

Sensore software per la rilevazione della presenza, posizione, velocità, e composizione di convogli ferroviari in transito.

Dott. Ing. Matteo Lucarelli

Tecno Safety Systems S.p.A - Via Nigarzola, 4
Lallio (Bergamo), Italia
e-mail: matteo.lucarelli@tecnosistemi.it

Dott. Ing. Marco De Michele

Tecno Safety Systems S.p.A - Via Nigarzola, 4
Lallio (Bergamo), Italia
e-mail: marco_demichele@hotmail.com

Dott. Carlo Spada

Tecno Safety Systems S.p.A - Via Nigarzola, 4
Lallio (Bergamo), Italia
e-mail: carlo.spada@tecnosistemi.it

Ing. Leonetto Bordignon

Tecno Safety Systems S.p.A - Via Nigarzola, 4
Lallio (Bergamo), Italia
e-mail: leo.bordignon@tecnosistemi.it

SINTESI

Nel presente lavoro viene presentato un nuovo tipo di sensore software, realizzato grazie alla collaborazione di RFI spa, Direzione Tecnica di Roma e della Direzione Compartimentale di Torino e facente parte di un sistema di sicurezza atto alla identificazione di anomalie termiche sui convogli ferroviari (Portale Termografico Ferroviario). Questo sistema è stato installato a protezione di una galleria ferroviaria da RFI Direzione Compartimentale Infrastruttura di Torino.

Tale sensore software, nominato per brevità RSPM (Railway Speed and Position Measurement), ha lo scopo di rilevare presenza, posizione, velocità e composizione del convoglio in transito, tramite la rilevazione dei segnali generati da un array di sensori elettromagnetici di prossimità, posti lungo il binario.

Durante il transito genera uno o più treni d'impulsi, la cui frequenza è adeguata in tempo reale alla dimensione lineare del veicolo mediante il calcolo della sua velocità.

Durante il passaggio viene inoltre acquisita la disposizione degli assi del convoglio tramite la generazione di un'impronta degli stessi. Successivamente l'unità di elaborazione, tramite un sistema esperto, volto all'elaborazione di tale impronta, calcola l'esatta composizione del convoglio (n° di assi, n° di vagoni, tipologia dei singoli vagoni, lunghezza degli stessi e dell'intero convoglio), in maniera che essa sia spazialmente referenziata e quindi possa essere utilizzata come sistema di riferimento per qualsiasi ulteriore rilevazione che venga sincronizzata tramite i treni d'impulsi emessi dal sensore stesso.

Tale dispositivo può essere impiegato quindi in sistemi più complessi con lo scopo precipuo di identificare guasti, mantenere le risorse materiali del parco ferroviario, ottimizzare il carico-scarico merci in sistemi automatizzati quali piattaforme multimodali di trasporto o con fini puramente logistici e di data mining.

I risultati ottenuti sul campo sono stati incoraggianti e quindi promettenti per il futuro.

PAROLE CHIAVE: OTTIMIZZAZIONE DI PROCESSO, IDENTIFICAZIONE DEI GUASTI, SISTEMI IBRIDI, SENSORI SOFTWARE

ABSTRACT

In this work a new kind of virtual sensor is described. It is realized together with RFI spa, Technical Management of Rome and Technical Local Management of Turin, and is part of a safety system that detects train's overheating (Railway Thermal Portal)). This system is installed and actually working to protect a railway tunnel by RFI Local Management (Turin).

This virtual sensor, named RSPM (Railway Speed and Position Measurement), detects presence, position, speed and composition of the moving train, using as an input signals generated by an array of electromagnetic sensors located on the railroad.

While the train is moving, it generates one or many signals, whose frequency is adapted real-time to the vehicle's real linear dimension, by means of calculation of train's speed.

During the train's transit the wheels' s sequence of the train is acquired; the elaboration unit of the sensor by an expert system, analyzes it and calculates the exact train's composition (wheels' s number, wagons' s number, wagon's type, wagon's length, train's length), so that the reconstructed composition is spatially referenced and it arranges a reference for any further observation that is synchronized by means of signals generated by the virtual sensor.

This kind of device can be applied in more complex systems to detect breakdowns, for the maintenance of material resources of the railway company, to optimize loading-unloading operations in multi-modal platform or for logistic and data mining purposes.

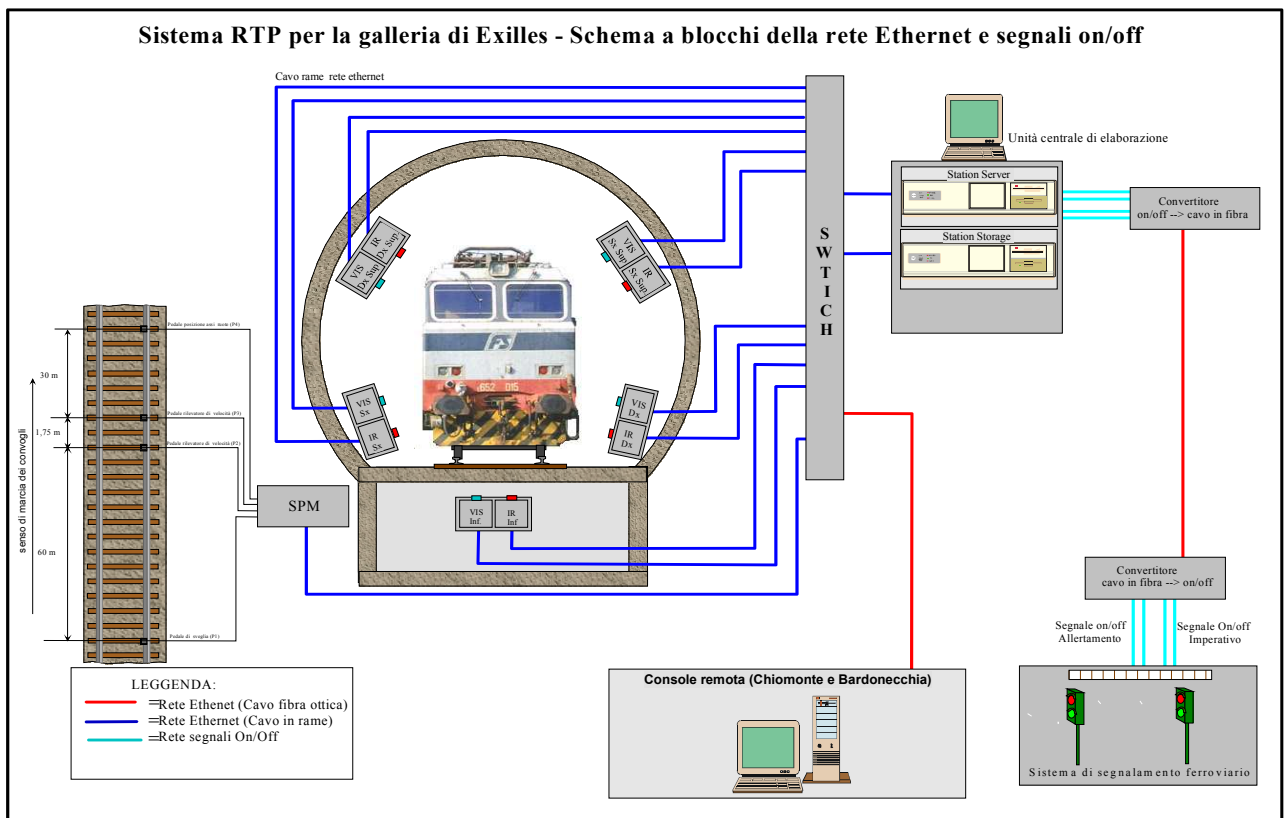
The results obtained on site are encouraging and promising for the future.

KEYWORDS: PROCESS OPTIMIZATION, BREAKDOWNS DETECTION, HYBRID SYSTEMS, VIRTUAL SENSORS

1 INTRODUZIONE

L'idea di realizzare RSPM (Railway Speed and Position Measurement) nasce all'interno di un più ampio progetto realizzato grazie alla collaborazione di RFI spa, Direzione Tecnica di Roma e della Direzione Compartimentale di Torino, per la messa in sicurezza dei tratti ferroviari in galleria; tale progetto, denominato RTP (Railway Thermographic Portal) è sfociato nella realizzazione di un sistema per il monitoraggio delle condizioni termiche di convogli ferroviari, in grado di fornire informazioni sulla linea di segnalamento ferroviario, per la prevenzione di incendi incipienti, o per segnalare il surriscaldamento di parti, maggiormente usurabili, del veicolo ferroviario (mozzi, freni, boccole, ecc...), al di sopra di soglie statisticamente prestabilite come valori di normale funzionamento. Tale sistema è stato installato ed è attualmente funzionante presso il compartimento di Torino.

E' necessario quindi dare una breve e sommaria descrizione di tale sistema per poter comprendere gli scopi e gli obiettivi che hanno portato alla realizzazione di RSPM.



Il portale termografico ferroviario (schema esemplificativo di Figura 1.) è costituito dai sensori di immagine IRL (in campo infrarosso ed in campo visibile) utilizzati per l'acquisizione e l'analisi delle immagini e dal sensore software (RSPM), oltre che da un SERVER che coordina la comunicazione tra le macchine e da un sistema STORAGE per il back-up dei dati.

I sensori di immagine IRL sono costituiti da scanners lineari ad alta velocità che, sincronizzati a dovere, permettono di riprendere i veicoli in movimento, anche a notevoli velocità (oltre 250km/h), senza apprezzabili distorsioni di forma.

Lo scopo del sensore software RSPM internamente al portale termografico è triplice:

- a) Rilevamento della presenza del convoglio ferroviario, ovvero attivazione per il resto del sistema nel momento in cui la parte iniziale del convoglio in transito si appresta ad arrivare nelle vicinanze dell'area di acquisizione.
- b) Sincronizzazione dell'acquisizione delle immagini da parte di tutti i sensori, tramite un segnale proporzionato in tempo reale alla dimensione lineare del veicolo mediante il calcolo della sua velocità.
- c) Riconoscimento e ricostruzione della composizione del convoglio, proporzionata in tempo reale alla dimensione lineare del veicolo, necessaria come sistema di riferimento per la successiva fase di analisi termografica, operata dal sensore IRL, dell'immagine infrarossa, acquisita dall'IRL stesso.

Partendo da questi obiettivi, RSPM deve poter soddisfare le seguenti caratteristiche:

- a) Velocità di acquisizione e calcolo in tempo reale, così da poter garantire la sua funzionalità anche per transiti, fino ad una velocità massima di almeno 250 km/h. (velocità limite, nel caso del portale termografico ferroviario, dovuta alla capacità limite di scansione del sensore infrarosso).
- b) Resistenza nel tempo alle sollecitazioni ambientali dovute al passaggio del convoglio stesso (vibrazioni meccaniche, campo elettromagnetico indotto, deposito di articolato, polveri, ecc...).
- c) Capacità di classificazione dei differenti convogli ferroviari in transito, così da effettuarne il riconoscimento.

2 METODOLOGIA

Dal punto di vista hardware si è dovuta garantire una serie di esigenze propriamente caratterizzanti il sistema, ovvero una modularità tale da permetterne l'utilizzo in accoppiamento ad un numero variabile di sensori di input; una grande duttilità nella gestione dei segnali di output; una grande rapidità di risposta per poter ottenere un sistema in grado di adeguarsi istantaneamente alle variazioni delle grandezze osservate.

Inoltre per ottenere un dispositivo adatto all'installazione su reti ferroviarie è stato necessario soddisfare alcune esigenze specifiche di questo ambito, come la minima invasività rispetto alle infrastrutture ferroviarie, ed alle procedure per la loro manutenzione soprattutto in riferimento alla parte sensoristica che interagisce direttamente con il mezzo e la linea ferroviaria.

Sistemi analoghi già presenti in paesi extraeuropei sono in grado di identificare la presenza di convogli e la loro direzione ma non sono in grado di gestire in modo continuo e sufficientemente preciso i dati di velocità istantanea del convoglio.

Si è cercato quindi di utilizzare degli elementi base già presenti in ambito ferroviario e di integrare i componenti non soddisfacenti le nostre specifiche con soluzioni originali mutate da altri ambiti o sviluppate ad hoc.

La scelta è quindi caduta su dei sensori a induzione elettromagnetica fissati ai binari già utilizzati da alcune compagnie ferroviarie predisponendo un sistema di condizionamento e acquisizione ed elaborazione sviluppato specificatamente e posto in una nicchia della galleria sede dell'installazione.

Per quanto riguarda le scelte relative all'architettura software ci si è orientati verso una tecnologia ampiamente sperimentata e collaudata: programmazione C++ e sistema operativo professionale commerciale. Tale tecnologia è utilizzata da tempo e con successo in vari ambiti all'interno dei progetti sviluppati presso T.S.S., era quindi da parte nostra una scelta naturale in quanto ampiamente conosciuta e padroneggiata. A ciò va aggiunta la disponibilità immediata di software di gestione (librerie dinamiche e device-drivers) dell'hardware scelto. I dubbi relativi all'affidabilità in ambito industriale di un sistema operativo complesso, e principalmente orientato all'ambito desktop, si sono rivelati, alla prova dei fatti, infondati.

Lo sviluppo in C++, quindi secondo un approccio "ad oggetti", si rivela invece vincente per una corretta suddivisione delle funzioni, e per la possibilità offerta in termini di riutilizzo e test separato del codice.

In Figura 2. viene illustrata sinteticamente la divisione in oggetti del codice:

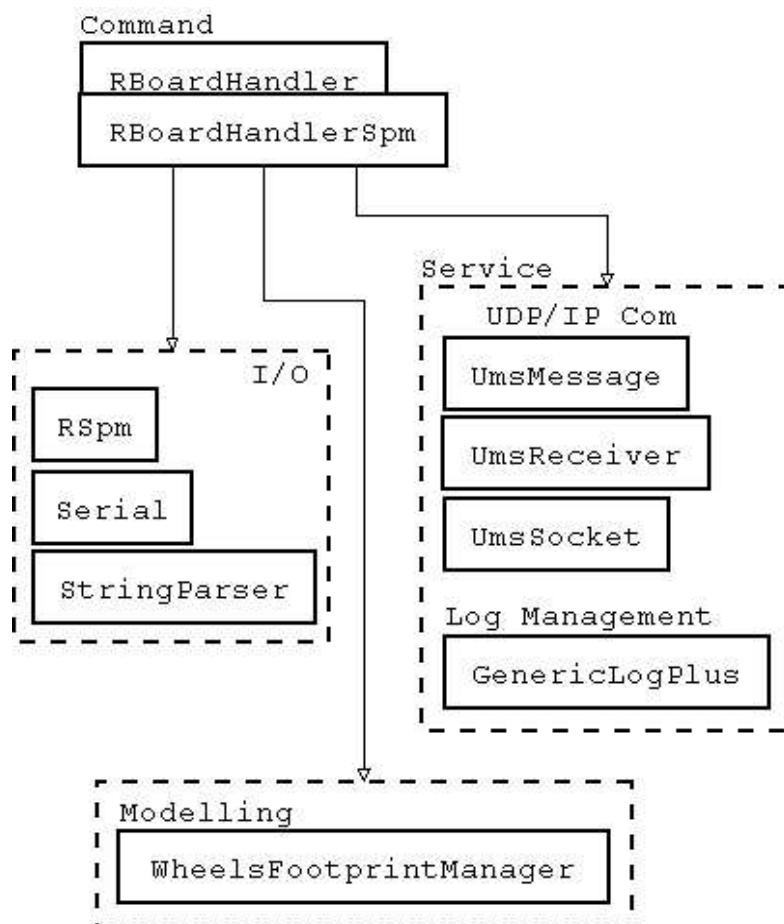


Figura 2. Schema della divisione in oggetti/classi del codice.

3 IMPLEMENTAZIONE

3.1 Hardware

Il sistema RSPM tramite la rilevazione dei segnali generati da una serie di sensori elettromagnetici di prossimità, genera durante il transito dei convogli uno o più treni d'impulsi, la cui frequenza è adeguata in tempo reale alla dimensione lineare del veicolo mediante il calcolo della sua velocità.

Un'unità centrale e una serie di sensori situati sui binari sono gli elementi che compongono il sistema. La prima, tipicamente posta in una nicchia della galleria in un armadio da elettronica coibentato ed isolato, racchiude in sé l'unità di acquisizione ed elaborazione e le componenti di condizionamento dei segnali input e output.

I sensori posizionati sul binario sono in numero variabile e la loro funzione può variare a secondo della configurazione, nell'installazione esistente ne risultano presenti 5.

Il primo, utilizzato per attivare l'operatività del sistema e per contare gli assi dei convogli transitanti è posto 90 metri prima del punto di misura. La sua posizione è decisa in base alla velocità massima dei treni in modo da dare agli altri dispositivi il tempo necessario ad attivarsi prima che il convoglio transiti. Nel caso dell'installazione realizzata, essendo la velocità massima della tratta 100 Km/h, l' RTP ha oltre 3 secondi per attivarsi.

Il secondo e terzo sensore sono utilizzati in coppia per misurare la velocità 30 metri prima del piano di misurazione dell'impianto accoppiato al sensore. Posti a 1.75 m di distanza tra loro registrano il tempo che ogni asse impiega a transitare da uno all'altro fornendo i dati per il calcolo della velocità. La distanza tra i due deve essere inferiore alla minima possibile distanza tra due assi successivi dei convogli

in transito (per evitare false letture date dalla rilevazione di due ruote differenti dai due sensori), deve comunque essere sufficientemente grande allo scopo di minimizzare l'indeterminazione temporale della catena di acquisizione. Queste condizioni devono essere soddisfatte su tutto l'intervallo di velocità di transito dei convogli (5-100 Km/h).

Il quarto ed quinto sensore sono posizionati sul punto di misura per registrare l'impronta degli assi del treno. Sarebbe sufficiente un solo sensore per questo scopo ma si è preferito usarne due, uno sulla rotaia destra, uno su quella sinistra, per evitare mancate rilevazioni ed errori dovuti allo scodare del treno, trovandoci all'ingresso di una curva, o ad altri aspetti che vedremo in seguito analizzando il posizionamento dei sensori. Una successiva elaborazione sul doppio segnale permette infatti di ridurre le false acquisizioni.

Aggiungendo 3 sensori specularmente rispetto ai due dell'impronta si ottiene un sistema in grado di monitorare i treni in entrambe le direzioni. Tale risultato è ottenibile anche accoppiando un sensore gemello in direzione contraria.

Il posizionamento dei sensori elettromagnetici è ovviamente parametrizzato allo scopo di essere adattato alle varie condizioni reali di installazione. E' comunque stato oggetto di attento studio tramite simulazione essendo, in effetti, l'unica operazione "invasiva" nei confronti della normale operatività della linea ferroviaria.

3.1.1 Unità di elaborazione

L'unità di elaborazione acquisisce ed elabora i dati provenienti dai sensori e genera i segnali e i sincronismi di uscita.

Per avere a disposizione un'adeguata potenza di calcolo ed una robustezza sufficiente è stato assemblato un pc industriale con CPU da 1GHz dotato di una scheda counter-timing con 32 I/O digitali, 8 contatori configurabili con sorgente esterna o interna (100KHz o 20Mhz).

Essendo i segnali da noi trattati nell'ordine dei KHz abbiamo a disposizione una risoluzione superiore di un ordine di grandezza rispetto a quella necessaria, possiamo quindi ottenere grande precisione. E' inoltre garantita una ottima stabilità dal fatto che i componenti lavorano lontano dai limiti delle loro prestazioni.

Il gran numero di I/O e di contatori di cui l'unità è dotata permette inoltre di gestire diversi segnali con la possibilità di ottenere configurazioni complesse legate ad eventi esterni e alla gestione di diversi processi.

Il computer è inoltre dotato di collegamento ethernet per comunicare via IP e di porte seriali per essere interfacciato a sistemi gemelli.

3.1.2 Modulo di condizionamento output

Il sistema di condizionamento per i segnali di output serve per dare potenza e moltiplicare i canali in uscita dalla scheda di counter-timing.

Potenziando il segnale TTL/CMOS compatibile possiamo trasmetterlo a distanze di decine di metri senza che venga attenuato e in modo da resistere al rumore presente.

Il modulo da noi sviluppato appositamente si basa su una serie di amplificatori di linea e optoisolatori veloci.

3.1.3 Modulo di condizionamento input

Questo componente gestisce i segnali provenienti dai sensori a induzione. Le funzioni principali sono trasformare il segnale in corrente del sensore in uno standard acquisibile dalla scheda di timing e filtrare eventuali disturbi. Ogni canale (max 8) viene prima trasformato in un normale DC a 3 fili normalmente aperto per poi essere riportato tramite optoisolatori in forma TTL/CMOS compatibile. Durante la progettazione è stata prestata particolare attenzione a mantenere una banda passante dell'ordine delle centinaia di KHz.

3.1.4 Sensori ad induzione

I sensori di prossimità ad induzione elettromagnetica utilizzati sono dispositivi già presenti sul mercato estero per la rilevazione di ruote di convogli ferroviari transitanti fino a 450 Km/h (in Figura 3. è mostrata una fotografia di tale dispositivo). Consistono di un oscillatore, un demodulatore e un circuito di trigger che genera un segnale digitale in corrente. L'oscillatore ad alta frequenza (230KHz) ha un circuito magnetico aperto che genera un campo elettromagnetico; quando una massa metallica entra in questo campo lo modifica smorzando l'oscillatore. Internamente questo viene trasformato in un cambio dello stato della corrente.

Oltre che garantire robustezza e affidabilità necessari in ambiente ferroviario (resistenza agli urti e alle vibrazioni, protezione contro cortocircuiti, sovratensioni e disturbi veloci) presentano delle caratteristiche fondamentali per RSPM: velocità di risposta inferiore ai 10 μ s e massima frequenza di dati superiore a 400 Hz.



Figura 3. Fotografia di un sensore di prossimità ad induzione elettromagnetica.

Nella selezione e' stata tenuta in considerazione anche la mancanza di operazioni di manutenzione e la semplicità di montaggio che può avvenire senza forare le rotaie tramite particolari ganasce di supporto.

Il punto delicato dell'installazione si è rivelato la regolazione iniziale della posizione. Infatti avendo il sensore un' area di rilevazione ampia solo 26.5mm, bisogna tenere presente tutti i possibili tipi di ruote e posizionare il sensore in modo da essere sufficientemente vicino a tutte ma senza essere schiacciato da nessuna. Inoltre essendo il punto di installazione in prossimità di una curva bisogna tenere presente gli effetti dovuti alla conicità delle ruote che spostano trasversalmente il convoglio. Anche l'usura del binario ha un ruolo importante perché incide sulla geometria del sistema per alcuni millimetri.

Terminata la sperimentazione e regolato il sistema nella giusta posizione l'utilizzo di ganasce di fissaggio permette comunque una rapida risistemazione nel caso di sostituzione del binario.

In questa configurazione il sistema si è rivelato adeguatamente robusto e sufficientemente preciso.

Lavorando con segnali digitali il rumore residuo risulta trascurabile soprattutto dai sensori all'unità centrale essendo un segnale in corrente e non in tensione.

Considerando tutta la catena di acquisizione l'indeterminazione temporale sul passaggio degli assi risulta essere dell'ordine dei 10 μ s. Ciò significa una imprecisione sulla stima della velocità inferiore all'1 per mille.

L'intervallo di velocità di transito all'interno del quale il sistema compie la misurazione risulta tra 10Km/h e 130 Km/h, in quanto non è richiesto di più sulla tratta dove è stato installato, ma ottimizzando le configurazioni si può raggiungere la velocità limite di 450 Km/h (limite posto dai sensori).

Caratteristiche generali:

- Da 1 a 8 input.
- Comunicazione rete.
- Comunicazione seriale con gemello.
- Bidirezionalità.
- Velocità massima 450 Km/h.
- Output completamente configurabili.
- Reazione in tempo reali sui dati di transito.
- Sensori senza manutenzione.
- Praticamente nessun intralcio alle operazioni di manutenzione sui binari.
- Facile installazione.
- Gestione da remoto.

3.2 Software

Il software di gestione dello strumento può essere suddiviso in tre funzioni distinte:

- Funzioni di INPUT e OUTPUT dei segnali.
- Funzioni di MODELLIZZAZIONE e LOGICA.
- Funzioni di COMANDO e COMUNICAZIONE.

3.2.1 Funzioni di input e output

Tutte le funzioni di gestione in tempo reale dei segnali acquisiti ed emessi sono raggruppate nella classe denominata CRSPm. All'interno di tale oggetto si raccolgono tutte le funzioni di gestione della scheda di timing, quindi:

- Acquisizione e condizionamento software dei segnali.
- Interpretazione degli input semplici (ad esclusione quindi dell'impronta degli assi che richiede, per complessità, un trattamento a sé stante).
- Emissione dei segnali di output (sincronismi esterni).
- Comunicazione seriale (utile a sincronizzare il sensore con un apparecchio gemello).

Il motivo del raggruppamento delle funzioni di input e di output va ricercato nella necessità di uno stretto coordinamento tra le stesse, allo scopo di ottenere una buona risposta da parte del sistema alle variazioni di posizione e velocità del veicolo in analisi. Si ricorda che per funzioni di output, in questo contesto, si intende la generazione di uno o più treni di impulsi atti a sincronizzare apparecchi esterni di rilevazione del transito in analisi. Altre funzioni di I/O, come la comunicazione su rete IP, sono descritte come funzioni di contorno.

Le funzioni di competenza della classe CRSPm sono realizzate da una serie di threads (cicli asincroni indipendenti), ognuno dei quali è preposto alla gestione di un singolo segnale:

Thread CW: attivazione del sistema e conteggio assi. Gestisce un contatore accoppiato al pedale elettromagnetico n°1. Realizza un ciclo infinito che svolge le seguenti funzioni:

- Attende che il conteggio assi cominci ad incrementarsi (quindi un transito in corso) oppure che si riceva una velocità dal Thread SP (quindi un transito è in corso sull'eventuale sensore gemello accoppiato).
- Invia un segnale di reset al Thread ES (thread di valutazione della velocità).
- Azzera la struttura di controllo degli errori (reset).
- Invia un segnale di start alla classe di comando.
- Attende la fine del transito (nessun ulteriore incremento nel conteggio assi).
- Legge e salva il conteggio assi complessivo.
- Invia un segnale di stop alla classe di comando.

Thread ES: valutazione della velocità. Realizza un ciclo infinito che arma un contatore accoppiato ai pedali elettromagnetici n°2 e 3 (il contatore parte ad un impulso del pedale 2 e si arresta ad un impulso del pedale 3). Ad ogni scatto del contatore calcola ed aggiorna il valore di velocità e ne forza la rilettura da parte del generatore di sincronismi. Attua inoltre una semplice filtro configurabile (minimo, massimo e massima variazione) sul valore di velocità.

Thread SP: gestione della comunicazione seriale. Realizza un ciclo infinito che svolge le funzioni di gestione della comunicazione seriale, in modalità bidirezionale a mutua esclusione. Quando non è presente nessun transito resta in ascolto, sulla porta seriale, di un eventuale segnale da parte del (eventuale) sensore gemello. Quando un transito è presente, segnalato dal Thread CW, scrive sulla porta seriale i valori di velocità calcolati dal Thread ES, fino ad esaurimento del transito. Quando una velocità è ricevuta dalla porta seriale emette un segnale di start-up per i meccanismi accoppiati, legge ed aggiorna tale velocità ad uso del generatore di sincronismi, emette un segnale di reset al termine della ricezione.

Thread FP: acquisizione dell'impronta degli assi, accoppiato ai pedali 4 e 5. Durante il transito un contatore (azzerato dal Thread CW) tiene traccia del numero di sincronismi emessi. Ad ogni impulso del pedale elettromagnetico accoppiato, il valore corrente viene salvato in un array. Al termine del transito si ottiene in questo modo un'impronta della disposizione degli assi del convoglio indipendente dalla velocità, perché espressa in termini di sincronismi emessi, che sono proporzionati alla velocità in tempo reale durante il transito. Il fatto di esprimere l'impronta acquisita in termini di sincronismi emessi permette di disporre in una forma estremamente comoda durante l'utilizzo della stessa. Infatti essa può essere utilizzata come sistema di riferimento per qualsiasi ulteriore rilevazione che venga sincronizzata tramite i treni d'impulsi emessi dal sensore stesso.

Thread NO: generazione dei segnali di sincronismo. Questo thread realizza la generazione di uno o più treni di impulsi adattati in tempo reale alla velocità rilevata. Tali impulsi sono variamente configurabili all'interno delle possibilità messe a disposizione dall'hardware adottato.

La messa a punto del sistema di timing e sincronizzazione tra i vari thread di processo (stima dei tempi di attesa) viene effettuata tramite una serie di parametri letti all'avvio dell'applicativo. Tali parametri esprimono essenzialmente le misure geometriche della specifica installazione (distanze tra i pedali, distanza tra il sensore e il piano di misura degli apparecchi accoppiati, ecc). In questo modo è possibile adattare il sensore a varie condizioni di funzionamento in modo semplice, senza quindi dover entrare nel dettaglio di funzionamento ma fornendo semplicemente delle misurazioni spaziali lineari.

3.2.2 Funzioni di modellizzazione e logica

Tutte le funzioni di modellizzazione e logica sono raggruppate nella classe denominata CWheelsFootprintManager. All'interno di tale classe si raccolgono tutte le funzioni che effettuano sostanzialmente le seguenti operazioni:

- Creazione di un'unica impronta degli assi (input per il successivo riconoscimento) a partire dalle due fornite dai due pedali posti simmetricamente sul binario.
- Filtro logico del rumore eventualmente ancora presente nell'impronta degli assi selezionata.
- Riconoscimento tramite sistema esperto che sulla base delle interdistanze tra gli assi effettua la ricostruzione dello schema del convoglio.

La distanza di ogni asse rispetto ad un'origine nota è registrata in un file. Tale informazione, come detto, non è altro che l'impronta degli assi del convoglio ferroviario, che il sistema di gestione I/O acquisisce e registra su disco; tale operazione è ripetuta per entrambi i pedali, così da acquisire una doppia impronta.

A partire da due impronte rese disponibili dal sistema di gestione I/O, viene scelta quella utilizzata per l'elaborazione. Esse sono corrispondenti alla rilevazione effettuata da due sensori di prossimità posti simmetricamente sulle due rotaie costituenti il binario. L'impronta viene scelta secondo lo schema illustrato in Figura 4., sulla base del quale viene selezionata l'impronta migliore tra le due o un incrocio delle stesse.

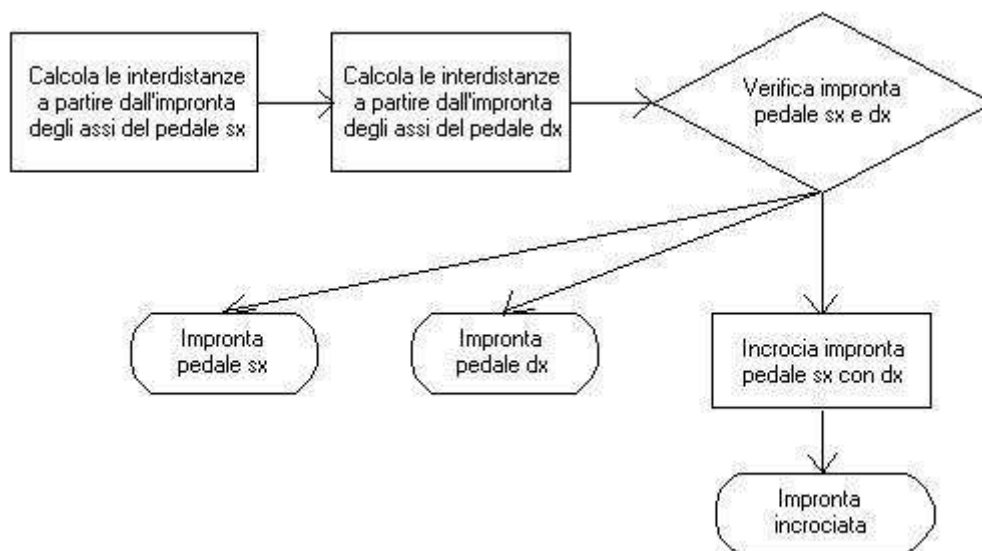


Figura 4. Schema sintetico per il trattamento della doppia impronta.

L'impronta naturalmente prima di essere elaborata viene filtrata e adattata per la presenza eventuale di rumore. Il rumore che la caratterizza può essere classificato come segue:

- Assi mancanti.
- Falsi assi.
- Distanze tra gli assi sottostimate rispetto ai valori di riferimento.

Il filtro provvede ad eliminare tutti gli assi con interdistanze da quelli adiacenti inferiori ad una certa soglia di riferimento, considerata soglia limite per il rumore; successivamente adatta tutte le interdistanze superiori alla soglia di rumore ed inferiori alla soglia considerata come la distanza minima

possibile tra due assi adiacenti, così da poter fornire con una certa elasticità e robustezza, l'input utile per la successiva elaborazione.

Lo schema del filtro è schematizzato in Figura 5.

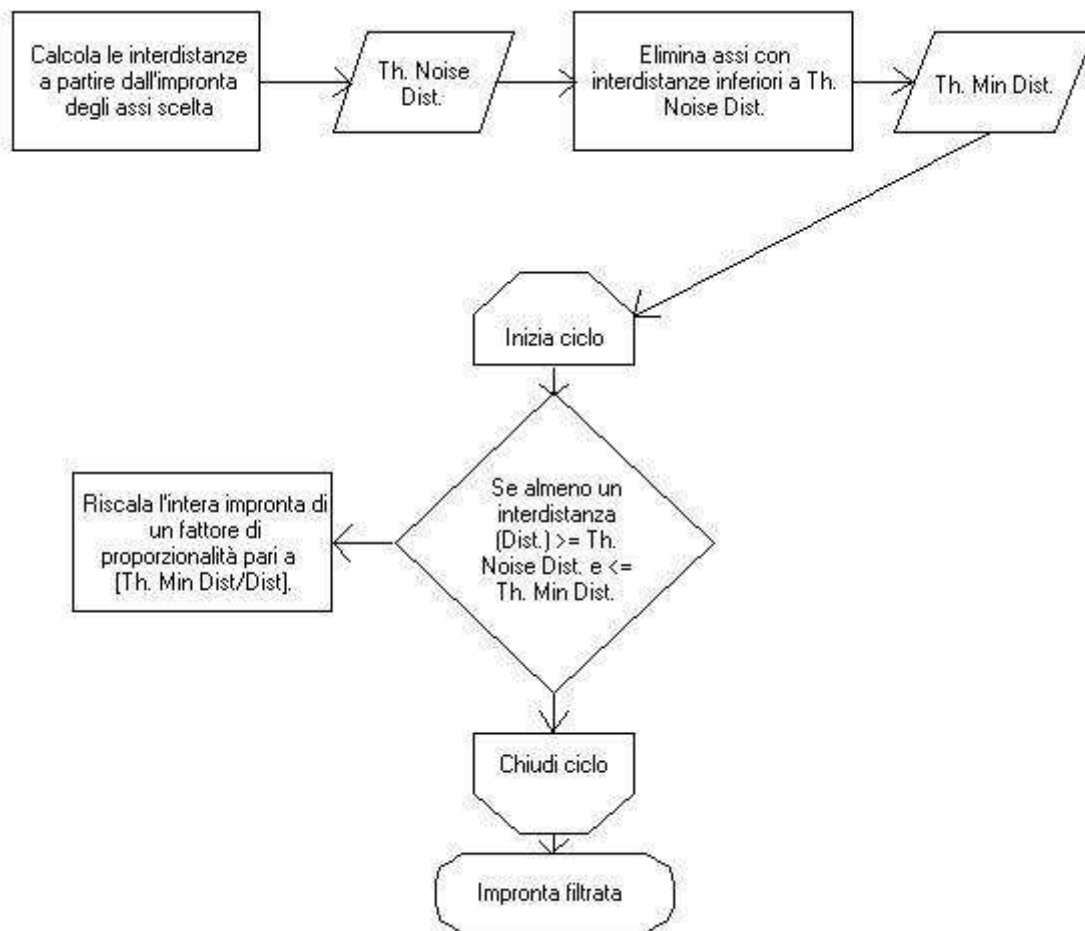


Figura 5. Schema filtro rumore.

Per quanto riguarda gli assi mancanti è il sistema esperto, che effettua successivamente il riconoscimento, ad essere in grado di riconoscere i moduli ferroviari anche in mancanza di alcuni degli assi.

Nella Figura 6. è rappresentata graficamente una parte di tale impronta e la relativa ricostruzione dello schema del convoglio.

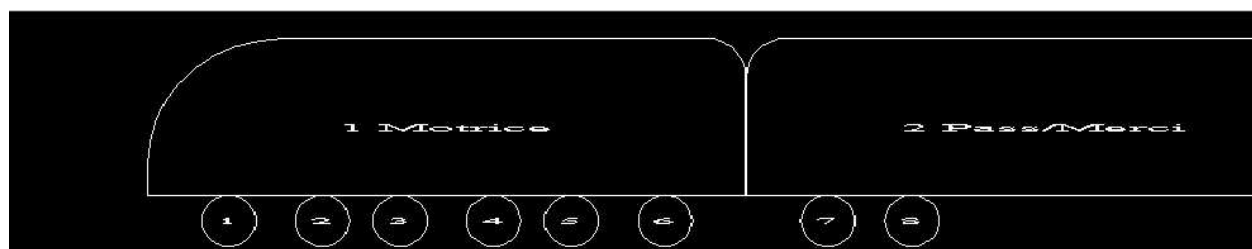


Figura 6. Particolare impronta degli assi di un convoglio transitato nel portale termografico (RTP).

Il riconoscimento viene effettuato sia sul singolo veicolo costituente il treno che sull'intero convoglio. Tale classificazione viene eseguita da un sistema esperto che è in grado di discernere inizialmente tra i

differenti moduli ferroviari con cui i treni vengono formati ed in seguito di riconoscere il convoglio nel suo complesso. In Figura 7. viene schematizzato il sistema esperto.

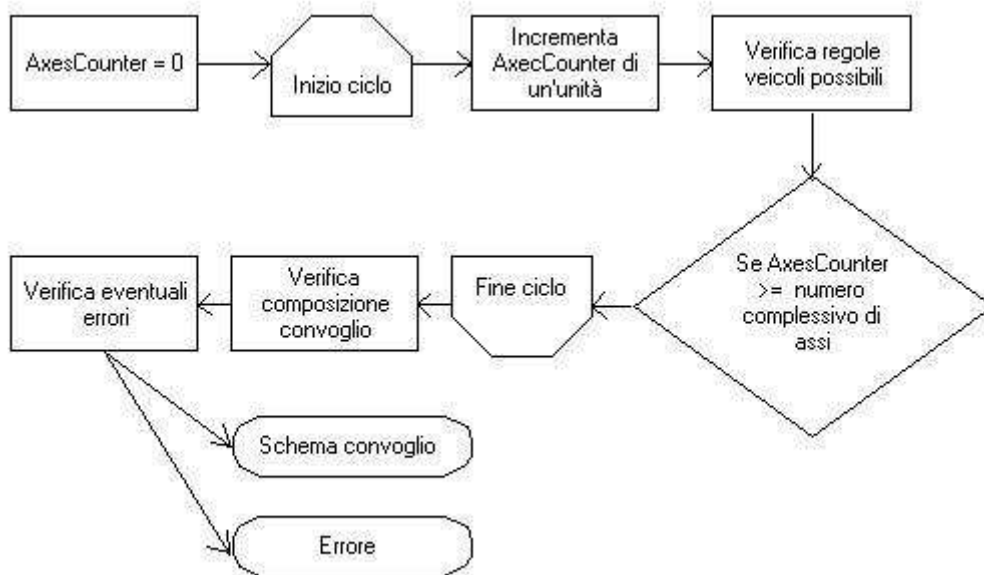


Figura 7. Schema del sistema esperto.

Per quanto riguarda il veicolo, viene verificata l'appartenenza di ogni gruppo di assi (1,2,3,4,6 assi) ad una possibile classe di veicoli, sulla base del soddisfacimento di regole circa le interdistanze fra gli assi del veicolo e le interdistanze di questi con quelli dei veicoli adiacenti.

Considerando la tipologia di veicolo ferroviario rappresentata in Figura 8., le interdistanze considerate dall'algoritmo di riconoscimento vengono di seguito elencate:

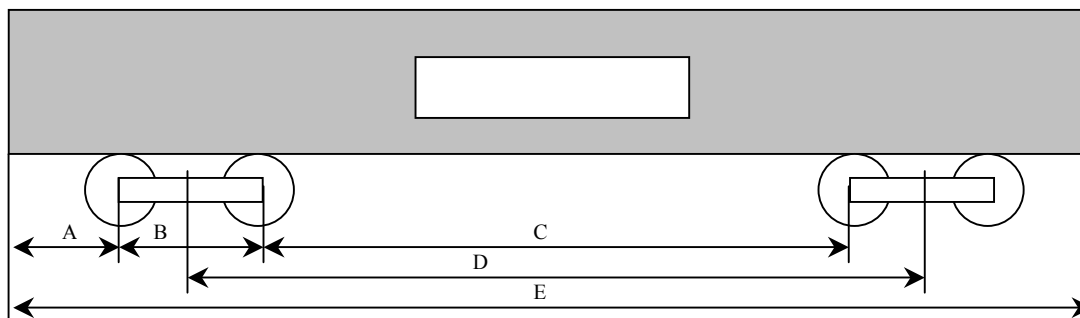


Figura 8. Interdistanze veicolo ferroviario.

Si consideri la figura  come un “carrello a due assi”

- a) Misura tra il punto estremo del veicolo ed il primo asse.
- b) Misura dell’interasse del carrello.
- c) Misura dell’interasse interno.
- d) Misura dell’interperno dei carrelli (passo).
- e) Lunghezza massima del veicolo (compresi eventuali respingenti).

Per tener conto dell'influenza che la trazione meccanica potrebbe avere sulla misura delle interdistanze, viene considerata una tolleranza di circa 50 mm.

I moduli ferroviari che attualmente il sistema è in grado di riconoscere sono i seguenti, suddivisi per numero di assi:

- a) Veicoli a 1 asse condiviso, comprensivo del veicolo di testa e di coda.
- b) Veicoli a 2 assi (tipo merci).
- c) Veicoli a 2 assi condivisi (tipo TGV).
- d) Veicoli a 3 assi equidistanziati.
- e) Veicoli a 3 assi testa e coda TGV.
- f) Veicoli a 4 assi.
- g) Veicoli a 6 assi (tipo motrice).
- h) Veicoli a 6 assi (tipo bisarca).

I convogli a composizione fissa che il sistema è in grado di riconoscere sono i seguenti:

- a) ETR 460 ("Pendolino").
- b) TGV ("Resaue").

L'algoritmo di riconoscimento dell'impronta è stato realizzato in forma parametrica, così da permettere l'aggiornamento dei dati riguardanti i singoli moduli e soprattutto i convogli a composizione fissa che è in grado di identificare.

3.2.3 Funzioni di comando e comunicazione

Oltre alle citate funzioni, il software di gestione del sensore, realizza una serie di altre funzioni di utilità. All'interno di queste funzioni vale la pena di citare la gestione di uno strato di comunicazione IP, quindi su rete ethernet, utile a veicolare informazioni non critiche dal punto di vista del timing. Tramite questo canale vengono trasmesse e ricevute informazioni di sincronizzazione e comando, e trasmesse le informazioni di alto livello generate (velocità del veicolo analizzato, composizione, dimensioni, ecc). Disporre di un canale di comunicazione IP ha inoltre permesso di dotare il sensore di un completo sistema di gestione remota.

La classe principale di gestione del sensore (CRBoardHandlerSpm) realizza inoltre un semplice automa a stati finiti, la cui presenza è utile nella gestione complessiva del sensore come componente di un impianto più complesso.

La Figura 9. illustra sinteticamente l'FSA (Finite State Automata) del sensore:

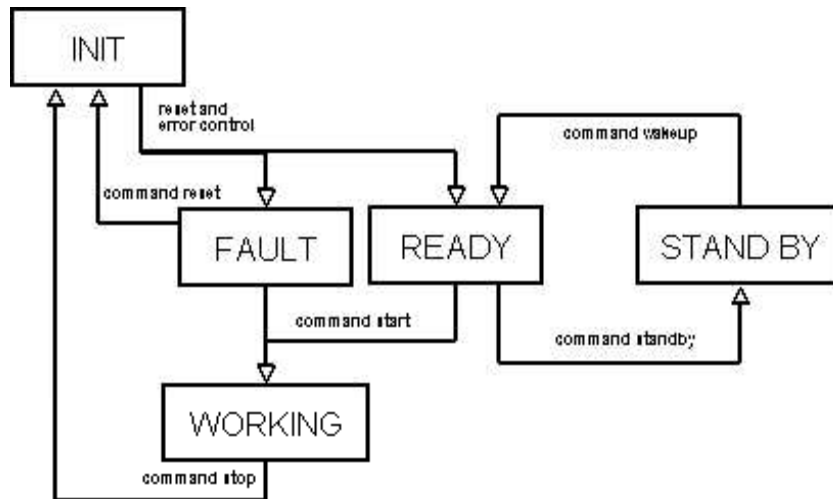


Figura 9. Finite State Automata (FSA) del sensore.

4 RISULTATI

Vengono ora presentati i risultati ottenuti sul campo, relativi all'arco di tempo Settembre 2002 - Luglio 2003. L' RSPM ad oggi funzionante, è stato attivato in un solo senso di transito, anche se potenzialmente, come detto, può essere fatto funzionare nei due sensi; per questo motivo qualche unità percentuale dei transiti, che su quel binario avvengono nel senso opposto a quello di funzionamento (causa manutenzione sull'altro binario), non sono stati classificati, se pur analizzati.

Nell' istogramma di Figura 10. sono indicati i transiti complessivamente analizzati dal sensore mensilmente.

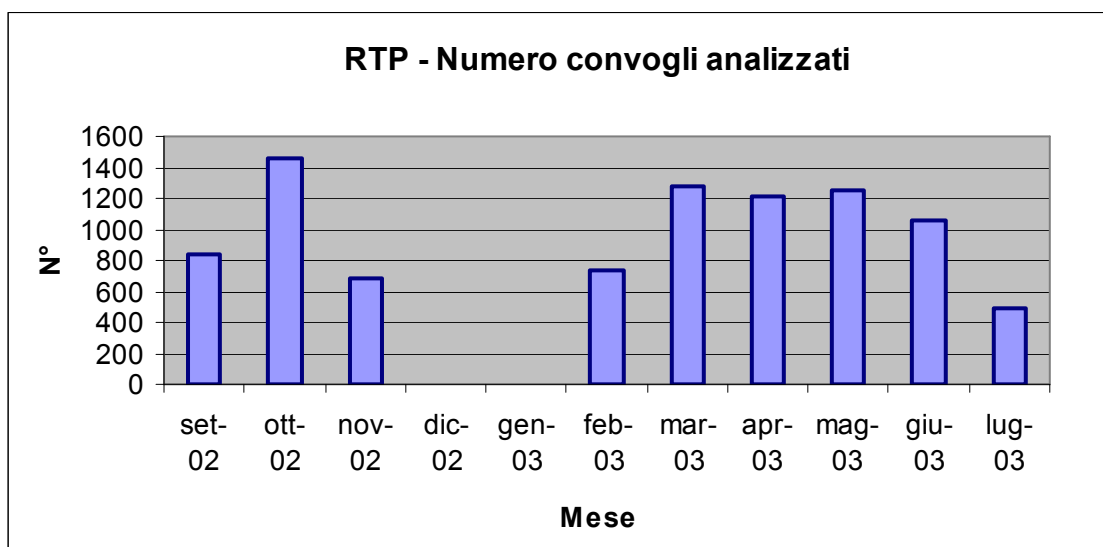


Figura 10. Transiti totali mensili (RTP).

Una serie di statistiche esplicative del funzionamento di RSPM ed in particolare della sua capacità a riconoscere automaticamente i convogli ferroviari e a scomporli nei singoli veicoli componenti è stata elaborata, e i risultati sono interessanti; il sensore è stato in grado di classificare e quindi ricostruire lo schema del convoglio nel 96.2% dei casi analizzati (dato Luglio 2003); percentuale oltretutto sottostimata, considerati, come detto, quei convogli che transitano nel senso opposto a quello di attuale riconoscimento, che non possono essere classificati ma che vengono conteggiati come analizzati. Tale

risultato è stato via via, come è visibile nel grafico di Figura 11., migliorato con il tempo, fino ad arrivare al dato di Luglio, in virtù delle graduali ottimizzazioni e migliorie apportate al sensore.

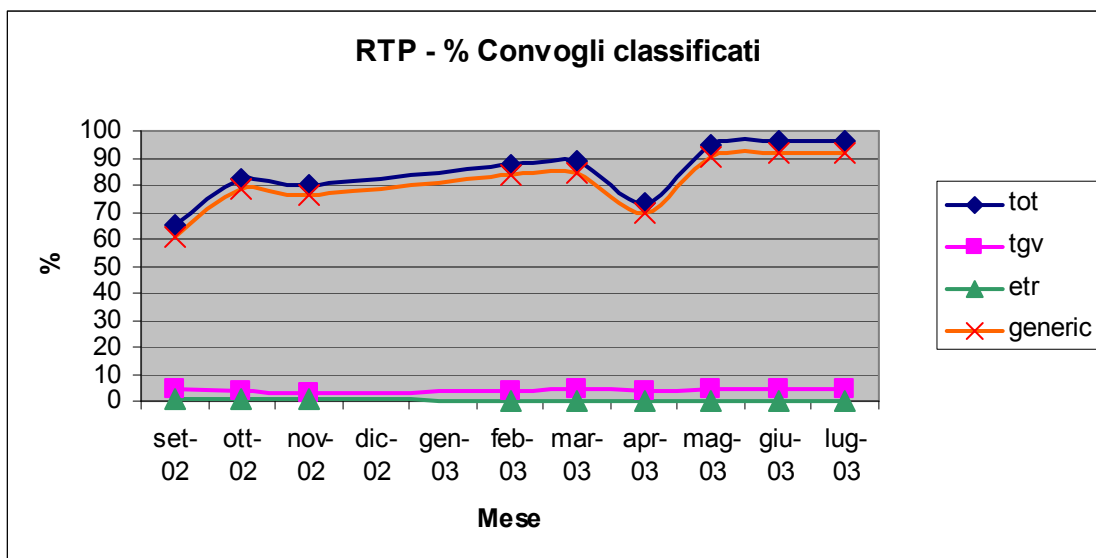


Figura 11. Percentuale convogli classificati da RSPM (RTP).

Nei grafici di Figura 12. e Figura 13. è possibile meglio osservare la percentuale di convogli classificata rispettivamente come TGV ed ETR; va riportato che la percentuale di transiti di convogli TGV su quella linea è effettivamente intorno al 4% del totale traffico e che da Febbraio 2003 i transiti di ETR su quella tratta sono effettivamente terminati, come si evince anche dalla Figura13.

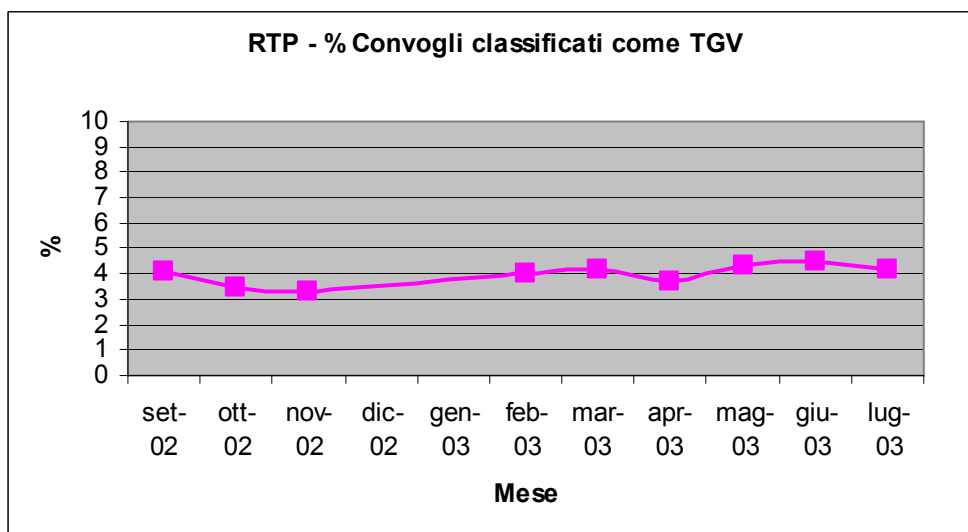


Figura 12. Percentuale convogli classificati come TGV da RSPM (RTP).

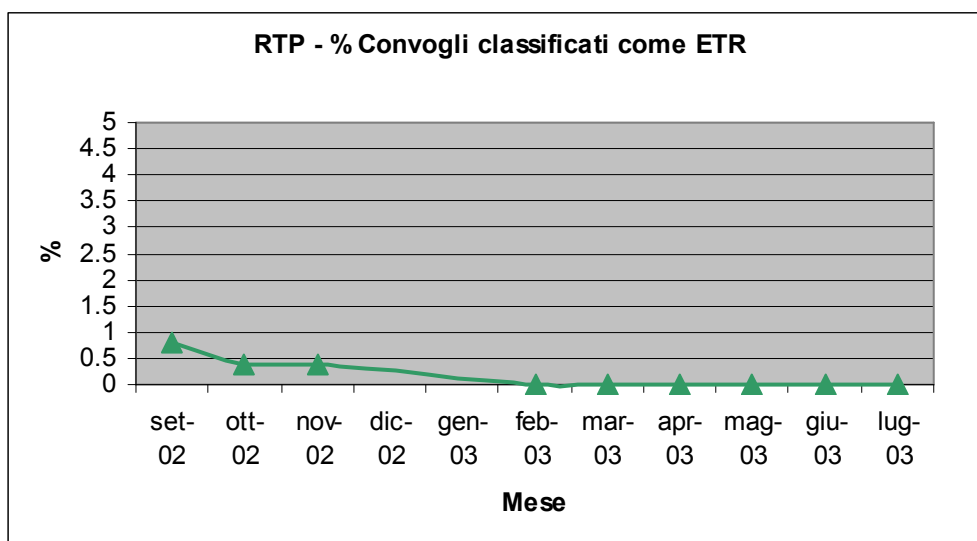


Figura 13. Percentuale convogli classificati come ETR da RSPM (RTP).

In Tabella 1. è presentata inoltre la statistica relativa alla correttezza del riconoscimento effettuato da RSPM su un'intera giornata di transiti (50 passaggi del 08/04/2004), tutti misurati ed elaborati nel senso di marcia di funzionamento del sensore; si osserva che i transiti correttamente classificati, quelli ovvero in cui la ricostruzione del convoglio risulta completa e corretta sono pari al 98.0% del totale dei transiti; in un unico transitto corrispondente al 2.0% del totale, il riconoscimento è stato corretto, ma parziale. Il riconoscimento parziale avviene quando uno schema del convoglio viene ricostruito in tutti i suoi moduli (transito delle 11.30.37 - 08/06/2004) a partire da un'impronta che è priva di qualche asse; in questi casi è quindi il sistema esperto ad effettuare comunque il riconoscimento dei vagoni, andando ad interpolare l'informazione laddove è mancante.

Tabella 1. Percentuale convogli correttamente parzialmente e non riconosciuti da RSPM (RTP,08/04/2004).

08/04/2004	Valore assoluto	Valore relativo
Riconosciuti correttamente	49	98.0 %
Riconosciuti correttamente (parzialmente)	1	2.0 %
Non riconosciuti	0	0.0 %
Totale transiti	50	100.0 %

Per transiti non riconosciuti s'intendono invece tutti quei casi in cui il sistema esperto ha generato errore, non ritenendo l'input, ovvero l'impronta degli assi relativa al passaggio, sufficiente per il riconoscimento.

I casi di errore possibili sono i seguenti:

- L'impronta è priva d'assi.
- L'impronta contiene un numero di assi inferiore a quattro.
- L'impronta è caratterizzata da un rapporto segnale rumore sfavorevole.
- L'impronta è caratterizzata da un numero di assi inferiore a quello segnalato dal sensore di start-up.
- L'impronta dopo essere stata elaborata dal sistema esperto determina un riconoscimento incoerente, sulla base della verifica del vincolo di sequenzialità a cui i moduli riconosciuti devono sottostare.

In particolare è stata elaborata una statistica di funzionamento relativa al periodo che va dal 01/04/2004 fino al 28/06/2004, che mette in evidenza i possibili casi di mancato riconoscimento. Dopo un periodo di tre mesi di funzionamento ed un totale di 2488 passaggi, il sistema RSPM ha riconosciuto il 96.14% dei transiti, generando errore nel restante 3.86%. In Tabella 2. il dato dei transiti non riconosciuti viene poi suddiviso nelle percentuali relative ai casi di errore contemplati dal sensore.

Tabella 2. Percentuale convogli riconosciuti e non riconosciuti da RSPM (RTP,01/04/2004-28/06/2004)

Riconosciuti (<i>Generici</i>)	89.15%
Riconosciuti (<i>TGV</i>)	6.91%
Riconosciuti (<i>Parzialmente</i>)	0.08%
Non riconosciuti (<i>Impronta priva di assi</i>)	2.41%
Non riconosciuti (<i>Numero assi inferiore al sensore di start-up</i>)	1.05%
Non riconosciuti (<i>Impronta rumorosa</i>)	0.28%
Non riconosciuti (<i>Sequenza non corretta</i>)	0.04%
Non riconosciuti (<i>Assi inferiori a 4</i>)	0.08%

Dalla Tabella 2. si evince che i transiti non riconosciuti per mancanza di input, impronta priva d'assi e assi inferiori a 4, sono pari a circa il 64% del totale dei transiti non riconosciuti, e sono riconducibili molto probabilmente al passaggio di transiti in senso opposto a quello di attuale funzionamento e in misura minore a false partenze del sensore. Tutti gli altri casi di mancato riconoscimento sono invece probabilmente riconducibili alla presenza di interferenze elettromagnetiche o a spostamenti assiali dell'asse relativamente al sensore di prossimità posto sul binario o ancora al passaggio di transiti in senso opposto a quello di attuale funzionamento.

Dopo oltre 18 mesi di funzionamento si può fare anche una valutazione reale ed effettiva sull'affidabilità del sistema.

Questo era stato un elemento tenuto in forte considerazione ed ha portato all'utilizzo di componenti industriali standard e ampiamente collaudati oltre che a indirizzi specifici di progettazione:

- Utilizzo di un gruppo di continuità sulla linea principale di alimentazione in grado di evitare temporanee sospensioni del servizio oltre che stabilizzare la tensione di alimentazione evitando traumi a tutte le componenti elettriche ed elettroniche.
- Integrazione di opto-isolatori su tutte le linee di segnale per evitare la propagazione di spike potenzialmente pericolosi nei circuiti.
- Utilizzo di rivelatori a induzione per prevenire qualsiasi problema relativo a usura tipico delle rilevazioni a contatto.

Inoltre l'unico componente in movimento utilizzato nel sistema è l'hard disk del computer, che, pur non avendo dato problemi, ad oggi può essere sostituito con una memoria flash per prevenire qualunque rischio.

La scelta di installare tutta l'apparecchiatura all'interno del tunnel, infine, garantisce condizioni di stabilità che agevolano notevolmente il condizionamento ambientale dei dispositivi.

Alla luce di tutto ciò rileviamo che durante il periodo di servizio non si sono verificati guasti che hanno determinato l'interruzione del funzionamento.

I controlli periodici di efficienza della sensoristica non hanno rivelato degradamento della sensibilità e non sono state necessarie operazioni di riallineamento o ricalibrazione.

Possiamo dunque considerarci soddisfatti delle scelte effettuate.

5 POSSIBILI SVILUPPI E UTILIZZI FUTURI

Una possibile evoluzione futura dell'RSPM potrebbe prevedere la capacità di riconoscere e ricostruire lo schema del convoglio in tempo reale, così da poter effettuare il riconoscimento dello stesso non solo a transito effettuato, ma in divenire durante il passaggio del transito, man mano che l'impronta dei suoi assi viene acquisita. Questa funzionalità verrebbe utile nel momento in cui si volesse aggiungere a RSPM la possibilità di riconoscere in tempo reale la posizione del convoglio ferroviario rispetto alla posizione lungo il binario dei sensori di prossimità di cui RSPM stesso è dotato e con cui acquisisce l'impronta. E' evidente che per realizzare questa caratteristica sarebbe necessario disporre di una capacità di calcolo notevolmente superiore a quella attuale.

Un'altra possibile evoluzione di tale sensore potrebbe riguardare la gestione e programmazione della emissione dei segnali di output, così da dare la possibilità al dispositivo di generare non solo segnali di sincronizzazione, ma anche impulsi rispetto a regole predefinite al suo interno: ad esempio l'emissione di un impulso in corrispondenza del passaggio di un asse, piuttosto che al passaggio di un determinato carrello, fino ad arrivare alla generazione di un impulso in funzione del riconoscimento di un certo veicolo ferroviario. Tale miglioria potrebbe essere accoppiata ad un'interfaccia utente che ne permetta la gestione senza entrare nel dettaglio dei file di inizializzazione. Tale interfaccia potrebbe integrare tutti gli aspetti di gestione, messa in esercizio e controllo.

Tra i possibili impieghi futuri dell'RSPM rientrano virtualmente tutti i sistemi, più o meno complessi, di sensoristica e rilevazione in campo ferroviario. In particolare l'RSPM risulta utilizzabile all'interno di tutti quei sistemi di manutenzione e controllo dove sia necessaria la conoscenza dell'esatta composizione e posizione del convoglio.

Si segnalano in particolare sistemi di monitoraggio a scopo manutentivo e di sicurezza come portali di rilevazione e controllo sagoma, portali di pesata dinamica, ecc. L'applicazione in tali sistemi risulta concettualmente molto simile all'attuale.

Un'altra interessante applicazione è all'interno di sistemi automatizzati di carico e scarico merci, come le piattaforme multimodali. All'interno di tali sistemi l'RSPM potrebbe trovare applicazione nel posizionamento dei convogli e, più in generale, nella rilevazione dati (accoppiamento a sistemi di lettura targhe, ecc).

Un'ultima applicazione lo vedrebbe impiegato come macchina stand-alone, per usi puramente logistici e di data mining. Tale impiego risulta rilevante anche in virtù del basso costo complessivo del sensore.