato in figura 9 durante i test in linea sulla S. Severo - Peschici.

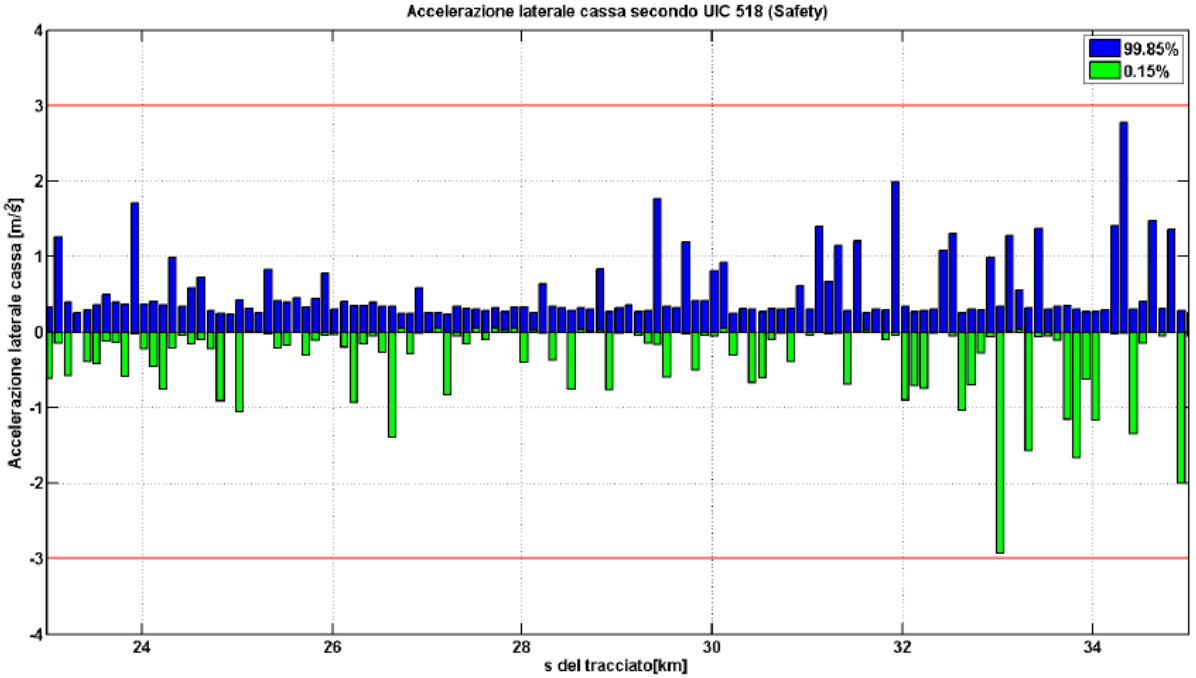

Figura 9: Andamenti dei valori di accelerazione laterale cassa trattati in accordo con UIC518.

4.4 Prg4: Accelerazioni verticali in boccola.

L'accelerazione verticale in boccola viene utilizzato per definire diversi allarmi. Il segnale è analizzato nel dominio della frequenza e confrontato con la frequenza fondamentale di rotazione delle ruote. La presenza di elevati valori di picco con la stessa frequenza di rotazione o suoi multipli indica un problema di ruota spiattellata o la poligonalizzazione della ruota [16] (indice P8). Se dei valori elevati di accelerazione vengono rilevati in corrispondenza alla frequenza di passaggio delle traversinesi presume che sia avvenuto un deragliamento (P9). Le accelerazioni delle diverse boccole sono confrontati tra loro, in termine di valore RMS dell'accelerazione, in un periodo di 10 secondi e in caso di anomalie ad una delle boccole che persiste nel tempo, viene prodotto un allarme per i corrispondenti elementi di sospensione (indicatori P10 a P13).

4.5 Prg5: accelerazione longitudinale in boccola.

L'accelerazione longitudinale è misurata su tutte le boccole e questo programma viene utilizzato per rilevare il danneggiamento dei cuscinetti, questa direzione è stato scelto perché non è fortemente influenzata dai difetti della ruota e del tracciato. Le accelerazioni vengono analizzate nel dominio della frequenza e la presenza di picchi nella banda dei componenti del cuscinetto (BPFO: frequenza relativa ai difetti della pista esterna di rotolamento, BPFI: : frequenza relativa ai difetti della pista interna di rotolamento, FTF: frequenza fondamentale del treno di sfere relativo ai difetti della gabbia, BSF: frequenza di rotazione della sfera) e confrontate rispetto ad uno spettro di riferimento per un cuscinetto in buono stato. Il valore limite viene definito usando un dispositivo di prova su cuscinetti con

danneggiamenti di entità nota sulle diverse componenti. La presenza di righe spettrali sulle frequenze tipiche produce un indice di danno (P14-P17) definito dividendo il campo di accelerazione nuova / danneggiato in sei classi.
Questo programma può essere utilizzato anche per verificare lo stato degli elementi di collegamento boccola-carrello confrontando la funzione di trasferimento tra due boccole rispetto ad una funzione di riferimento. Durante le fasi preliminari di messa in servizio del sistema, si valutano le funzioni di trasferimento boccola-carrello nel dominio delle frequenze su vari tracciati, determinando un inviluppo superiore ed inferiore ai punti assunti dal diagramma, come indicato in figura 10 dalle due curve nere. Le linee di inviluppo vengono memorizzate nel dispositivo e durante le prove, un superamento di tali curve evidenzia un deterioramento delle funzioni di trasferimento e quindi del collegamento boccola-carrello.

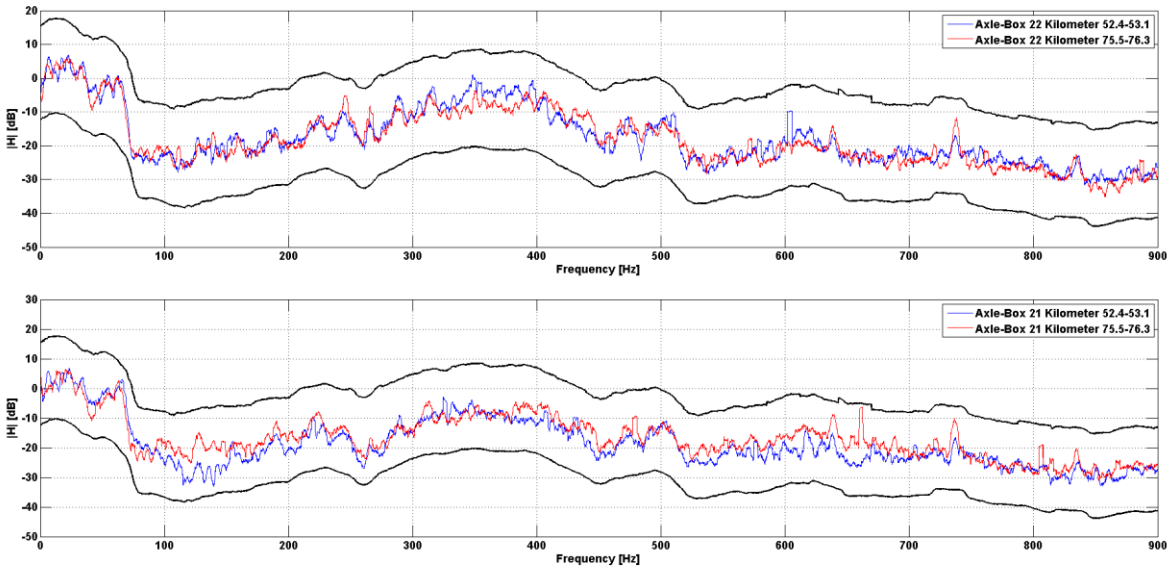

Figura 10: Analisi effettuata sulla funzione di trasferimento boccola-carrello.

4.6 Prg6: Accelerazione laterale-longitudinale in boccola

Questo programma misura e filtra l'accelerazione laterale al fine di stimare l'instabilità del veicolo, secondo i criteri definiti sulla UIC 518. L'armonizzazione tra il movimento laterale e longitudinale della sala e del carrello nella banda di frequenza del moto di serpeggio è utilizzato come criterio per definire un indice di instabilità (P18) per il comportamento subcritico.

4.7 Prg7: Accelerazione laterale in boccola e cassa.

Le accelerazioni laterali filtrate passa basso vengono utilizzate per verificare la presenza di curve e per rilevare se il veicolo sta percorrendo una curva ad alta velocità (P19); questo programma si attiva automaticamente se vengono rilevate elevate accelerazioni per più di 1 secondo sull'accelerometro laterale montato in cassa.

4.8. Determinazione degli indici relativi alle condizioni del veicolo

Questi programmi vengono eseguiti in modo ciclico dal sistema di primo tipo (multiplexer) o in modo continuo dal sistema di secondo tipo (Multicanale ARM), periodicamente gli indici registrati a ogni esecuzione sono immagazzinati su una memoria SD. Inoltre nel caso in cui gli indici siano superiori al limite accettabile (4 o 5) il programma che ha generato questi indici viene ripetuto e il codice di allarme viene pubblicato attraverso la rete Ethernet supponendo che un sistema di supervisione sia collegato alla rete. Il valore di tutti gli indici all'ultimo ciclo è continuamente pubblicato sulla rete, e il sistema di supervisione (un PC collegato alla stessa rete che esegue un codice specifico) può collegarsi al sistema di monitoraggio in qualsiasi momento imporre l'esecuzione di uno dei programmi e

analizzare direttamente i dati grezzi rilevati. La figura 2 mostra un fotogramma del programma di interfaccia durante una prova in linea.

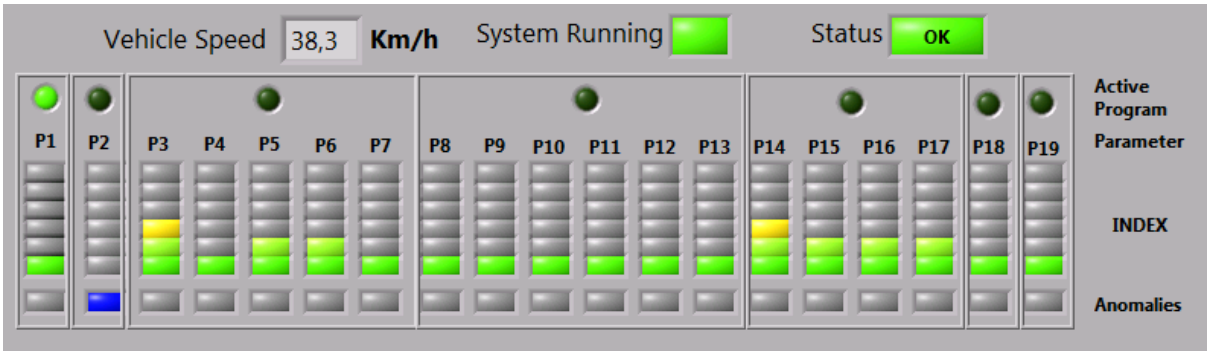

Figura 11: Interfaccia Utente durante il funzionamento del sistema

5. PROVE SPERIMENTALI

I due sistemi sono stati testati mediante prove sperimentali in laboratorio ed in linea. Le prove di laboratorio sono state utilizzate per mettere a punto gli algoritmi e calibrare i sensori ed i valori limite impiegati. Le prove in linea sono state effettuate per la validazione finale, e sono state condotte comparando i dati ottenuti con quelli di un sistema di acquisizione tradizionale che è stato fatto funzionare in parallelo. La configurazione dei sensori durante le prove è illustrata in figura 12.

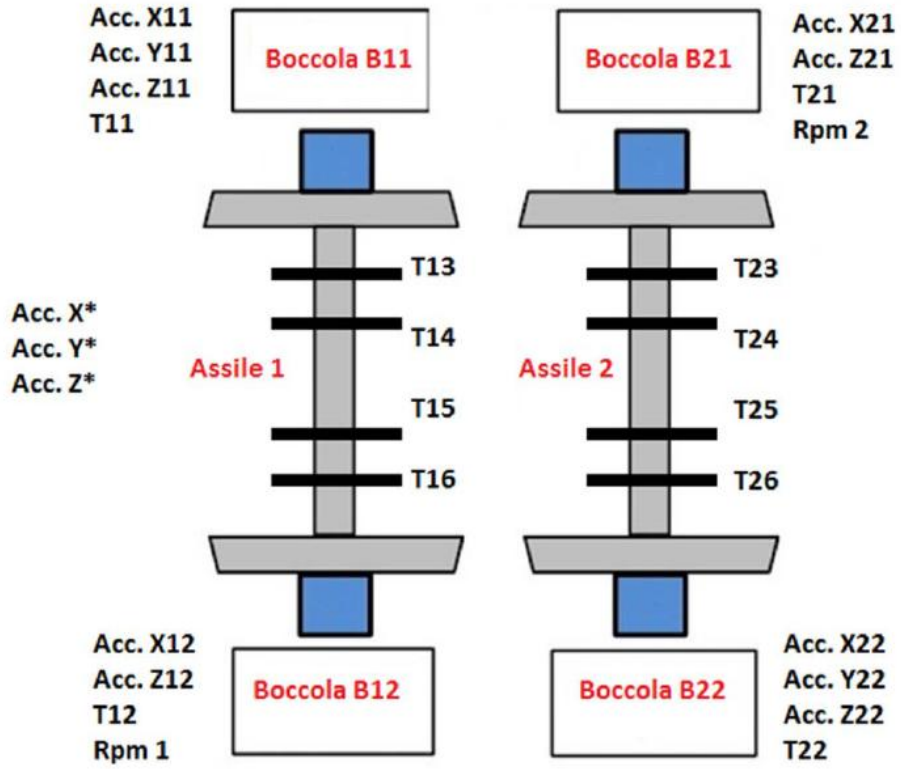

Figura 12: Layout dei sensori installati sul carrello.

5.1. Prove sulla linea Garganica (SanSevero - Peschici)

La prima tipologia di sistema è stata provata sulla linea San Severo – Peschici, equipaggiando un carro merce di tipo ORE, mostrato in figura 13. Le prove sono state portate avanti per calibrare il sistema di

monitoraggio ed allo stesso tempo per misurare i difetti di linea. Le prove sono state condotte ripetutamente sullo stesso tracciato in condizioni di marcia normale.

Figura 13: Sistema di monitoraggio Multicanale per un singolo carrello.

5.2. Prove sulla circuito di prova di Velim

Il secondo tipo di sistema è stato provato sul circuito sperimentale di Velim in Repubblica Ceca. In questo caso è stato equipaggiato un carro pianale con carrelli di tipo Y25, come indicato in figura 14.
Durante i test sono state effettuate prove di marcia in curva e rettilineo a velocità differenti, ma sono anche state simulate situazioni di marcia anomala. In particolare è stata raggiunta la velocità critica del veicolo ed è stata rilevata la risposta dei sensori in condizione di marcia instabile. Sono stati simulati difetti altimetrici della linea, mediante spessori collocati sulla sommità della rotaia e rilevata la risposta del veicolo a varie velocità. Infine sono state effettuate simulazioni di deragliamento, facendo passare il veicolo su dei cunei capaci di far sollevare la ruota.

Figura 14: Sistema di monitoraggio Multicanale per un singolo carrello.

6. CONCLUSIONI

Il lavoro ha illustrato due diversi sistemi di monitoraggio per veicoli ferroviari realizzati presso il Politecnico di Torino. La prima tipologia di architettura risulta maggiormente flessibile e riconfigurabile e presenta un vantaggio in termini di costi per quantitativi medio piccoli di produzione. Presenta lo svantaggio di avere un maggior numero di componenti, e quindi potenzialmente una

minore affidabilità. Il sistema si presta all'impiego su veicoli di tipo passeggeri dove la flessibilità di impiego costituisce un vantaggio competitivo. La seconda tipologia di sistema prevede un'unica scheda di monitoraggio indipendente, potenzialmente più affidabile e di facile ingegnerizzazione. L'eventuale riconfigurazione del sistema richiede tuttavia una parziale riprogettazione e rende il componente di interesse per quantitativi medio - alti (migliaia di componenti installati).
Entrambe e tipologie di sistemi hanno consentito di rilevare dati utili a determinare le anomalie di marcia del veicolo ed eventuali guasti ai componenti.

BIBLIOGRAFIA

[1] R. Sunder, A. Kolbasseff, K. Kieninger, A. Röhm, J. Walter, "Operational Experiences with Onboard Diagnosis System for High Speed Trains", WCRR 2001.
[2] M. Bannasch, "Railway Condition Monitoring System – Onboard diagnosis for bogies of high-speed trains" UIC Workshop Track/Vehicle Interaction 17 February 2005, Paris.
[3] O. Takuya, Y. Koichi; O. Nobuyuki; T. Katsuya, "Condition Monitoring for Shinkansen Bogies Based on Vibration Analysis" Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics, Volume 2, Issue 2, pp. 133-144 (2009).
[4] Kuře, G., Schmiechen, R.: Solutions for railway bogie condition monitoring. SKF Evolution magazine (2010) 1, pp. 25–27.
[5] Kuře, G.: Condition monitoring: the apotheosis of maintenance. International Railway Journal 49 (2009) 5, pp. 42–43.
[6] European Railway Agency, "Impact Assessment on the use of Derailment Detection Devices in the EU Railway System", Final Report, ERA/REP/03-2009/SAF.
[7] L. Gasparetto , S. Alfi, S. Bruni, "Data-driven condition based monitoring of high-speed railway bogies", International Journal of Rail Transportation, 1:1-2, 42-56, 2013.
[8] B.P. Graney, K. Starry, "Rolling Element Bearing Analysis" Materials Evaluation, Vol. 70, No.1, pp:78-85, 2011.
[9] W.H., Sneed, R.L., Smith, "On-board real-time railroad bearing defect detection and monitoring" Proceedings of the 1998 ASME/IEEE Joint Rail Conference.
[10] A. C. Lamari, "Rolling stock bearing condition monitoring systems" dissertation in fulfillment of ENG4111 and ENG4112 Research Project, University of Southern Queensland Faculty of Engineering and Surveying, 2008.
[10] J. Madejski, "Automatic detection of flats on the rolling stock wheels". Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Volume 16, issue 1-2, pp 160-163, 2006.
[11] A. Bracciali, G. Lionetti, M. Pieralli, "Effective Wheel Flats Detection Through A Simple Device". Techrail Workshop, Paris, 2002.
[12] N. Bosso, A. Gugliotta, N. Zampieri (2013) "A modular monitoring system for onboard vehicle diagnostic." WCRR 2013, 10th world congress on railway research, Sydney, Australia 25th - 28th November 2013.
[13] ISO2631-1/4, "Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration", 1997.
[14] UIC513, "Guidelines for evaluating passenger comfort in relation to vibration in railway vehicles ". UIC leaflet, 1994.
[15] UIC518, "Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour - Safety - Track fatigue - Ride quality". UIC leaflet, 2009.
[16] M. Meywerk, "Polygonalization of railway wheels". Archive of Applied Mechanics, Volume 69, Issue 2, pp 105-120, 1999.
[17] N. J. Redondo, N. Bosso, L. Zeni, A. Minardo, F. Schubert, F. Heinicke, A. Simroth, "Automated and Cost Effective Maintenance for Railway (ACEM–Rail)", Procedia - Social and Behavioral Sciences, Volume 48, Pages 1058–1067, 2012.