

POLITECNICO DI MILANO

Scuola di Ingegneria Civile, Ambientale e Territoriale

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile  
Infrastrutture di Trasporto



ANALISI DEI SISTEMI PER L'ACCERTAMENTO DEI  
PASSAGGI A LIVELLO.

IL CASO STUDIO RETE FERROVIENORD S.p.A.

Relatore: Prof. Roberto MAJA  
Controrelatore: Ing. Andrea LORENZATO

Tesi di Laurea di:  
Abdel Rahman AHMED Matr. 952888



# Indice

Elenco delle figure . . . . .	IV
<b>1 Introduzione</b>	<b>1</b>
<b>2 I passaggi a livello</b>	<b>3</b>
2.1 Classificazione dei passaggi a livello . . . . .	4
2.2 Panoramica sulla diffusione dei passaggi a livello lungo la rete ferroviaria nazionale . . . . .	6
<b>3 La sicurezza dei passaggi a livello</b>	<b>8</b>
3.1 Introduzione alla sicurezza nei sistemi di trasporto . . . . .	8
3.2 Analisi incidentale dei passaggi a livello . . . . .	9
3.3 Sistemi complementari all'accertamento . . . . .	13
<b>4 Analisi della letteratura dei sistemi dell'accertamento</b>	<b>16</b>
4.1 Sistemi di protezione automatica integrata PAI-PL . . . . .	18
4.1.1 Circuiti induttivi . . . . .	19
4.1.2 Estensimetri . . . . .	20
4.1.3 Ultrasuoni e fasci ottici . . . . .	21
4.1.4 Laser . . . . .	22
4.1.5 Radar . . . . .	23
4.1.6 Riconoscimento automatico delle immagini . . . . .	24
4.1.7 Videocamere termiche . . . . .	27
4.1.8 Conclusioni . . . . .	28

4.1.9	Requisiti RFI per i PAI-PL . . . . .	29
4.2	Sistemi TV-PL per l'accertamento video eseguito da operatori . . .	31
<b>5</b>	<b>Elementi di teoria delle code</b>	<b>36</b>
5.1	Struttura generale e fattori d'influenza di un sistema a coda . . . .	37
5.2	Processo degli arrivi alla Poisson . . . . .	38
5.3	Legge di Little [15] . . . . .	39
5.4	Il fattore di utilizzazione . . . . .	42
5.5	Disciplina della coda [15] . . . . .	43
5.5.1	Disciplina delle code con priorità . . . . .	44
<b>6</b>	<b>Sistema accentrato per la gestione dei passaggi a livello di FER- ROVIENORD</b>	<b>49</b>
6.1	Situazione attuale dei PL . . . . .	53
6.1.1	Quantità di richieste d'accertamento prevista quotidianamente . . . . .	55
6.2	Modello matematico previsionale . . . . .	59
6.2.1	Estrazioni dalla banca dati della rete FERROVIENORD . . . . .	61
6.2.2	Calcolo del tempo di accertamento . . . . .	62
6.2.3	Calcolo del tempo di coda . . . . .	72
6.2.4	Calcolo del tempo necessario per la gestione di un PL . . . . .	76
6.2.5	Calcolo del tempo disponibile . . . . .	77
6.2.6	Validazione del modello . . . . .	82
6.2.7	Introduzione di una priorità nella gestione dei PL . . . . .	84
6.3	Analisi di sicurezza . . . . .	90
6.4	Costo d'implementazione del sistema TV-PL . . . . .	99
6.5	Soluzione progettuale con PAI-PL . . . . .	100
<b>7</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>109</b>

<b>8</b>	<b>Bibliografia</b>	<b>111</b>
<b>9</b>	<b>Allegati</b>	<b>113</b>
9.1	Allegato 1 . . . . .	113
9.2	Allegato 2 . . . . .	123

# Elenco delle figure

2.1	Classificazione dei passaggi a livello. . . . .	4
2.2	Classificazione dell'ERA per i passaggi a livello. . . . .	6
3.1	Eventi incidentali significativi - ANSFISA . . . . .	10
3.2	Vittime incidentalità - ANSFISA . . . . .	10
3.3	Andamento temporale degli incidenti presso i PL - ANSFISA . . .	11
3.4	Eventi incidentali significativi - ERA . . . . .	11
3.5	Vittime incidentalità - ERA . . . . .	12
3.6	Incidentalità PL nei paesi europei - ERA . . . . .	12
3.7	Esempio di un cartello dell'ENS . . . . .	13
3.8	Schema sistema ASED . . . . .	14
4.1	Schema di funzionamento dell'indagine con circuito induttivo . . .	20
4.2	Effetto del passaggio di un veicolo sul campo magnetico . . . . .	20
4.3	schema di funzionamento di un indagine ultrasonica . . . . .	21
4.4	Esempio di emettitore laser . . . . .	22
4.5	Rilevamento di 4 pedoni con il laser . . . . .	22
4.6	Schema teorico della configurazione con tecnologia radar . . . . .	23
4.7	Esempio di un PL attrezzato con tecnologia radar . . . . .	24
4.8	Autoveicolo indagato con impulso radar . . . . .	24
4.9	Esempio di un'immagine indagata con radar . . . . .	25
4.10	Esempio di una videocamera stereoscopica per PL . . . . .	25
4.11	Triangolazione di una doppia visione stereoscopica . . . . .	26

4.12	Triangolazione di una doppia visione stereoscopica . . . . .	26
4.13	Immagine di un'indagine con videocamera termica . . . . .	27
4.14	Schema del segnalamento e degli enti. . . . .	32
4.15	Schermata video dell'operatore dell'accertamento. . . . .	32
4.16	Segnalamento proprio a via libera. . . . .	33
4.17	Segnalamento di prima categoria a via libera. . . . .	33
4.18	Segnalamento proprio a via impedita. . . . .	34
4.19	Segnalamento di prima categoria a via impedita. . . . .	34
5.1	Schema di un sistema a coda. . . . .	37
5.2	Schema arrivi e partenze in un sistema a coda. . . . .	40
5.3	Schema code con priorità. . . . .	45
6.1	Logo Ferrovienord. . . . .	50
6.2	Mappa del ramo Milano. . . . .	51
6.3	Mappa del ramo Iseo. . . . .	52
6.4	Situazione attuale dell'accertamento. . . . .	54
6.5	Situazione futura dell'accertamento. . . . .	54
6.6	Numero totale degli attraversamenti. . . . .	55
6.7	Numero degli attraversamenti quotidiani per tratta. . . . .	56
6.8	Distribuzione giornaliera degli attraversamenti tra Milano e Iseo. . . . .	56
6.9	Numero degli attraversamenti per tratta durante il momento di punta. . . . .	57
6.10	Distribuzione degli attraversamenti tra Milano e Iseo nel momento di punta. . . . .	57
6.11	Schema del modello matematico. . . . .	60
6.12	Frequenza relativa degli accertamenti del giorno 07-10-2021. . . . .	64
6.13	Frequenza cumulata degli accertamenti del giorno 07-10-2021. . . . .	66
6.14	Accertamento per fasce orarie. . . . .	67
6.15	Accertamento per linee. . . . .	68
6.16	Accertamento sia per fasce orarie che per tratte. . . . .	69

6.17	Andamento del parametro di confronto al variare delle soglie. . . .	87
6.18	Schema generale di un diagramma BowTie. . . . .	90
6.19	BowTie Diagram per un passaggio a livello. . . . .	94
6.20	Esempio di un grembiale per pedoni e ciclisti. . . . .	95



# Elenco delle tabelle

2.1	Numero di PL per tipologia di rete ferroviaria. . . . .	7
4.1	Riassunto dei vantaggi e svantaggi delle tecnologie per l'indagine degli ostacoli. . . . .	28
6.1	Numero di PL suddivisi per rami. . . . .	53
6.2	Output dei dati del ramo Milano. . . . .	61
6.3	Output dei dati del ramo Iseo. . . . .	61
6.4	Orari di un blocco di PL protetti dallo stesso sistema. . . . .	63
6.5	Orari corretti di un blocco di PL protetti dallo stesso sistema. . .	63
6.6	Frequenza dei tempi d'accertamento. . . . .	65
6.7	Accertamento per fasce orarie. . . . .	68
6.8	Accertamento per fasce orarie. . . . .	69
6.9	PL con maggiore tempo di accertamento. . . . .	70
6.10	Tempo di accertamento del giorno 09/11/1994. . . . .	71
6.11	Calcolo del tempo di coda con 3 accertatori. . . . .	72
6.12	Calcolo del tempo di coda con 4 accertatori. . . . .	74
6.13	Calcolo del tempo di coda con 5 accertatori. . . . .	75
6.14	Riepilogo dei tempi di coda. . . . .	75
6.15	Riepilogo dei tempi di coda. . . . .	75
6.16	Dettaglio delle lunghezze delle code al variare degli operatori. . .	76
6.17	Riepilogo dei risultati. . . . .	77

6.18	Dati in input del calcolo della distanza per l'anticipo del rilevamento del treno. . . . .	78
6.19	Calcolo dell'attuale tempo disponibile per l'operazione d'accertamento. . . . .	80
6.20	Calcolo dell'attuale tempo disponibile per l'operazione d'accertamento. . . . .	81
6.21	Media delle distanze per l'anticipo del rilevamenti del treno. . . . .	81
6.22	Esito del test di validazione. . . . .	83
6.23	Frequenza dei tempi d'accertamento per il solo ramo Milano. . . . .	85
6.24	Combinazioni di suddivisione in classi di priorità. . . . .	87
6.25	PL della classe prioritaria. . . . .	89
6.26	Nuovi tempi d'accertamento per la combinazione di classi scelta. . . . .	90
6.27	Nuovi tempi d'accertamento per la combinazione di classi scelta. . . . .	90
6.28	Scala delle conseguenze delle collisioni. . . . .	96
6.29	Computo metrico estimativo dell'implementazione del ramo Iseo con sistema PAI-PL . . . . .	103
6.30	Turnazione giornaliera del personale dell'accertamento. . . . .	105
6.31	Operatori totali necessari dopo l'incremento. . . . .	106
6.32	Riepilogo dei costi . . . . .	106

# Sommario

Il presente lavoro è un'analisi dei sistemi d'accertamento della liberazione dei passaggi a livello da ostacoli, con un caso studio relativo alla rete FERROVIENORD S.p.A.

Inizialmente, nei primi capitoli viene presentata l'attuale situazione dei passaggi a livello della rete ferroviaria nazionale, a dimostrazione dell'importanza pratica dell'argomento in questione.

Successivamente, vengono riportate i principali risultati dell'analisi della letteratura, con particolare attenzione al confronto tra le varie tecnologie per l'indagine degli ostacoli presenti in tutto il mondo.

Il capitolo 6 studia nel dettaglio il progetto della nuova sala per la gestione accentrata dei passaggi a livello della rete FERROVIENORD (con il sistema TVCC), attraverso la ricostruzione di un modello matematico per la descrizione del fenomeno dell'accodamento dei passaggi a livello durante la fascia di punta, sul quale sono stati simulati alcuni provvedimenti per la riduzione dei ritardi nella circolazione ferroviaria.

Tale capitolo prosegue con un'analisi dei costi d'implementazione del sistema previsto e un'analisi del rischio dei passaggi a livello attraverso una costruzione dell'albero dei guasti e degli eventi. Il capitolo si conclude con uno scenario che ipotizza lo sviluppo di tale progetto attraverso il sistema di protezione automatica integrativa attualmente diffuso sulla rete RFI.

# Abstract

This thesis is an analysis of the level crossings obstacle detection systems, together with FERROVIENORD railway lines study case.

In the first chapters, the current national level crossings situation is presented in order to demonstrate the relevance of the topic.

Then, the main literature analysis results are reported, paying particular attention to the comparison among the different technologies used around the world.

Chapter 6 studies the design of the new FERROVIENORD level crossings central management room (through CCTV system).

By the implementation of a mathematical model, the minimum number of operators is defined.

Furthermore, this chapter contains an implementation costs analysis and a risk analysis (through the faults and events tree analysis method - BoeTie Diagram) of the project.

Finally, the chapter concludes with an hypothetical scenario of the project which forecasts the usage of the automatic detection system by RFI.

# Capitolo 1

## Introduzione

I passaggi a livello rappresentano uno dei punti di maggiore pericolo lungo una rete ferroviaria, dovuto alla convergenza delle traiettorie di diversi utenti aventi caratteristiche (velocità, massa, dimensioni, vulnerabilità in un eventuale impatto) molto differenti tra di loro.

A dimostrazione di ciò, tra le principali misure di mitigazione delle problematiche legate ai passaggi a livello proposte da ANSFISA (Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie e delle Infrastrutture Stradali e Autostradali) troviamo l'incentivo alla soppressione dei passaggi a livello di maggiore pericolo tra quelli già esistenti, nonché il divieto della loro realizzazione per le nuove linee ferroviarie in costruzione.

Tuttavia, come si dimostrerà nel paragrafo 2.1, non è possibile pensare di sopprimere tutti i passaggi a livello già esistenti oggi per via del loro elevatissimo numero lungo la rete ferroviaria nazionale e l'elevato costo della realizzazione di opere d'attraversamento alternative.

Dunque, risulta di fondamentale importanza prevedere sistemi per la gestione dei PL, che permettano di raggiungere elevati livelli di sicurezza e affidabilità, mediante un accertamento della liberazione dell'area d'intersezione.

Risulta spontaneo chiedersi subito diversi quesiti relativi a tali sistemi di sicurezza, tra cui:

- Quali sono i fattori che influenzano la sicurezza dei passaggi a livello?
- Quanto è importante dotare i passaggi a livello di un sistema d'accertamento?
- Che caratteristiche devono avere i sistemi di sicurezza, affinché possano garantire un adeguato livello di prevenzione del rischio?
- Quali sono le tecnologie attualmente in utilizzo/sperimentazione per eseguire tale operazione?
- Qual è l'entità del ritardo indotto nella circolazione ferroviaria sulla rete FERROVIENORD, in seguito all'introduzione dell'operazione d'accertamento? E qual è il numero di postazioni operative che permettono di mitigare tale ritardo? Quali altri provvedimenti si possono applicare con lo scopo di riduzione del ritardo?
- Quali sono i costi d'installazione di un sistema d'accertamento per il caso studio?

Dunque, lo scopo di tale tesi è quello di rispondere ai precedenti quesiti. Per fare ciò, inizialmente si generalizzerà il problema attraverso lo studio e il confronto di tutti i sistemi trovati in letteratura e, successivamente, si analizzerà nel dettaglio<sup>1</sup> il caso studio di FERROVIENORD al capitolo 6.

---

<sup>1</sup>L'analisi sarà sviluppata in termini di: sicurezza, efficienza e costi.

# Capitolo 2

## I passaggi a livello

Il passaggio a livello è un impianto dovuto all'intersezione complanare tra una linea ferroviaria e una strada, dove lo sfalsamento delle traiettorie è temporale.

Da questa definizione si intuisce come un passaggio a livello sia un luogo dove convergono una vasta molteplicità di utenti molto diversi tra di loro, che vanno definiti chiaramente in modo da individuare: i soggetti interessati dal problema, la loro influenza sull'intersezione; nonché le probabilità e le conseguenze che possono subire in eventuali collisioni.

Tale passaggio è fondamentale per poter procedere con le analisi di sicurezza e il calcolo del tempo di gestione di un PL, sviluppati nel capitolo 6.

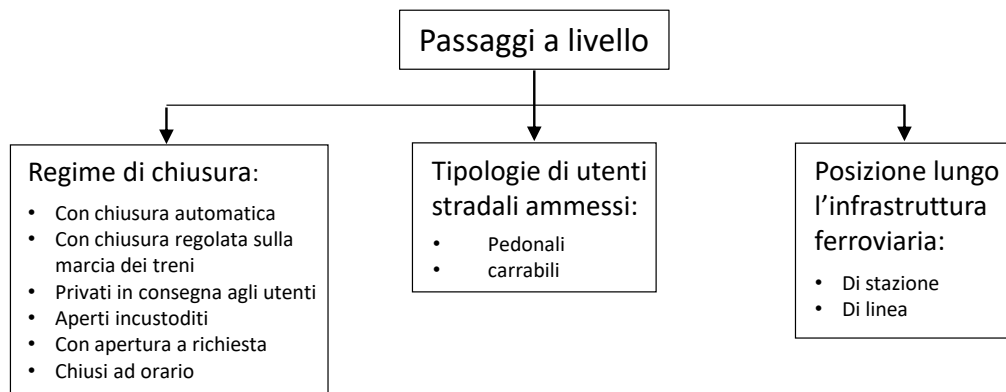
In particolare, tra i soggetti influenzanti il problema dell'attraversamento del PL troviamo:

- Utenti lato strada:
  - automobilisti
  - motociclisti
  - ciclisti
  - pedoni
- Utenti lato ferrovia:
  - treni

## 2.1 Classificazione dei passaggi a livello

Al fine di contestualizzare l'ambito di sviluppo della presente tesi, il seguente paragrafo presenta brevemente due classificazioni dei PL.

La prima classificazione (figura 2.1), presenta 3 sottotipi a seconda del parametro considerato.



**Figura 2.1:** Classificazione dei passaggi a livello

Un primo parametro per la classificazione è il loro regime di chiusura, secondo il quale è possibile distinguere i PL: con chiusura automatica (sul quale si incentrerà molto il presente lavoro di tesi; essendo la tipologia più diffusa oggi e che lo sarà sempre di più in futuro); con chiusura regolata sulla marcia dei treni; privati in consegna agli utenti; aperti incustoditi; con apertura a richiesta e chiusi ad orario.

Un altro parametro è la tipologia di utenti stradali a cui è ammesso l'attraversamento del PL stesso, con cui è possibile distinguere i PL pedonali da quelli carrabili.

Inoltre, è possibile classificarli a seconda della loro posizione lungo l'infrastruttura ferroviaria, in particolare, esistono i PL di stazione e quelli di linea.

Dunque, a causa dell'intersezione tra la circolazione stradale e quella ferroviaria, sarà fondamentale e prerogativa proteggere entrambi i lati di circolazione con adeguati sistemi che permettano di impedire le eventuali collisioni.



In particolare, per il lato stradale sono previsti diversi dispositivi di chiusura della sede stradale da abbinare ai segnali di annuncio di chiusura del PL, che si attivano nel momento in cui il treno si approssima all'intersezione e tra cui troviamo:

- solo il segnale integrato da girandola (ammesso solo per i PL pedonali)
- segnale ottico-acustico
- cancelli (solitamente meno preferiti delle barriere per via del loro tempo di chiusura più lungo)
- barriere singole
- semi-barriere
- doppie semi-barriere

Mentre per quanto riguarda il lato ferroviario, la sicurezza della marcia del treno è gestita dal segnalamento (segnale di avviso più il segnale di protezione), dove la disposizione a via libera è vincolata all'effettivo controllo di chiusura e integrità delle barriere<sup>1</sup>.

Al fine di garantire un sufficiente livello di sicurezza, i PL vanno dotati di sistemi che permettano l'accertamento della libertà dell'area d'attraversamento circoscritta dalle barriere.

In particolare, questi ultimi sistemi sono l'elemento principale di sviluppo nei prossimi capitoli.

Per completezza di trattazione si riporta anche la classificazione proposta dall'European Railway Agency (ERA)<sup>2</sup>, secondo la quale i passaggi a livello possono essere classificati come passivi (gruppo A) o attivi (gruppo B), (figura 2.2), dove quelli passivi sono privi di protezione.

Mentre quelli attivi possono essere suddivisi in PL con protezione automatica o manuale.

---

<sup>1</sup>Le barriere possono essere manovrate: sul posto da un casellante; da remoto o in automatico con il passaggio del treno sul dispositivo di comando della chiusura (caso più diffuso).

<sup>2</sup><https://www.era.europa.eu/>

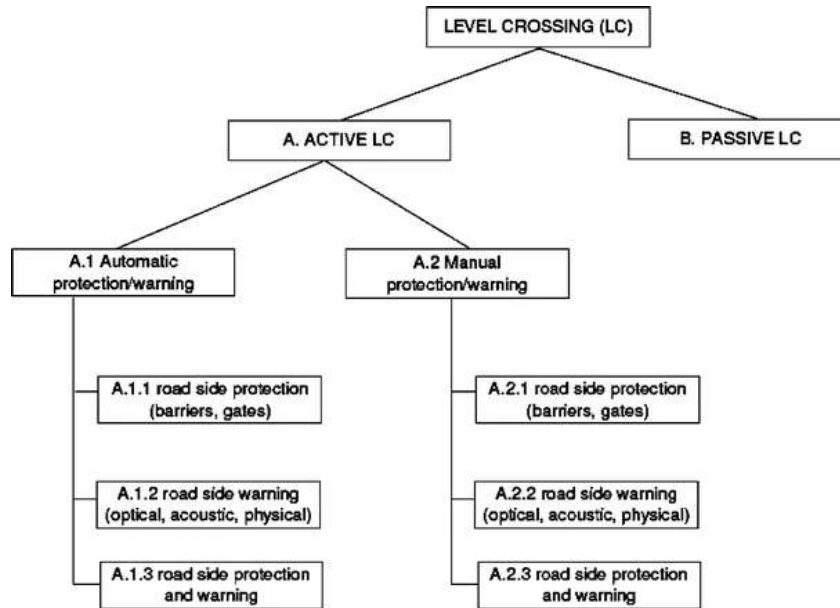


Figura 2.2: Classificazione dell'ERA per i passaggi a livello

## 2.2 Panoramica sulla diffusione dei passaggi a livello lungo la rete ferroviaria nazionale

Il presente paragrafo ha l'obiettivo di presentare la realtà nazionale all'interno della quale si sviluppa l'elaborato di tesi.

In particolare, si dimostra come i passaggi a livello siano opere largamente diffuse nella rete ferroviaria nazionale e la cui diffusione è strettamente legata all'urbanizzazione e l'antropizzazione dei luoghi attraversati, tale risultato viene poi confrontato con lo studio della diffusione dei PL sulla rete FERROVIENORD (capitolo 6), trovando un alto grado di coincidenza del parametro PL/km.

Per tale dimostrazione, ci si riferirà principalmente ai dati forniti dalla relazione annuale sulla sicurezza ferroviaria di ANSFISA, edizione 2021, con anno di riferimento all'anno 2020 [1] [2] e rappresentate nella tabella 2.1.

Da questi numeri si osserva come la densità dei PL sia maggiore nelle reti isolate e quelle regionali interconnesse, con la presenza in un PL ogni poco più di un km in media. Questo indubbiamente influenza la potenzialità del servizio di

TIPOLOGIA DI RETE	PL [n]	ESTENSIONE RETE [km]	PL/km
Rete nazionale	4.227	14.500	0,292
Reti regionali interconnesse	1.335	1.515	0,881
Reti isolate	949	1.130	0,840

**Tabella 2.1:** Numero di PL per tipologia di rete ferroviaria.

trasporto ferroviario.

Inoltre, si evince che sono presenti 6511 PL in totale sulla rete nazionale e, che se confrontati con il trend delle soppressioni, il quale è di circa 145 PL soppressi all'anno negli ultimi 10 anni<sup>34</sup>, si giunge subito alla conclusione che la soppressione e la creazione di opere civili alternative per l'attraversamento non può rappresentare l'unica soluzione alle problematiche relative ai PL, sia per il loro ingente costo, sia per il tempo di realizzazione totale necessario. Bensì, è fondamentale lo sviluppo e l'installazione di sistemi che permettano la gestione sicura, affidabile ed efficiente dei PL.

<sup>3</sup><https://www.fsnews.it/it/focus-on/infrastrutture/2021/6/10/passaggi-a-livello-ilcad-2021-rfi.html>

<sup>4</sup>Nel 2021 è prevista l'eliminazione di 70 passaggi a livello e una spesa di 56 milioni di euro per la realizzazione di viabilità alternativa.

# Capitolo 3

## La sicurezza dei passaggi a livello

Lo scopo principale del presente capitolo è quello di dimostrare l'importanza dell'adozione di un sistema d'accertamento per i passaggi a livello. Per fare ciò, nel secondo paragrafo vengono presentati i trend incidentali sia a livello nazionale che europeo, sottolineando il peso che ricoprono gli incidenti relativi ai PL.

Nel primo paragrafo vengono richiamati brevemente alcuni concetti della sicurezza nei sistemi di trasporto (utili per lo sviluppo dell'analisi del rischio al capitolo 6). Infine, il terzo paragrafo riporta alcuni sistemi (complementari a quelli per l'accertamento) che hanno registrato miglioramenti nella sicurezza dei PL ove sono stati applicati [4].

### 3.1 Introduzione alla sicurezza nei sistemi di trasporto

Il rischio nei sistemi di trasporti viene definito dalla combinazione tra la probabilità di accadimento e la gravità delle conseguenze di un evento come nella seguente espressione:

$$R = f(F, C) \tag{3.1}$$

Con:

R = rischio

F = probabilità o frequenza di accadimento

$C$  = gravità o magnitudo delle conseguenze

La funzione di legame tra le due variabili può presentare forme complesse, che si traduce in un incremento notevole dei parametri da considerare, rendendo difficile la soluzione del problema.

Perciò, solitamente si usa un'agevole espressione dove la funzione è semplicemente il prodotto:

$$R = F C \quad (3.2)$$

Inoltre, è possibile definire la conseguenza ( $C$ ) dell'evento incidentale il prodotto tra la vulnerabilità ( $v$ ) e l'esposizione ( $e$ ):

$$C = v e \quad (3.3)$$

Mentre il pericolo è un elemento intrinseco del sistema considerato, perciò, esso può trasformarsi in rischio qualora le condizioni lo permettano.

Quando il livello di rischio risulta inaccettabile, è necessario ricorrere in primo luogo alla prevenzione, andando a ridurre la frequenza di accadimento degli eventi.

Successivamente, qualora il livello di rischio risulti ancora troppo alto, sarà importante ricorrere alla protezione, andando così a ridurre le conseguenze degli eventi. Tali concetti di prevenzione e protezione verranno applicati all'analisi del rischio (paragrafo 6.3), in modo da individuare quali sono gli interventi di sicurezza applicabili a un PL.

Infine, viene sottolineata l'importanza del fail-safe per il sistema d'accertamento del caso studio, in modo che un eventuale guasto porti semplicemente a un degrado del sistema e non a una riduzione della sicurezza.

## 3.2 Analisi incidentale dei passaggi a livello

Prima di presentare i dati incidentali è necessario sottolineare come i dati italiani relativi all'anno 2020 siano affetti da una riduzione del traffico ferroviario corrispondente al 20%, a causa dell'emergenza sanitaria COVID-19 [1].

### CAPITOLO 3. LA SICUREZZA DEI PASSAGGI A LIVELLO

INCIDENTI SIGNIFICATIVI [Rete IT]										
	2011	2012	2013	2014	2015	2016 *	2017 *	2018 *	2019 *	2020 *
<b>Collisione di treno</b>	6	7	4	9	5	4	2	6	4	4
Collisione di treno con veicolo ferroviario	0	0	0	1	1	1	2	2	1	1
Collisione di treno contro ostacolo che ingombra la sagoma libera dei binari	6	7	4	8	4	3	0	4	3	3
<b>Deragliamenti di treno</b>	3	5	6	4	3	2	5	8	5	8
<b>Incidente al passaggio a livello, compresi gli incidenti che coinvolgono pedoni ai passaggi a livello</b>	18	13	14	16	19	15	12	3	5	8
<b>Incidente alle persone che coinvolge materiale rotabile in movimento, eccetto suicidi e tentati suicidi</b>	77	79	71	74	67	72	75	83	51	56
<b>Incendio a bordo del materiale rotabile</b>	0	1	2	0	2	1	3	3	4	0
<b>Altro **</b>	2	1	1	6	2	5	7	6	6	13
<b>TOTALE</b>	<b>106</b>	<b>106</b>	<b>98</b>	<b>109</b>	<b>98</b>	<b>99</b>	<b>104</b>	<b>109</b>	<b>75</b>	<b>89</b>

\* i dati relativi al 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020 comprendono i dati registrati sulla [Rete RFI] ed i dati registrati sulla [Reti Regionali Interconnesse].  
\*\* per "altro" tipo di incidenti si intendono tutti gli incidenti non rientranti nelle casistiche precedenti come, ad esempio, svii e urti in manovra o di mezzi d'opera, fuoriuscita di merci pericolose.

Figura 3.1: Eventi incidentali significativi - ANSFISA [1]

Osservando le figure 2.1 e 2.2, relative agli incidenti significativi e le vittime dell'incidentalità ferroviaria del 2020, si osserva come la casistica dei passaggi a livello sia costantemente al secondo posto<sup>1</sup> in termini di gravità dal 2011 al 2020, a dimostrazione della necessità di investimenti e ammodernamenti nella gestione dei PL.

VITTIME (morti e feriti gravi) IN INCIDENTI SIGNIFICATIVI (1 morto = 1 ferito grave) [Rete IT]										
	2011	2012	2013	2014	2015	2016*	2017*	2018*	2019*	2020*
<b>Collisione ai treni</b>	0	0	2	1	0	38	2	3	3	0
<b>Deragliamenti di treni</b>	0	1	2	0	0	0	0	37	0	2
<b>Incidente ai PL (compresi quelli che coinvolgono i pedoni)</b>	18	22	17	16	16	13	12	25	6	6
<b>Incidente alle persone che coinvolge materiale rotabile in movimento</b>	80	83	73	76	67	76	76	88	51	58
<b>Incendio a bordo del materiale rotabile</b>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<b>Altro</b>	0	1	0	1	0	0	2	4	2	2
<b>TOTALE</b>	<b>98</b>	<b>107</b>	<b>94</b>	<b>94</b>	<b>83</b>	<b>127</b>	<b>92</b>	<b>158</b>	<b>62</b>	<b>68</b>

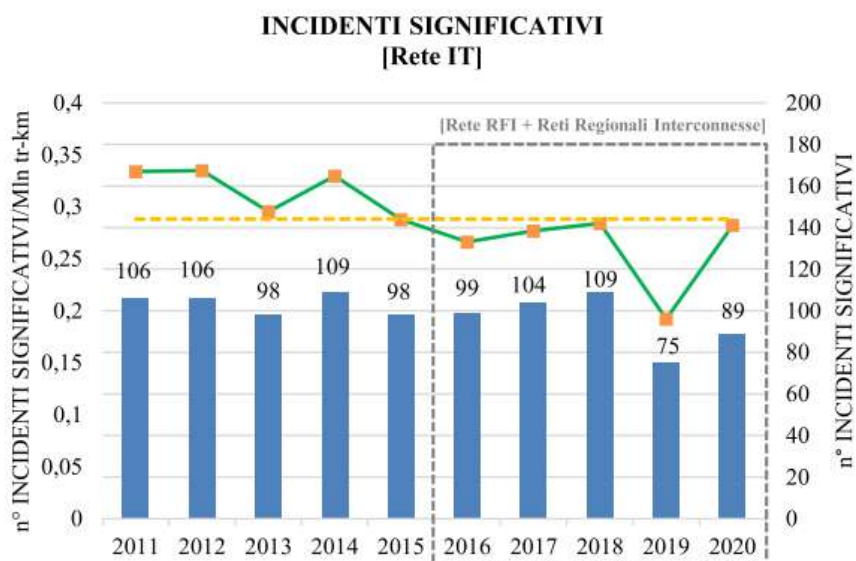
\* i dati relativi al 2016, 2017, 2018, 2019 e 2020 comprendono i dati registrati sulla [Rete RFI] ed i dati registrati sulla [Reti Regionali Interconnesse].

Figura 3.2: Vittime incidentalità - ANSFISA [1]

In figura 2.3 è possibile valutare l'andamento nel tempo degli eventi significa-

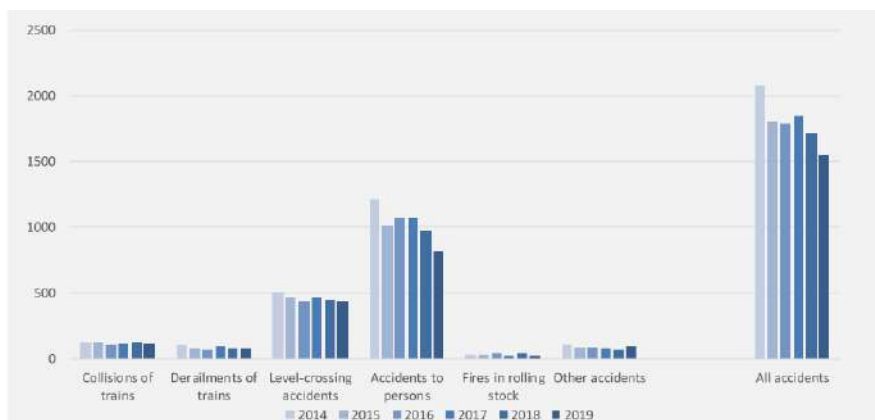
<sup>1</sup>La prima è incidente di persone che coinvolge il materiale rotabile.

tivi relativi solo ai PL. In particolare, si osserva un trend che ha avuto un leggero abbassamento dal 2011 fino al 2018, che nel 2019 ha registrato un minimo corrispondente a 75 casi, i quali però sono ritornati a crescere tanto (considerando la riduzione del traffico) nel 2020.



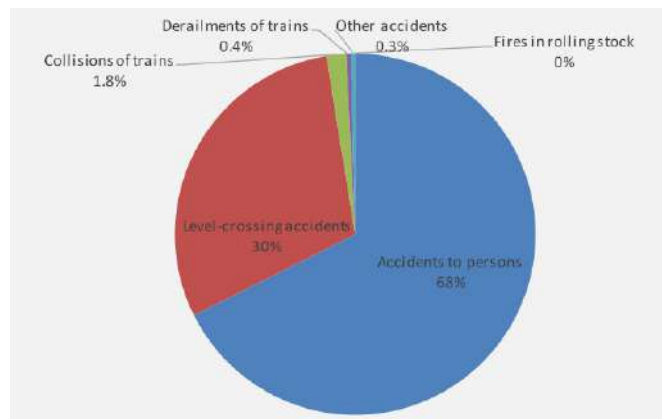
**Figura 3.3:** Andamento temporale degli incidenti presso i PL - ANSFISA [1]

Il posizionamento al secondo posto della casistica di incidenti avvenuti presso i PL viene confermato anche a livello europeo dai dati dell'ERA (European Railways Agency) [3] come si può osservare dalle figure 3.4 e 3.5.



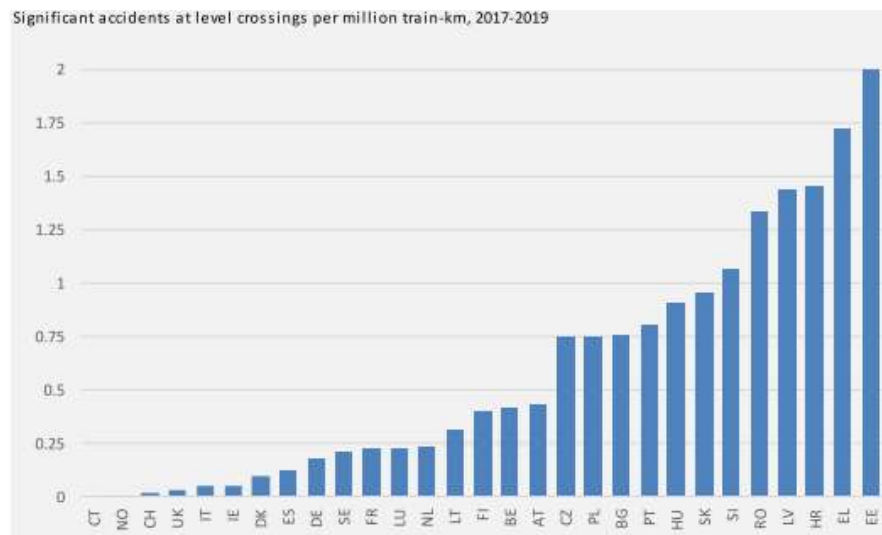
**Figura 3.4:** Eventi incidentali significativi - ERA [3]

Viene inoltre confermato il secondo posto per quanto riguarda le vittime legate ai passaggi a livello.



**Figura 3.5:** Vittime incidentalità - ERA [3]

Tuttavia, dalla figura 3.6 si osserva come la situazione italiana sia decisamente migliore rispetto a quella degli altri paesi europei per quanto riguarda il numero di eventi incidentali presso i PL.



**Figura 3.6:** Incidentalità PL nei paesi europei - ERA [3]



### 3.3 Sistemi complementari all'accertamento

Nel presente paragrafo vengono riportati due sistemi presenti in letteratura che hanno portato miglioramenti nella sicurezza dove sono stati applicati [4].

Il primo sistema è il "Emergency Notification System (ENS)", messo a punto negli Stati Uniti dalla FRA (Federal Railroad Administration) in collaborazione con alcuni gestori ferroviari americani che consiste nella creazione di un numero verde da porre su un cartello nei pressi del PL, grazie al quale chiunque può segnalare eventuali problematiche ai gestori del PL stesso.



*Figura 3.7: Esempio di un cartello dell'ENS*

Attualmente in Texas vengono gestite oltre 1300 chiamate<sup>2</sup> mensili. Secondo [4], l'ENS ha rappresentato un successo enorme che si riconduce al fatto che presta un rapporto costi benefici pari a circa 172:1. Infatti, ad oggi, il 60% dei PL americani sono dotati di tali sistemi e la FRA è intenzionata a aumentare tale percentuale nel prossimo futuro.

Dunque, queste conclusioni permettono di capire l'importanza di dotare i PL di un sistema che permetta la comunicazione tra gli utenti e i gestori del PL anche

---

<sup>2</sup>Tutte le chiamate sono registrate automaticamente.

per il sistema del caso studio nel capitolo 6.

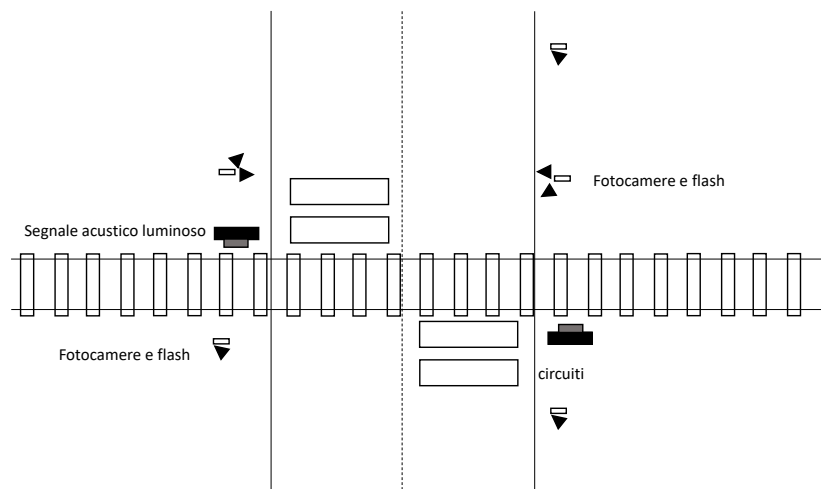
Il secondo sistema che viene presentato è l'"Automated Signal Enforcement Devices", un sistema che permette di rilevare eventuali infrazioni del codice stradale da parte dei veicoli che attraversano il PL.

L'implementazione di tale sistema nei pressi di un PL della Metro Blue Line di Los Angeles ha permesso una riduzione di circa il 90% delle violazioni e il 70% degli eventi incidentali che coinvolgono veicoli stradali [4].

Per poter rilevare l'infrazione, il sistema deve registrare due fotografie del veicolo: la prima deve riprenderlo nel momento in cui attraversa la linea d'arresto (mentre sono attivi i segnali ottici e acustici), la seconda fotografia deve riprendere il veicolo nell'istante subito dopo, mentre si trova all'interno dell'area d'intersezione con le barrire.

Dunque, tale sistema richiede le seguenti tecnologie per poter funzionare (figura 3.8):

- fotocamere e flash
- circuiti per il rilevamento del transito e la misurazione della velocità dei veicoli stradali



**Figura 3.8:** Schema sistema ASED

In conclusione, si ritiene che l'installazione del primo sistema presentato sia molto conveniente (per tutti i PL di una rete ferroviaria) visto l'impatto che può avere se confrontato con la sua semplicità ed economicità.

Ma per quanto riguarda il secondo sistema, seppur presentando degli effetti positivi, esso richiede tecnologie più complesse e ciò può limitare il suo utilizzo solo ai PL che possono essere ritenuti più critici.

## Capitolo 4

# Analisi della letteratura dei sistemi dell'accertamento

Il presente capitolo ha lo scopo di approfondire ed analizzare la tipologia di sistemi per l'accertamento della liberazione dell'area d'intersezione dei PL da eventuali ostacoli presenti in varie parti del mondo, ponendo l'attenzione in particolar modo sui loro campi d'applicazione ed evidenziando i vantaggi e gli svantaggi dell'utilizzo di ogni tecnologia.

Verranno poi riportati alcuni esempi concreti della loro applicazione, descrivendo gli attuali sistemi in utilizzo presso FERROVIENORD e RFI.

Si precisa che i sistemi di protezione automatica integrata e TV a circuito chiuso possono essere applicati solamente ai PL automatici con barriere intere.

A questo punto si vanno a definire i requisiti generali rispetto ai quali si andranno a valutare in seguito le varie tecnologie presenti in letteratura:

- *affidabilità*, è il requisito più importante tra tutti, poiché la sicurezza di tutti gli utenti che impegnano il PL non è in discussione
- *costo*, è un fattore importante poiché i sistemi automatici hanno costi considerevoli. In particolare, sarà importante dettagliare la valutazione separando i costi d'implementazione da quelli di manutenzione
- per quanto riguarda la manutenzione, sarà importante valutare se la tecnologia in analisi richiede la *chiusura del traffico stradale e quello ferroviario* per poter eseguire la manutenzione stessa oppure no

- *efficienza nelle prestazioni*, che operativamente si traduce nel riconoscimento degli ostacoli nel minor tempo possibile e la riduzione del fenomeno dei falsi positivi. Quest'ultimo può arrivare a compromettere la puntualità della circolazione ferroviaria
- sensibilità e grado di resilienza contro *fenomeni meteorologici* avversi o estremi

In generale, è possibile distinguere le tecnologie impiegate per l'indagine degli ostacoli in:

- dispositivi intrusivi, che richiedono uno scavo dell'area d'intersezione per l'installazione dei dispositivi al di sotto di essa
- dispositivi non intrusivi, ubicati fuori terra e a lato del PL

L'importanza di tale distinzione risiede nel fatto che i dispositivi intrusivi (prime tecnologie storicamente applicate) comportano un elevato costo di installazione e manutenzione, nonché un ciclo di vita più breve rispetto a quelli non intrusivi e, inoltre, richiedono una chiusura del traffico per l'installazione come verrà dimostrato di seguito.

## 4.1 Sistemi di protezione automatica integrata PAI-PL

L'architettura generale di un sistema di protezione automatica integrata di un PL, prevede quattro sottosistemi, ognuno dei quale deve assolvere una funzionalità specifica. In particolare troviamo:

- *Il sottosistema di monitoraggio dell'area d'intersezione*, costituito da un insieme di sensoristica avente il compito di verificare la libertà dell'area d'intersezione del PL. Per fare ciò devono essere dispositivi SIL 4
- *Il sottosistema di elaborazione dati*, costituito dalle apparecchiature di sicurezza (SIL 4) che, in base ai risultati provenienti da uno o più sottosistemi di monitoraggio, si interfaccia con gli impianti di segnalamento comunicando a quest'ultimi lo stato dell'area d'intersezione del PL
- *Il sottosistema di posto centrale*, ubicato presso il posto di servizio di riferimento del PL, ha lo scopo di supervisionare diverse centinaia di sottosistemi di elaborazione
- *Il sottosistema di comunicazione dati*, permette il passaggio di dati tra la sensoristica di monitoraggio e il sistema di elaborazione, nonché tra quest'ultimo e il sottosistema di supervisione. Generalmente, oggi viene realizzato con la fibra ottica

Approfondire in modo specifico gli ultimi due sottosistemi riportati precedentemente risulta non necessario per la presente trattazione, poiché esula dallo scopo principale della tesi.

Risulta invece molto più interessante eseguire un approfondimento dettagliato del sottosistema di elaborazione dei dati e delle diverse tecnologie utilizzate per realizzare il sottosistema di monitoraggio degli ostacoli presenti nella letteratura, eseguendo un confronto tra di esse in modo da individuare i campi d'applicazione di ognuna, nonché le loro problematiche.

Di seguito, si andrà ad analizzare tali tecnologie in ordine cronologico di apparizione dalle più vecchie fino a quelle di maggiore utilizzo oggi (specificando quelle

che potrebbero avere un trend in crescita per il prossimo futuro). L'obiettivo è quello di cogliere meglio le principali problematiche sorte storicamente, capire come è stato possibile risolverne alcune e come si potrebbe lavorare per risolvere quelle attualmente residue.

### 4.1.1 Circuiti induttivi

La tecnologia dei circuiti induttivi è stata la prima soluzione storicamente adottata per il rilevamento automatico degli ostacoli nell'area di un PL. Si tratta di una tecnologia intrusiva, poiché il suo schema di funzionamento (figura 4.1) si basa sulla posa di uno o più loop sotto la carreggiata stradale, il quale genera un campo magnetico che viene disturbato dal passaggio o dalla sosta dei veicoli stradali dato che il loro materiale ferroso<sup>1</sup> induce una variazione dell'induttanza dei loop (figura 4.2).

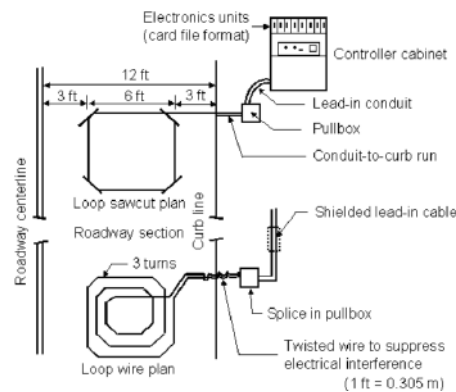
La tecnologia in questione permette il rilevamento solo dei veicoli stradali di una certa massa minima e, di conseguenza, sono esclusi sicuramente dalla verifica dell'accertamento sia i pedoni che i ciclisti (e per alcuni anche i motociclisti). In particolare, tale mancanza rappresenta un grande limite della tecnologia per una sua installazione oggi [5].

Altri limiti di tale tecnologia sono:

- elevato costo d'installazione e manutenzione (essendo una tecnologia intrusiva)
- tempo di vita ridotto se confrontato con altre tecnologie non intrusive
- la sua intrusività obbliga il blocco della circolazione durante la sua installazione e manutenzione
- condizioni meteorologiche estreme, come ad esempio pioggia battente, rendono bassa l'efficienza del sistema

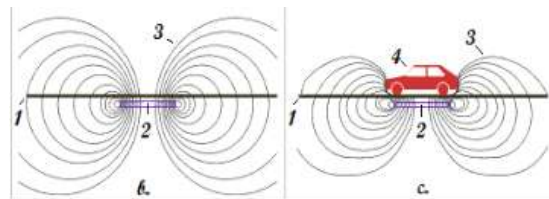
---

<sup>1</sup>L'introduzione di nuovi materiali come l'alluminio o la fibra di vetro nella costruzione delle nuove generazioni di automobili rende meno efficiente il loro rilevamento.



**Figura 4.1:** Schema di funzionamento dell'indagine con circuito induttivo [5]

Un contro effetto positivo dello svantaggio di non rilevare oggetti di dimensioni piccole, conferisce a tale tecnologia un ridotto grado di rilevare falsi positivi<sup>2</sup>.



**Figura 4.2:** effetto del passaggio di un veicolo sul campo magnetico [5]

### 4.1.2 Estensimetri

La seconda tecnologia in ordine cronologico, nata per migliorare alcune limitazioni dei circuiti induttivi, è stata l'indagine degli utenti stradali con estensimetri.

Secondo gli autori [4], l'uso degli estensimetri ha permesso di migliorare sicuramente l'indagine di oggetti più piccoli rispetto a quelli minimi indagati dai circuiti induttivi, perciò con questa tecnologia è possibile indagare motociclisti e ciclisti ed è inoltre possibile indagare una persona di media corporatura (tuttavia, non sono indagabili i bambini per esempio).

L'utilizzo degli estensimetri ha registrato un miglioramento anche per quanto riguarda la sensibilità alle condizioni meteorologiche avverse.

<sup>2</sup>Fenomeno che risulta abbastanza diffuso nelle tecnologie odierne e che può portare a un elevato ritardo ingiustificato nella circolazione ferroviaria.

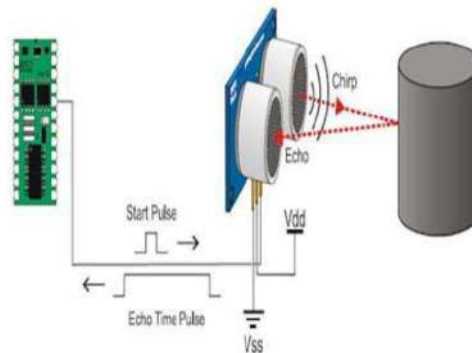


Viene anche dimostrato che con il posizionamento di più estensimetri è possibile rilevare la direzione del movimento dell'ostacolo.

Mentre per quanto riguarda le altre limitazioni della precedente tecnologia, esse risultano ancora presenti e, purtroppo, è stato registrato un peggioramento per quanto riguarda il costo delle manutenzioni [4].

### 4.1.3 Ultrasuoni e fasci ottici

Tra le prime soluzioni che hanno previsto l'utilizzo di sistemi non intrusivi troviamo l'impiego di tecnologie ultrasoniche e fasci ottici aventi uno schema di funzionamento [7] simile dal punto di vista teorico, che consiste nell'emissione di un'onda rispettivamente sonora e ottica, che riflette sull'eventuale ostacolo presente all'interno dell'area d'intersezione, andando così a registrare l'onda riflessa.



**Figura 4.3:** Schema di funzionamento dell'indagine con circuito induttivo [7]

Alcune applicazioni descritte da [6] prevedono l'emissione delle onde (con i fasci ottici risultano spesso necessari più sorgenti per l'emissione) da un lato del PL e la registrazione dell'onda passante dall'altro, indagando così la presenza di ostacoli attraverso la differenza dovuta al fenomeno della riflessione.

Gli autori di [6] hanno dimostrato che con una frequenza di 40 KHz per le onde sonore è possibile rilevare un ostacolo a circa 7,0 m di distanza.

Tuttavia, affermano che, per quanto riguarda queste tecnologie, il costo d'installazione e manutenzione, nonché l'elevata sensibilità alle condizioni meteorologiche rimangono un forte svantaggio.

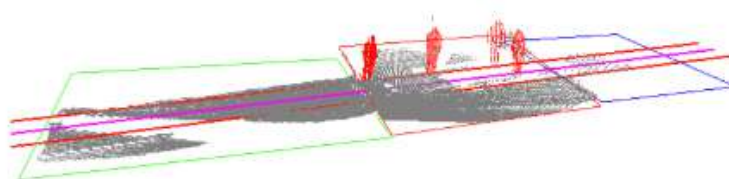
#### 4.1.4 Laser

Un'evoluzione dei sistemi non intrusivi si è avuta con l'introduzione delle indagini laser, le quali utilizzano un emettitore inclinabile per indagare gli ostacoli dell'area (a differenza di quelle ultrasuoni ed ottiche), come in figura 4.4.

Un esempio di un'immagine risultante è riportato nella figura 4.5, nella quale vengono rappresentati 4 pedoni che attraversano il binario ferroviario.



**Figura 4.4:** Esempio di emettitore laser [8]



**Figura 4.5:** Rilevamento di 4 pedoni con il laser [8]

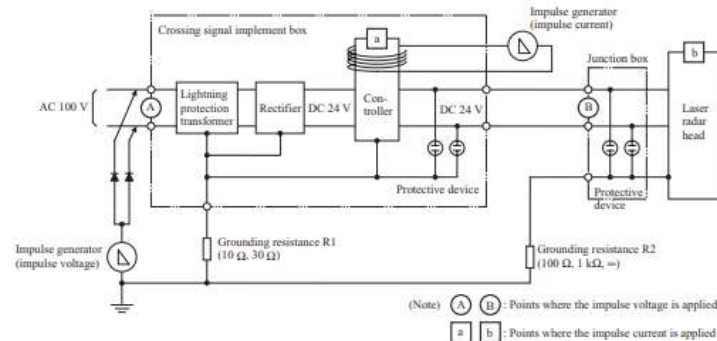
Secondo gli autori [8], tale tecnologia ha dato buoni esiti durante le loro sperimentazioni per quanto riguarda l'indagine di ostacoli anche più piccoli di un'automobile. Inoltre, la tecnologia risulta indipendente dal grado di illuminazione dell'area d'indagine essendo basata sul laser.

Buoni valori si registrano anche per quanto riguarda i costi d'installazione. Tuttavia, si è osservato che richiedono una grande quantità di manutenzione, trasformandosi non solo in un elevato costo ma, potrebbe avere effetti anche sulla regolarità del traffico ferroviario.

Un altro problema grave che non si risolve con questa tecnologia è l'elevata sensibilità alle condizioni meteorologiche, in particolare, alla pioggia nel caso specifico, poiché risulta avere effetti molto disturbanti sull'immagine finale.

### 4.1.5 Radar

La tecnologia radar è quella che risulta attualmente di grande diffusione nel mondo e specialmente in Italia. Infatti, è la soluzione adottata dai PAI-PL di RFI (descritti in dettaglio nel prossimo paragrafo).



**Figura 4.6:** Schema teorico della configurazione con tecnologia radar [9]

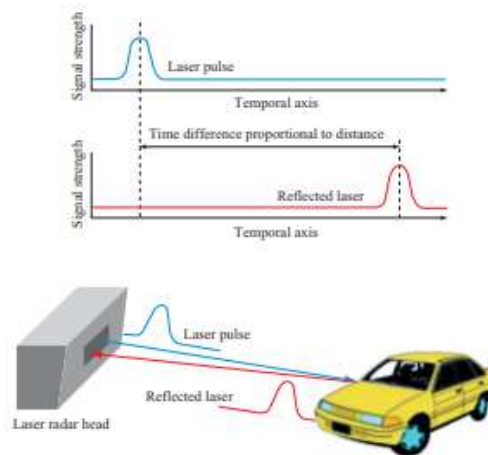
Lo schema generale teorico è rappresentato in figura 4.6, mentre nella figura 4.7 viene riportato un'esempio di PL dotato di emettitore radar, il quale emette un impulso che, incontrando un'eventuale ostacolo, si riflette tornando indietro dopo un certo intervallo temporale (figura 4.8) e produce un'immagine finale come in figura 4.9.

Come affermano gli autori [9], ad oggi vengono accertati oltre 200 PL con tale tecnologia sulla rete East Japan Railway Company, che hanno dato ottimi



**Figura 4.7:** Esempio di un PL attrezzato con tecnologia radar [9]

risultati in condizioni ordinarie d'esercizio e dunque raccomandano l'applicazione della tecnologia radar per l'indagine degli ostacoli.

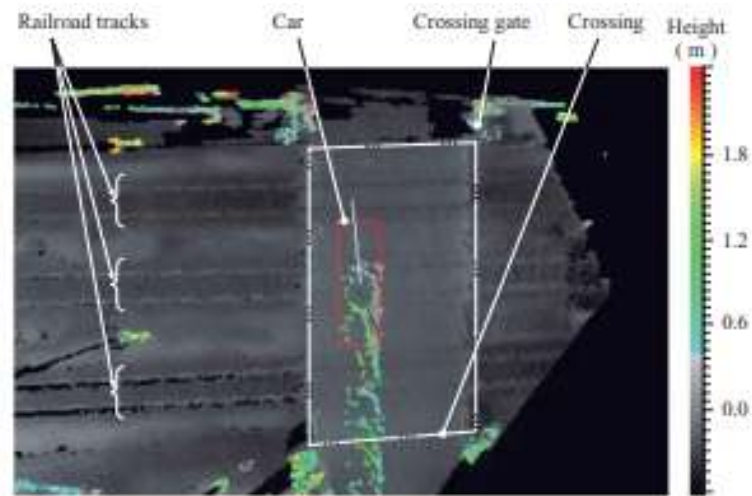


**Figura 4.8:** Autoveicolo indagato con impulso radar [9]

Tali risultati sono confermati anche dagli autori [10], tuttavia, riportano una riduzione delle prestazioni in caso di condizioni meteorologiche avverse. Inoltre, affermano la necessità di un elevato costo per l'installazione e la manutenzione di tale tecnologia.

#### 4.1.6 Riconoscimento automatico delle immagini

L'introduzione del riconoscimento automatico delle immagini per l'accertamento dei passaggi a livello risulta relativamente recente. Tuttavia, dall'analisi della letteratura, si può affermare che tale tecnologia ha un potenziale di diffusione futuro a livello mondiale.



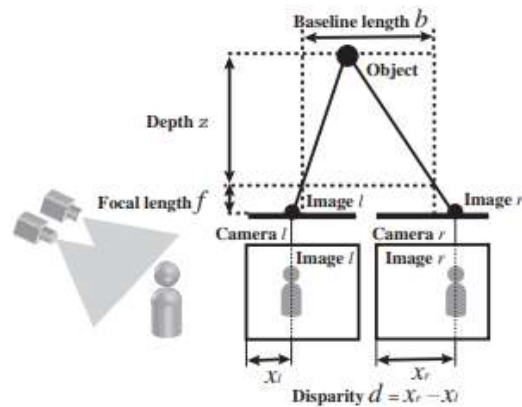
**Figura 4.9:** Esempio di un'immagine indagata con radar [9]



**Figura 4.10:** Esempio di una videocamera stereoscopica per PL [11]

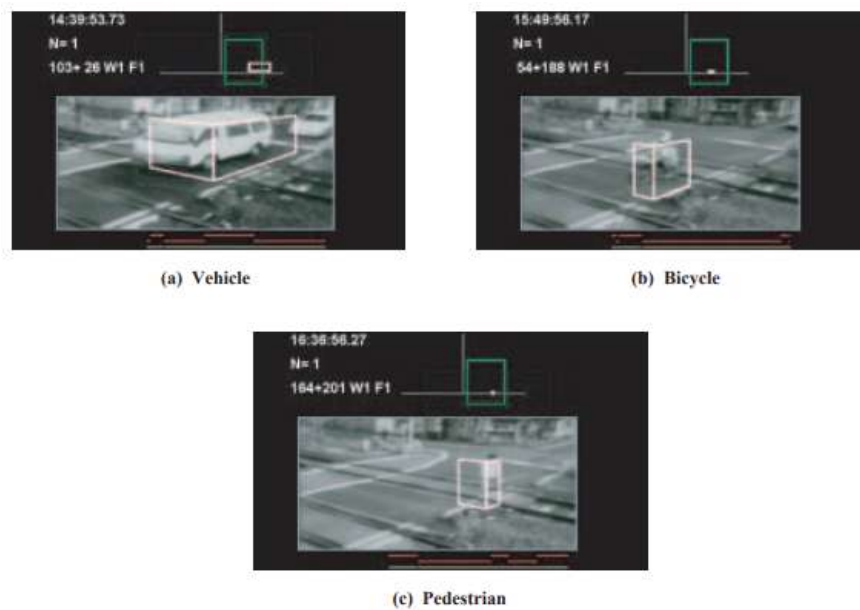
Il sistema d'indagine delle immagini si basa principalmente sulle videocamere stereoscopiche, di cui è riportato un esempio in figura 4.10. Si osserva subito come questo tipo di videocamera riporti due obiettivi a distanza fissa tra di loro. Questa particolarità permette di simulare la modalità di visione degli occhi umani, andando così a eseguire una doppia ripresa della zona indagata.

Secondo gli autori [11], questa particolare modalità di ripresa, combinata con un processo di triangolazione (figura 4.11) delle immagini (con queste ultime richiedenti un pre-processing prima dell'analisi), permette una ricostruzione 3-D degli oggetti rappresentati nelle immagini, andando così risolvere il principale limite delle videocamere standard, dove queste ultime si limitano a riportare immagini 2-D. In figura 4.12, vengono riportate tre immagini per le quali il sistema



**Figura 4.11:** Triangolazione di una doppia visione stereoscopica [11]

ha riconosciuto correttamente un veicolo, un ciclista e un pedone.



**Figura 4.12:** Triangolazione di una doppia visione stereoscopica [11]

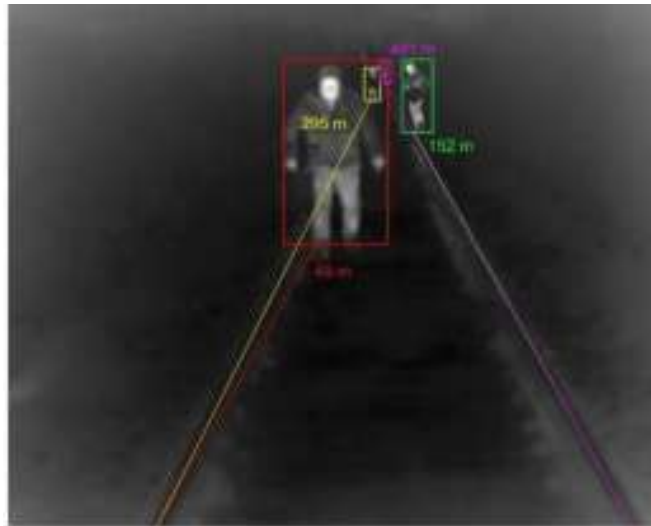
Secondo gli autori [11], l'implementazione di tale tecnologia in un progetto reale deve prevedere un transitorio, durante il quale il sistema applica tecniche di machine learning. Successivamente al transitorio, il sistema da ottimi risultati che diventano buoni in condizioni meteorologiche avverse.

Ad oggi, essendo dei sistemi ancora poco diffusi, richiedono costi d'implementazione e manutenzioni elevati.

#### 4.1.7 Videocamere termiche

L'ultima tecnologia che viene studiata è una tecnologia che sta trovando un'applicazione crescente [12] e riguarda l'impiego di videocamere termiche per il rilevamento degli ostacoli, in particolar modo gli esseri umani.

Essa sfrutta la variazione tra il calore prodotto dagli esseri viventi e quello dell'ambiente circostante ad essi, riuscendo così, grazie al riconoscimento delle immagini (descritto nel precedente paragrafo), ad individuare correttamente la loro forma in immagini ad alta definizione (figura 4.13).



**Figura 4.13:** Immagine di un'indagine con videocamera termica [12]

Questa tecnologia risulta particolarmente utile in tutti quei contesti dove l'illuminazione dell'area dell'attraversamento è debole. Perciò, è ricorrente il suo utilizzo presso i PL pedonali.

Inoltre, secondo gli autori [12] tale tecnologia presenta un buon grado di servizio anche in caso di meteo avverso e risulta molto versatile.

Tuttavia, necessita di alti costi di installazione e difficoltà di indagine dove l'oggetto indagato non presenta una differenza di temperatura rispetto all'ambiente di background.

### 4.1.8 Conclusioni

Nel presente paragrafo vengono raccolti in tabella 4.1 i risultati individuati attraverso l'analisi della letteratura, andando ad evidenziare il confronto tra le diverse tecnologie sotto i seguenti punti di vista:

- l'efficienza del rilevamento, in particolare, tale voce viene distinta ulteriormente nel rilevamento dei veicoli e quello dei pedoni per un maggiore dettaglio
- analogamente i costi vengono suddivisi in Capex e Opex
- la resilienza nei confronti dei fenomeni meteorologici avversi
- la regolarità del sistema, intesa come la capacità del sistema di rilevare effettivamente solo ostacoli reali e non i falsi positivi
- il grado di interferenza con la circolazione (sia stradale che ferroviaria) per eseguire sia l'installazione che la manutenzione del sistema, che va dal semplice rallentamento della circolazione per la presenza di un cantiere per l'installazione di un dispositivo non intrusivo, fino al completo blocco della circolazione per l'installazione di un dispositivo intrusivo

Nella costruzione della tabella 4.1 è stata usata una scala alfabetica dalla A alla E per definire la bontà delle voci in considerazione, in particolare, una valutazione "A" corrisponde ad una situazione ottima e, viceversa, una valutazione "E" corrisponde ad un pessimo grado.

tecnologia	rilevamento		costi		meteo	regolarità	circolaz.
	veicolo	pedone	capex	opex			
circuiti induttivi	B	E	E	E	C	B	E
estensimetri	A	C	E	E	A	B	E
ultrasuoni/ fasci ottici	B	B	D	D	D	C	B
laser	B	B	C	D	E	C	D
radar	A	A	D	D	D	C	B
riconoscim. immagini	B	B	E	E	C	C	B
videocamere termiche	C	A	D	C	A	B	B

**Tabella 4.1:** Riassunto dei vantaggi e svantaggi delle tecnologie per l'indagine degli ostacoli.



Da quest'analisi si osserva come ad oggi non esista una tecnologia capace di soddisfare tutti i requisiti definiti in tabella 4.1, bensì, si trova che alle tecnologie con ottimo grado d'indagine corrisponde un elevato costo.

Va precisato che anche la scelta di una soluzione tecnologica piuttosto di un'altra dipenda anche dai possibili ostacoli da indagare. Per esempio, se il PL in questione è solamente un PL pedonale, l'indagine con videocamere termiche è sicuramente quella più indicata, mentre se sono coinvolti anche veicoli nell'attraversamento, attualmente, la tecnologia più indicata è il radar.

Si precisa come ad oggi, le prime quattro tecnologie prese in analisi trovino applicazioni quasi nulle, poiché ormai superate da tecnologie che permettono di avere maggiori prestazioni a costi inferiori.

In conclusione, va specificato che durante la progettazione di un sistema PAI-PL va presa in considerazione l'idea di combinare diverse tecnologie tra loro, in modo da avere elementi complementari e, dove il limite di una tecnologia possa essere compensato o rimediato da un'altra.

#### 4.1.9 Requisiti RFI per i PAI-PL

Nel presente paragrafo vengono presentati alcuni requisiti tecnici relativi all'attrezzamento con tecnologia PAI-PL dei passaggi a livello sulla rete RFI.

Questa trattazione è importante poiché nel paragrafo 6.5 viene considerato uno scenario ipotetico in cui si prevede di adottare tale tecnologia come soluzione progettuale per risolvere il caso studio del capitolo 6.

Secondo gli autori [13] e [14], i principali requisiti tecnici per ogni sottosistema del PAI-PL sono:

- il *sottosistema di monitoraggio*, SIL 4, posto presso il PL deve:
  - garantire il riconoscimento della presenza di ostacoli in un tempo massimo di 7 secondi, a partire dalla completa chiusura delle barriere del PL

- la sagoma minima al quale si riferisce tale intervallo temporale è un cubo di lato 1,0 m, posizionato sul piano stradale
- garantire opportune tecniche di elaborazione che possano evitare situazioni in cui eventuali ostacoli sotto soglia mascherino un altro ostacolo sopra soglia, falsando la dichiarazione di liberazione dell'area d'intersezione
- garantire un buon livello di funzionamento, anche se sottoposto a determinati livelli di condizioni meteorologiche, specificati in [13]

Gli attuali PAI-PL installati sfruttano principalmente la tecnologia radar per indagare l'eventuale presenza di ostacoli attraverso:

- il *sottosistema di elaborazione dati*, SIL 4, posto presso il PL o un PdS riceve in input i dati provenienti da uno o più PL e li confronta con lo stato d'acquisizione di barriere chiuse
- il *sottosistema di acquisizione video* SIL 0, costituito da una o più videocamere per ogni PL deve permettere: una visione completa dell'area d'intersezione; essere indipendente fisicamente dal sottosistema di rilevamento dati ed essere in comunicazione sia con il DCO che con il centro di manutenzione. Inoltre, l'invio delle immagini al posto centrale deve attivarsi automaticamente qualora l'area non venga considerata libera entro un determinato tempo chiamato "Time-Out invio informazioni al PCCS (TO<sub>pccs</sub>)", con quest'ultimo che deve poter assumere valori compresi da 15 s a 600 s (un valore predefinito può essere di 60 s)
- il *sottosistema di posto centrale(PCCS)*, SIL 0, deve essere dotato di due postazioni di controllo, una per il personale di movimento e un'altra per il personale della manutenzione e deve poter garantire la gestione di almeno 8 sistemi di elaborazioni dati

Viene inoltre specificato che la vita utile stimata del sistema deve essere di 25 anni.

## 4.2 Sistemi TV-PL per l'accertamento video eseguito da operatori

Valutando il sistema d'accertamento TV con operatori secondo le voci della tabella 4.1, è possibile concludere che:

- il livello d'efficienza nel rilevamento di veicoli e pedoni è buono (ma con tempi di gestione più lunghi rispetto a una tecnologia automatica). Tuttavia, potrebbe essere affetto da diverse problematiche del "Human factor" tra le quali: stress; ergonomia della postazione operativa; carico di lavoro; etc.. Tuttavia, l'accertamento tramite operatori risulta più vantaggioso tutte le volte che si presentano situazioni fuori dall'ordinario
- il costo d'implementazione di un sistema TV è estremamente economico se confrontato con un sistema PAI-PL, in quanto la tecnologia in questione si basa semplicemente su comuni videocamere. Ciò gli conferisce anche un carattere di versatilità e disponibilità immediata.  
D'altro canto, il costo operativo risulta molto elevato rispetto a quello di un PAI-PL a causa del costo del personale dell'accertamento
- In condizioni meteorologiche estreme, il livello d'efficienza di un sistema con operatori umani risulta comunque buono
- il problema dei falsi positivi è praticamente assente
- mentre l'installazione e la manutenzione risultano avere pochi effetti negativi sulla circolazione essendo le videocamere una tecnologia non intrusiva

Di seguito viene presentata l'architettura del sistema di accertamento TV attualmente presente lungo il ramo Milano della rete FERROVIENORD, il cui schema del segnalamento e degli enti sono riportati in figura 4.15.

Tale sistema è la soluzione progettuale sul quale è basato il caso studio del capitolo 6.

Il sistema di chiusure delle barriere del passaggio a livello viene attivato nel momento in cui il treno marcia sul dispositivo di comando della chiusura.



**Figura 4.14:** Schema del segnalamento e degli enti

Al termine del controllo della corretta chiusura delle barriere e del loro bloccamento, il PL in questione invia una richiesta d'accertamento all'operatore di competenza, il quale visualizza da remoto sul proprio PC la schermata rappresentata nella figura 4.16.



**Figura 4.15:** Schermata video dell'operatore dell'accertamento

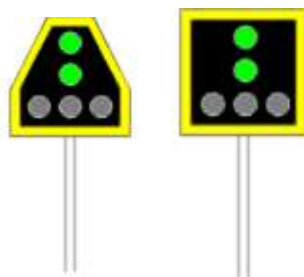
Sul lato destro della schermata viene riportata la lista di PL in coda, in attesa del proprio accertamento.

Nel momento in cui un PL risale la coda e arriva il suo turno per l'accertamento, l'operatore visualizza immediatamente il video di quest'ultimo, in cui viene verificato che la progressiva (di colore bianco) stampata sulla telecamera per la ripresa sia effettivamente la stessa riconosciuta dal sistema informatico (progressiva

verde).

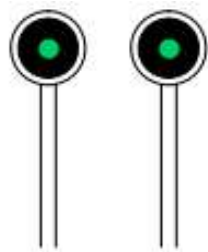
Dopo tale verifica, l'operatore seleziona il PL, schiacciando sul riquadro arancione sulla destra e verifica che effettivamente non vi siano presenti ostacoli di nessun tipo (veicoli, pedoni, ciclisti, ...). Successivamente, esegue l'accertamento con doppio click consecuzionale, schiacciando dapprima il riquadro "ACCERTA 1" e poi "ACCERTA 2".

Il doppio accertamento evita che il PL venga accertato per sbaglio qualora l'operatore commetta una distrazione.



**Figura 4.16:** Segnalamento proprio a via libera.

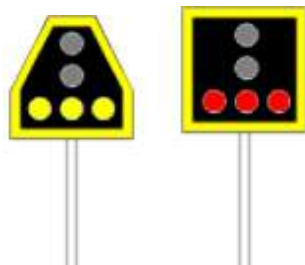
Solo a questo punto il software invia agli impianti di segnalamento il consenso dell'accertamento e, se non giungono nuove condizioni di pericolo, il segnalamento del PL si dispone a via libera per i PL dotati di segnale proprio (come in figura 4.17) oppure, come in figura 4.18, per i PL protetti da segnale di prima categoria.



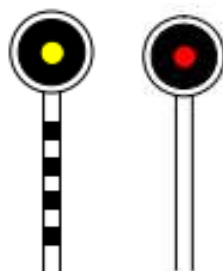
**Figura 4.17:** Segnalamento di prima categoria a via libera.

Qualora non venisse soddisfatta una delle precedenti condizioni, il sistema deve

operare in fail safe, ponendo il segnalamento immediatamente a via impedita, come in figura 4.19 o 4.20, a seconda del tipo di segnalamento in questione.



**Figura 4.18:** Segnalamento proprio a via impedita.



**Figura 4.19:** Segnalamento di prima categoria a via impedita.

Va altresì specificato che gli unici dispositivi tecnologici per il rilevamento degli ostacoli presenti in linea sono le telecamere di ripresa video (ed eventuali elementi complementari) <sup>3</sup> della zona di attraversamento, in quanto, la vera operazione di accertamento è eseguita da remoto dagli operatori dedicati a tale attività.

La problematica relativa alla ripresa notturna viene risolta con uno studio specifico dell'illuminazione pubblica, in modo tale che ogni PL venga illuminato da uno o più pali, garantendo così l'illuminazione della zona di attraversamento del PL sempre.

Qualora si guasti un palo dell'illuminazione, si attiva immediatamente la procedura inerente a tale problema, che prevede di:

---

<sup>3</sup>Per esempio i pali di sostegno delle telecamere

- considerare non accertabile il relativo PL e, di conseguenza, permettere il suo eventuale attraversamento solo con marcia a vista
- provvedere immediatamente al segnalamento del guasto e il ripristino della sua operatività

In conclusione, tali informazioni verranno ripresi e rielaborati nel capitolo 6.

# Capitolo 5

## Elementi di teoria delle code

Il presente capitolo è il riferimento teorico che si è dovuto studiare per poter sviluppare il modello matematico (capitolo 6) che permette la descrizione del fenomeno dell'accodamento dei PL nel sistema di gestione quando effettuano una richiesta di accertamento. Inoltre, tale modello è stato utile al fine di sperimentare i vari scenari dei provvedimenti progettati per poter contenere i ritardi della circolazione ferroviaria.

Dapprima, si definisce un sistema a code come un sistema di flusso in cui vi sono degli utenti in arrivo (che nel caso di studio sono i PL), i quali ricevono un servizio (ovvero l'operazione d'accertamento) di una certa durata da uno o più servitori (gli accertatori nel modello matematico), per poi lasciare il sistema una volta completato il servizio.

In accordo con la legge di conservazione del flusso, qualora le richieste arrivino con un tasso di arrivo superiore alla capacità del sistema, viene a formarsi una coda che dovrà essere gestita da parte degli accertatori secondo una logica che permetta la riduzione dei tempi di attesa dei PL, riducendo così il più possibile il loro ritardo e rendendo così il sistema più efficiente.

Nel capitolo in oggetto si presenterà prima una descrizione generale di un sistema a coda e dei possibili fattori che lo possono influenzare, verranno poi definite le caratteristiche degli arrivi alla Poisson.

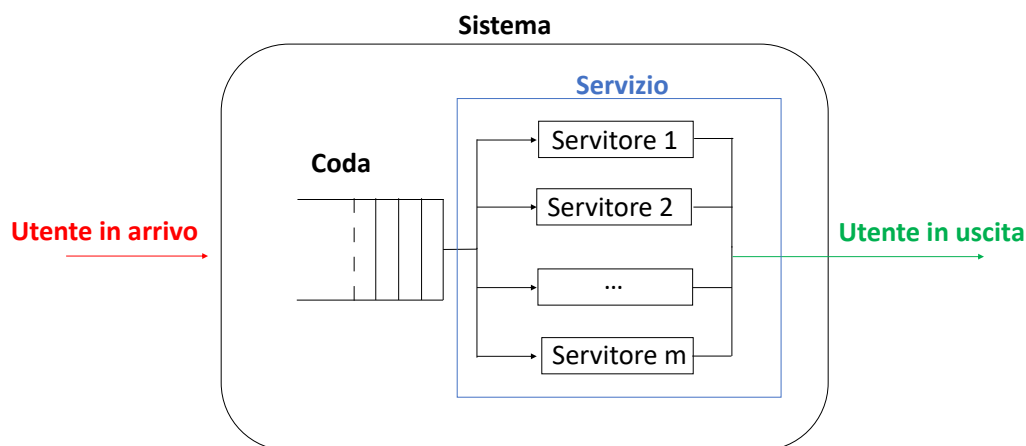
Successivamente, verranno illustrate la legge di Little e il fattore di utilizzazione.



In ultimo, verranno presentate tutte le modalità di disciplina di una coda, con particolare riguardo alla descrizione della modalità di disciplina con priorità delle code.

## 5.1 Struttura generale e fattori d'influenza di un sistema a coda

Ipotizzando che la richiesta d'accertamento n-esima  $C_n$  arrivi all'istante  $\tau_n$ , con un tempo  $t_n = \tau_n - \tau_{n-1}$  di inter-arrivo tra i PL  $C_n$  e  $C_{n-1}$ , essa si troverà davanti un numero di richieste  $N(t)$  già presenti nel sistema (figura 5.1), e corrisponderà a una certa quantità  $U(t)$  di lavoro non completato dal sistema al tempo  $t$ , che obbligherà il PL  $C_n$  ad attendere in una coda.



**Figura 5.1:** Schema di un sistema a coda

Dunque, definiamo il tempo di sistema (o tempo necessario)  $T_n$  del PL  $C_n$ , come la somma del suo tempo di coda (o di attesa)  $W_c$  e il suo tempo di accertamento  $x_s$ :

$$T_n = W_c + x_s \quad (5.1)$$

Tale equazione è una formulazione del tutto generale del tempo di sistema, poiché la definizione del tempo di coda dipende da molti fattori, tra cui:

1. la frequenza e la distribuzione degli arrivi
2. lo stato del sistema nel momento dell'arrivo
3. il numero  $m$  di postazioni d'accertamento. In particolare, la quantificazione e il dimensionamento di tale variabile è una delle conclusioni più importanti del modello matematico del caso studio
4. la modalità di disciplina della coda. Tutte le possibili modalità di gestione sono descritte nel paragrafo 5.5 e, tra tutte, nel modello viene inizialmente usata la modalità FCFS e, successivamente, viene sperimentato uno scenario con delle priorità per i PL più problematici
5. la capacità della coda (numero massimo di utenti che possono accodarsi nel sistema) che, nel caso in oggetto, equivale a infinito. Anche se oltre a un certo numero di PL in coda, si registrano dei ritardi inaccettabili
6. la possibilità di abbandono, corruzione o inganno da parte dei PL nella coda. Tuttavia, queste azioni non sono ammesse nel modello previsto, poiché non hanno una corrispondenza fisica nella realtà

Per un maggiore approfondimento di tali fattori e della loro influenza nel calcolo dei tempi di coda e di servizio si rimanda ai prossimi paragrafi.

## 5.2 Processo degli arrivi alla Poisson

Ponendo ora l'attenzione sul primo fattore d'influenza esposto nel paragrafo 5.1, tra le diverse tipologie di distribuzione degli arrivi viene presentato un processo degli arrivi alla Poisson [14] per via della sua utilità nello sviluppo del modello matematico.

Dapprima andiamo a definire:

- con  $t$ : l'ampiezza dell'intervallo temporale di misurazione
- con  $a$ : il numero degli arrivi durante  $t$
- con  $P_a(t)$ : la probabilità che durante il tempo  $t$  vi siano  $x$  arrivi

In particolare, tale processo prevede che siano soddisfatte le seguenti ipotesi durante l'intervallo temporale di misura, ovvero:

1. *Ipotesi di uniformità:*

Solo l'ampiezza dell'intervallo  $t$  influenza la probabilità  $P_a(t)$ . Altri elementi, come la posizione specifica dell'intervallo lungo l'asse del tempo, risultano ininfluenti:

$$P_a(t_1) = P_a(t_2) \quad (5.2)$$

Dove  $t_1$  e  $t_2$  sono due intervalli temporali di uguale ampiezza ma avvenuti in momenti diversi.

2. *Ipotesi d'assenza di memoria:*

Vale a dire che una volta terminato un intervallo  $t$ , il sistema si dimentica del suo effetto e, di conseguenza, tale effetto non si riversa agli intervalli successivi.

3. *Ipotesi di ordinarietà:*

Ovvero l'esistenza di un intervallo temporale, seppur molto piccolo (anche infinitesimale), in cui è ammesso un solo arrivo.

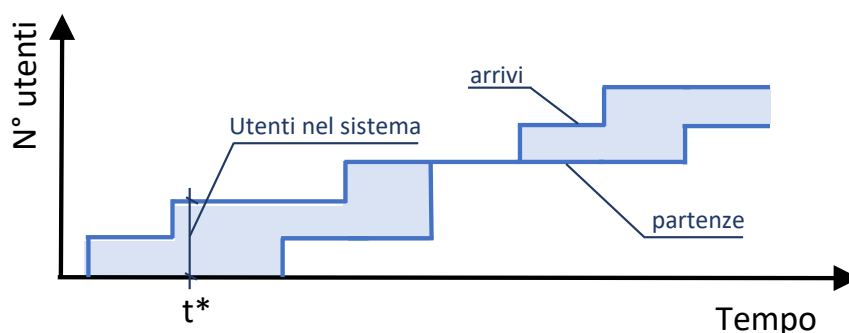
Dunque, soddisfatte le precedenti ipotesi, è possibile trattare il problema degli arrivi in termini di valore medio, definendo il tasso medio degli arrivi  $\lambda$ :

$$\lambda_n = \frac{a}{t} \quad (5.3)$$

### 5.3 Legge di Little [15]

La legge di Little è stata formulata nel 1961 dal professor J. Little del MIT (Sloan School of Management). Si tratta di una legge che permette di trovare il numero di utenti (PL nel caso in oggetto) presenti in coda, in accertamento o, più in generale, nel sistema.

Nella figura 5.2 troviamo un andamento tipo della popolazione di utenti all'interno di un sistema a coda, il quale è alimentato dalle richieste in ingresso, mentre le uscite tendono a ridurre la popolazione. Gli arrivi e le partenze, genericamente, sono funzioni variabili nel tempo.



**Figura 5.2:** Schema arrivi e partenze in un sistema a coda

Fissato un istante di tempo ( $t^*$ ) nella figura 5.2, troviamo esattamente il numero di PL presenti nel sistema in tale istante, mentre l'area in azzurro rappresenta il n° di PL moltiplicato per il tempo di osservazione e vale:

$$\psi = \int_0^t a(t) - p(t) dt \quad (5.4)$$

Quindi, il numero medio degli utenti presenti nel sistema nell'intervallo  $(0, t)$  è:

$$N_m = \frac{\psi}{t} \quad (5.5)$$

Mentre il numero medio del tempo di sistema per utente nell'intervallo  $t$  è:

$$T_m = \frac{\psi}{N} \quad (5.6)$$

Ipotizzando a questo punto che sia gli arrivi che le partenze siano dei processi di Poisson (paragrafo 5.2), e che dunque siano validi i seguenti limiti:

$$\lambda = \lim_{t \rightarrow +\infty} \lambda_t \quad (5.7)$$

$$T = \lim_{T \rightarrow +\infty} t \quad (5.8)$$

allora è possibile semplificare la trattazione utilizzando i valori medi delle variabili.

Ricordando l'equazione 5.3, allora la legge di Little risulta:

$$N = \lambda T \quad (5.9)$$

*Vale a dire che il numero medio degli PL nel sistema è pari al tasso medio degli arrivi moltiplicato per il tempo di sistema medio richiesto dal PL per attraversare il sistema stesso.*

Analogamente è possibile calcolare il numero di PL in coda utilizzando il tempo di coda (equazione 5.10) e il numero degli utenti presenti nella stazione (o stazioni) di servizio utilizzando il tempo di accertamento (equazione 5.11):

$$n_c = \lambda W_c \tag{5.10}$$

$$n_s = \lambda x_s \tag{5.11}$$

## 5.4 Il fattore di utilizzazione

Poiché, in generale, tutti i sistemi hanno una capacità massima ( $C$ ) con la quale possono accertare i PL a fronte di una certa quantità di lavoro<sup>1</sup> in ingresso richiesto ( $R$ ), allora si può definire un *fattore di utilizzazione* pari a [15]:

$$\rho = \lambda t_s \quad (5.12)$$

Ovvero, se si considera che i PL arrivano con un tasso medio  $\lambda$  (inteso come PL in arrivo al secondo) e che ogni PL richiede una quantità di lavoro (tempo di accertamento)  $t_s$ , allora il totale di lavoro richiesto è dato dal loro prodotto.

Tale formulazione è valida per i sistemi con un'unica stazione di servizio mentre, se avessimo a disposizione più accertatori<sup>2</sup>, l'equazione 5.12 diventa:

$$\rho = \frac{\lambda t_s}{m} \quad (5.13)$$

dove  $m$  corrisponde al numero di postazioni d'accertamento disponibili.

Le due equazioni precedentemente esposte sono valide nel caso in cui la capacità del sistema sia indipendente dal proprio stato.

A questo punto, noto il lavoro totale richiesto, è possibile determinare la saturazione del sistema ( $S$ ) come il rapporto tra il fattore di utilizzazione ( $\rho$ ) e la capacità ( $C$ ) del sistema stesso:

$$S = \frac{\rho}{C} \quad (5.14)$$

---

<sup>1</sup>Inteso come il tempo che l'utente chiederà al servitore in modo da essere processato.

<sup>2</sup>Terzo fattore d'influenza della struttura di un sistema a coda (capitolo 5.1).

## 5.5 Disciplina della coda [15]

Nel presente paragrafo viene studiato un importante fattore d'influenza dei sistemi a coda. Ovvero, la modalità di disciplina della coda secondo la quale viene determinato l'ordine d'accertamento dei PL facenti richiesta in un determinato momento.

Tra le modalità più diffuse per un generico sistema a coda troviamo:

1. *primo arrivato primo servito* (FCFS, first come first served)  
Esempio: coda in banca, al supermercato, in posta, ...ecc
2. *ultimo arrivato primo servito* (LCFS, last come first served)  
Esempio: il caricamento di bagagli nella stiva di un aereo
3. *casuale* (SIRO, service in random order)
4. *a priorità*, modalità che prevede la suddivisione in classi di priorità
5. *tempo di servizio più breve primo servito* (SJF shortest job first)
6. *tempo di servizio più lungo primo servito* (LJF longest job first)
7. *combinazioni delle precedenti modalità*

Come è stato precedentemente accennato, le modalità più interessanti per il caso studio del capitolo 6 sono state principalmente: primo arrivato primo servito, e con priorità. Con la prima modalità è stato definito un modello iniziale, su cui sono stati poi valutati gli effetti della gestione con priorità.

### 5.5.1 Disciplina delle code con priorità

Per descrivere al meglio la disciplina delle code con priorità, si immagina di porsi all'ingresso del sistema. In tale posizione, ogni PL in ingresso viene marcato con la classe d'appartenenza.

La convenzione che si utilizzerà definisce la classe di un cliente con un pedice, dove quest'ultimo è direttamente proporzionale alla classe d'importanza (quindi un cliente di classe  $i$  ha una priorità maggiore rispetto al cliente appartenente alla classe  $i-1$ ) e, chiaramente, il numero di classi deve essere finito ( $i=1, 2, \dots, \mathbf{P}$ ).

Inoltre, risulta importante definire in modo univoco i criteri d'ammissione a una classe piuttosto che a un'altra. Tali criteri solitamente sono legati a dei parametri o a delle caratteristiche intrinseche degli utenti. La specializzazione di questi concetti al problema in studio sono descritti nel paragrafo 6.2.7.

Da questo punto in avanti viene ipotizzato che gli arrivi siano un processo di Poisson e, di conseguenza, e che sia valida la formulazione di Little. Inoltre, si immagina di avere uno specifico PL in ingresso che viene marcato  $p$ .

Lo scopo della seguente trattazione è quello di definire il tempo di sistema (o tempo necessario)  $T_p$ <sup>3</sup> dello specifico cliente precedentemente definito, ricordando che  $T_p$  è dato dalla somma tra il tempo di coda  $W_p$  e quello dell'accertamento  $x_p$  (equazione 5.1).

Allora a questo punto, il tempo di sistema viene scomposto in 4 componenti, rappresentate dall'equazione 5.15 e dalla figura 5.3:

1. tempo di attesa in coda dovuto alla vita residua dei PL che occupano già gli accertatori al momento dell'arrivo  $W_0$
2. tempo di attesa in coda dovuto ai PL che si trovano già in coda davanti a lui  $W'_p$
3. tempo di attesa in coda dovuto ai PL che, seppur arrivando in un momento successivo a quello dell'arrivo del PL marcato, lo superano nella coda per via della loro maggiore priorità  $W''_p$

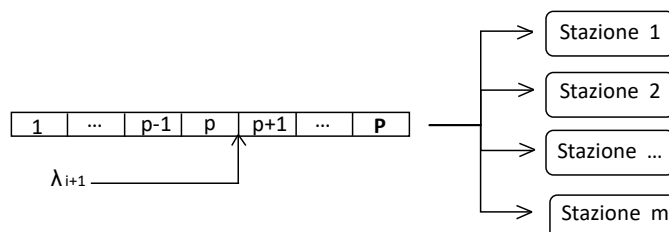
---

<sup>3</sup>Il pedice  $p$  si riferisce alla classe del PL in questione.



4. infine, il tempo di servizio del PL in questione  $x_p$

$$T_p = W_0 + W'_p + W''_p + x_p \quad \text{con } p = 1, 2, \dots, P \quad (5.15)$$



**Figura 5.3:** Schema code con priorità

Dunque, la somma delle prime 3 componenti rappresenta il tempo totale di coda e solo il quarto componente è quello effettivamente relativo al servizio. A questo punto, si focalizza la trattazione solo sulla determinazione delle componenti del tempo di coda  $W_p$  e alla fine si presenterà la formula finale del tempo di sistema  $T_p$ .

### Calcolo di $W_0$

Si osservi come il tempo  $W_0$  dovuto al tempo di attesa dei PL che occupano gli accertatori nel momento dell'arrivo del PL marcato, sia un tempo indipendente dalla classe di priorità. Infatti,  $W_0$  non presenta pedici nè per la classe del PL in attesa nè per quello in accertamento.

Con tale formulazione non viene ammesso che un PL in servizio possa ritornare in coda (dando priorità a un altro PL) o abbandonare il sistema prima di concludere il proprio servizio, qualunque classe abbia.

L'equazione 5.15, che descrive la vita residua dei clienti in servizio, viene dimostrata al paragrafo 5.2 di [15] e ha la seguente espressione:

$$W_0 = \sum_{i=1}^P \frac{\lambda_i \overline{x_i^2}}{2m} \quad (5.16)$$

Dove:

- $\lambda_i$  = tasso medio degli arrivi poissiani (equazione 5.3)
- $x_i^2$  = momento del secondo ordine del tempo di servizio di un PL appartenente a un classe  $i$
- $P$  = numero massimo di classi
- $m$  = numero di postazioni operative

### Calcolo di $W'_p$ e $W''_p$

Il tempo di attesa  $W'_p$  viene determinato dall'equazione 5.16:

$$W'_p = \sum_{i=p}^P N_{ip} x_i \quad (5.17)$$

Dove:

- $N_{ip}$  = numero dei PL (ciascuno con la propria classe  $i \geq p$ )<sup>4</sup> già presenti nella coda nel momento dell'arrivo del PL marcato  $p$  e che verranno serviti prima di quest'ultimo
- $x_i$  = tempo di servizio di ciascuna classe  $i$  già presente nella coda

Analogamente, viene individuata l'espressione di  $W''_p$ :

$$W''_p = \sum_{i=p+1}^P M_{ip} x_i \quad (5.18)$$

Dove:

- $M_{ip}$  = numero dei PL che arrivano dopo il PL  $p$ , ma che lo superano nella coda poiché hanno classe  $i > p$
- $x_i$  = tempo di servizio di ciascuna classe  $i$  con priorità maggiore di  $p$

Note le equazioni: 5.15, 5.16 e 5.17, allora l'equazione del tempo di coda diventa:

$$W_p = \sum_{i=1}^P \frac{\lambda_i \overline{x_i^2}}{2m} + \sum_{i=p}^P N_{ip} x_i + \sum_{i=p+1}^P M_{ip} x_i \quad \text{con } p = 1, 2, \dots, P \quad (5.19)$$

---

<sup>4</sup>in questo caso è stata utilizzata una combinazione di discipline, in particolare, oltre alla priorità è stata prevista una disciplina FCFS per i PL di pari classe.

A questo punto rimane da determinare solo il valore di  $N_{ip}$  e  $M_{ip}$ , ma ricordando ancora una volta le ipotesi di arrivi poissiani e la validità della formula di Little. Allora, si può affermare che il prodotto tra i tassi degli arrivi ( $\lambda_i$ ) e i tempi di coda ( $W_i$ ) di ciascuna classe permetta di calcolare il numero di PL già presenti in coda ( $N_{ip}$ ) all'arrivo del PL marcato  $p$ :

$$N_{ip} = \lambda_i W_i \quad \text{con } i = p, p + 1, \dots, P \quad (5.20)$$

Analogamente, si determina l'espressione del numero di PL che supereranno il PL marcato ( $M_{ip}$ ) ma, questa volta, l'intervallo temporale di riferimento è il tempo di coda totale ( $W_p$ ) del PL  $p$ :

$$M_{ip} = \lambda_i W_p \quad \text{con } i = p + 1, p + 2, \dots, P \quad (5.21)$$

A questo punto, se si sostituiscono le espressioni 5.19 e 5.20 nella 5.18, si trova l'equazione 5.21:

$$W_p = \sum_{i=1}^{\mathbf{P}} \frac{\lambda_i \overline{x_i^2}}{2m} + \sum_{i=p}^{\mathbf{P}} \lambda_i W_i x_i + \sum_{i=p+1}^{\mathbf{P}} \lambda_i W_p x_i \quad \text{con } p = 1, 2, \dots, P \quad (5.22)$$

Dove raccogliendo  $W_p$  e ricordando l'equazione 5.12, troviamo:

$$W_p = \frac{W_0 + \sum_{i=p+1}^{\mathbf{P}} \rho_i W_i}{1 - \sum_{i=p}^{\mathbf{P}} \rho_i} \quad \text{con } p = 1, 2, \dots, P \quad (5.23)$$

Dunque, in un sistema di  $\mathbf{P}$  PL troveremo  $\mathbf{p}$  equazioni come la 5.22 interdipendenti tra di loro poiché ognuna richiama il tempo di attesa  $W_i$  di quella precedente.

È possibile ovviare a tale problema risolvendo il sistema per passi successivi, partendo dall'equazione della classe più prioritaria ( $W_P$ ), i cui PL non possono essere superati una volta immessi nella coda che, di conseguenza, ha un'espressione semplificata che vale:

$$W_P = \frac{W_0}{1 - \sum_{i=P}^{\mathbf{P}} \rho_i} \quad \text{con } p = 1, 2, \dots, P \quad (5.24)$$

Conseguentemente, si determina facilmente il tempo di attesa  $W_{p-1}$  e così via.

Infine, si presentano alcune considerazioni sulla disciplina con priorità delle code:

- il tempo di attesa  $W_p$  di un determinato PL non è influenzato da quelli di priorità inferiore (a meno di  $W_0$  per com'è stato introdotto quest'ultimo), Bensì, è influenzato da quelli di priorità superiore al suo o tutt'al più da quelli di pari priorità
- per come è stato formulato il problema, qualora i PL di priorità più alta fossero numerosi, è possibile giungere a una situazione dove i PL di priorità inferiori presentino tempi di attesa tendenti all'infinito

In conclusione, l'approfondimento dei concetti teorici della teoria delle code e la loro specializzazione al problema dell'accertamento dei passaggi a livello eseguiti in questo capitolo, sono stati di vitale importanza per la costruzione della struttura matematica del modello sviluppato nel capitolo 6, grazie al quale è stato possibile:

- dimensionare il numero di postazioni operative per gestire i PL della rete FERROVIENORD nella sua attuale configurazione
- quantificare i provvedimenti di riduzione dei ritardi grazie alla quantificazione della distanza di arretramento dei dispositivi di rilevamento del treno di ciascun PL
- simulare degli scenari in cui si prevedono dei PL con maggiore priorità rispetto ad altri poiché considerati più problematici da un punto di vista operativo

## Capitolo 6

# Sistema accentrato per la gestione dei passaggi a livello di FERROVIENORD

Il presente capitolo è il risultato finale del lavoro eseguito durante il mio tirocinio presso FERROVIENORD, dove l'oggetto di studio è stato il progetto dell'attrezzamento dell'intera rete con un sistema d'accertamento TV-PL avente una logica accentrata presso un'unica sala centrale.

La necessità di adottare il sistema TV-PL come soluzione piuttosto che la tecnologia PAI-PL per accertare il ramo Iseo è stata obbligatoriamente dettata dall'attuale sistema d'accertamento, che prevede che i PL del ramo Milano siano accertati con il sistema TV-PL. Poiché le alternative sarebbero state:

- smantellare il sistema TV-PL del ramo Milano e attrezzare l'intera rete con il sistema PAI-PL. Ciò sarebbe stato assurdo poiché il sistema di telecamere installate oggi sul ramo Milano è perfettamente funzionante
- pur realizzando il sistema di accentrato della gestione del ramo Milano in un progetto a parte, attrezzare solo il ramo Iseo risulta comunque inconveniente da un punto di vista economico, come si vedrà in modo più approfondito nel paragrafo 6.3. dato che il numero dei PL da attrezzare risulta troppo basso per poter garantire un costo specifico a PL conveniente rispetto a quello TV-PL per lo specifico ramo Iseo  
Di conseguenza, il costo del personale umano non viene compensato dal costo d'investimento nella tecnologia PAI-PL

In seguito, si darà per prima una panoramica sulla realtà FERROVIENORD (con una brevissima descrizione: della rete, della diffusione dei PL e della loro quantità di richieste giornaliere, dove l'utilità di quest'ultimi valori risiede nella determinazione della fascia oraria su cui dimensionare il sistema), seguita da una descrizione più dettagliata del progetto in questione.

Nel paragrafo 6.2 viene poi descritto il modello matematico sviluppato nei minimi dettagli, andando a definire le soluzioni per la mitigazione dei ritardi.

Nel paragrafo 6.3 viene riportato un approfondimento del costo d'implementazione del sistema, con un dettagliato studio attraverso la costruzione di un computo metrico estimativo.

Successivamente, con il paragrafo 6.4, ci si concentra su un'analisi di sicurezza del sistema attraverso la costruzione di un albero dei guasti e degli eventi al fine di comprendere e dettagliare i particolari e i potenziali eventi di pericolo riscontrabili nella realtà operativa del sistema.

Infine, nel paragrafo 6.5, vengono riportati alcuni confronti tecnici, economici e della regolarità tra il sistema TV-PL e i sistemi PAI-PL, assumendoli come soluzione progettuale per l'implementazione del sistema d'accertamento lungo il ramo Iseo.

Ferrovienord è il gestore infrastrutturale della rete ferroviaria lombarda di proprietà regionale, avente una lunghezza totale di 331 km e 124 stazioni <sup>1</sup>, la quale si distingue principalmente nel ramo Milano e nel ramo Iseo.



**Figura 6.1:** Logo Ferrovienord

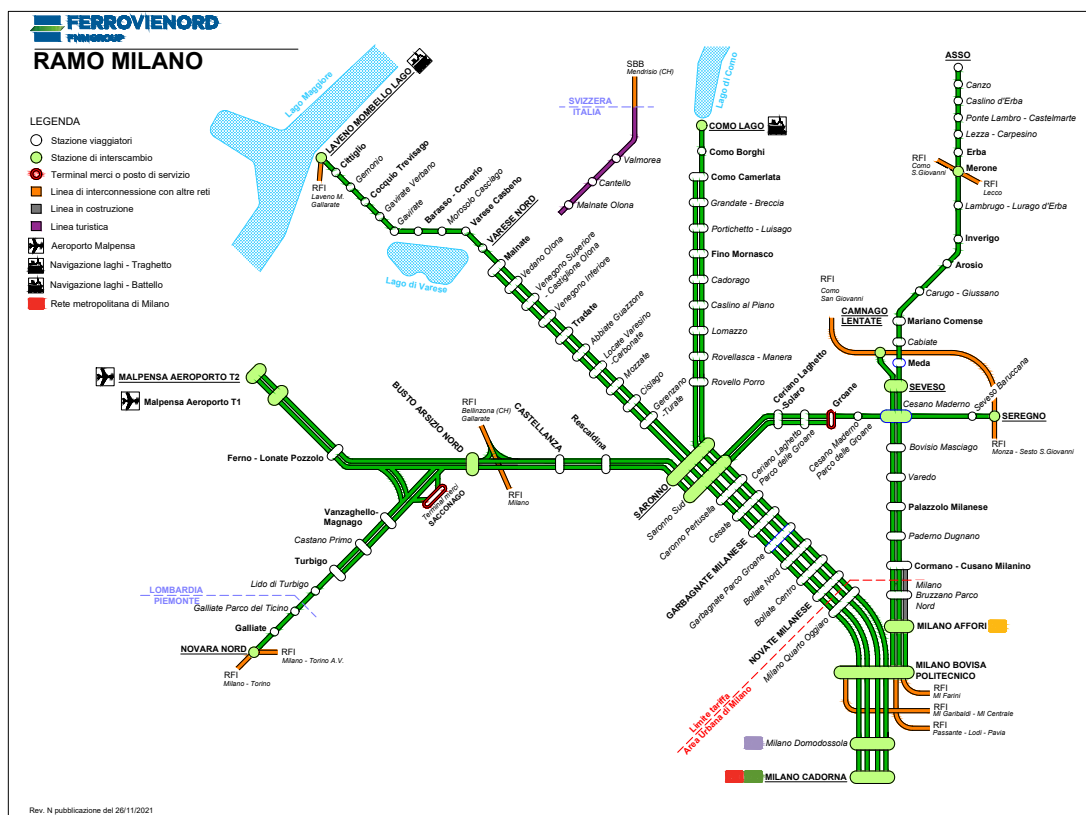
---

<sup>1</sup><https://www.ferrovienord.it/profilo-societa/>

## CAPITOLO 6. SISTEMA ACCENTRATO PER LA GESTIONE DEI PASSAGGI A LIVELLO DI FERROVIENORD

Il ramo Milano, figura 6.2, conta 87 stazioni e una lunghezza di 223 Km ed è composto dalle seguenti linee:

- Milano Cadorna – Saronno
- Saronno – Varese Nord – Laveno Mombello Lago
- Saronno – Como Lago
- Saronno – Seregno
- Saronno – Busto Arsizio Nord – Malpensa Aeroporto T2
- Busto Arsizio Nord – Novara Nord
- Milano Bovisa Politecnico – Seveso – Camnago – Lentate
- Seveso – Asso



**Figura 6.2:** mappa del ramo Milano

## CAPITOLO 6. SISTEMA ACCENTRATO PER LA GESTIONE DEI PASSAGGI A LIVELLO DI FERROVIENORD

Mentre il ramo Iseo, figura 6.3, conta 37 stazioni e una lunghezza di 108 Km, ed è composto da:

- Brescia – Iseo – Edolo
- Bornato – Rovato FN

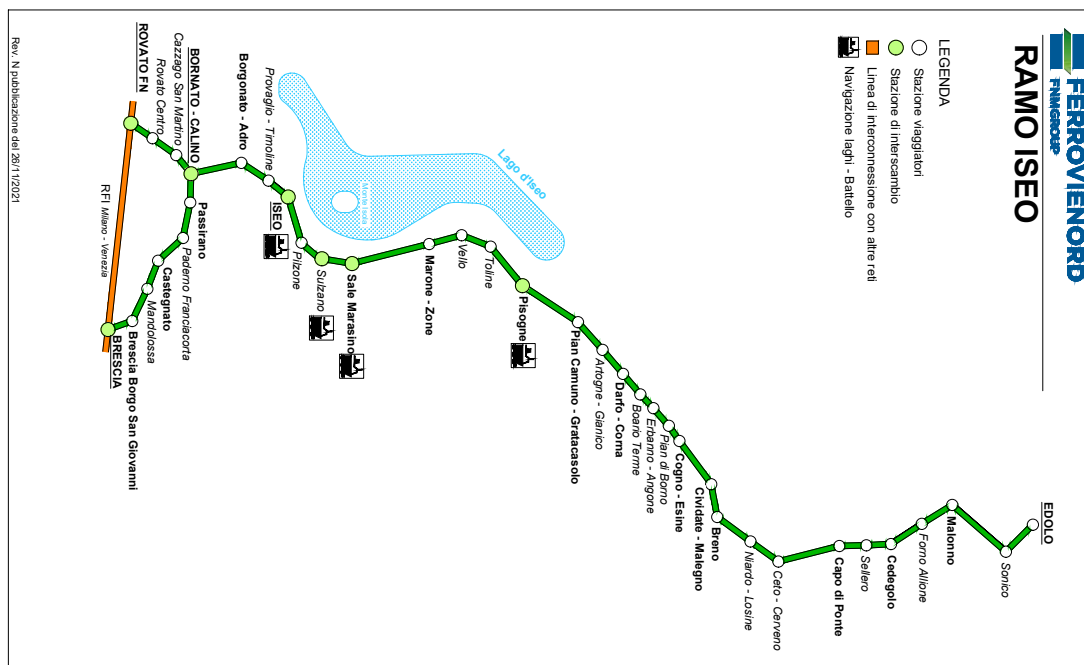


Figura 6.3: mappa del ramo Iseo

Tutte le linee precedentemente presentate sono linee elettrificate con una tensione di 3000 volt, ad eccezione del ramo Iseo che è a trazione diesel.

Inoltre, la rete Ferrovienord garantisce la circolazione di circa 900 treni al giorno che trasportano circa 200.000 passeggeri.



## 6.1 Situazione attuale dei PL

La rete FERROVIENORD conta 220 PL in totale, suddivisi come in tabella 6.1

RAMO	PL [n]	ESTENSIONE [km]	PL/KM
Ramo Milano	112	223	0.502
Ramo Iseo	102	108	0,944

**Tabella 6.1:** Numero di PL suddivisi per rami.

Si noti come il ramo Iseo abbia in proporzione un elevato numero di PL rispetto a Milano essendo un linea isolata, come confermato dalla tendenza dei dati ANSFISA, tabella 2.1.

A livello di sicurezza, attualmente l'intero ramo Milano è dotato del sistema di accertamento TV-PL precedentemente descritto nel paragrafo 4.2, in cui ogni postazione è dedicata solo ed esclusivamente ai PL della linea di pertinenza. Lavorando così in modo completamente indipendente l'una dall'altra, le postazioni si trovano separate anche fisicamente.

In particolare, ad oggi, le postazioni dell'accertamento si trovano presso le stazioni:

- Varese
- Como
- Seveso, dotata di due postazioni, poiché l'accertamento viene distinto per tratta
- Alcuni PL sono gestiti direttamente dagli operatori delle stazioni, si tratta delle stazioni di: Inverigo, Arosio e Asso

Mentre il ramo Iseo ad oggi è completamente sprovvisto di un sistema d'accertamento della liberazione dei PL da ostacoli. Questo è stato individuato come una grande vulnerabilità del sistema.

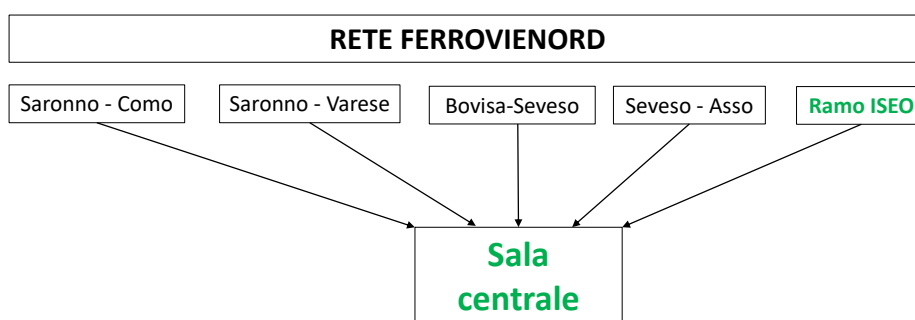
Attualmente, tale gestione separata dell'accertamento dei PL rappresenta una grande inefficienza del sistema poiché non coglie eventuali squilibri di traffico tra

una linea e l'altra che può avvenire durante la giornata. Per esempio, potrebbe capitare che un accertatore della stazione di Como si trovi oberato da una grande quantità di richieste di accertamento e, nello stesso momento, un suo collega in un'altra stazione d'accertamento potrebbe trovarsi completamente libero, figura 6.4.



**Figura 6.4:** Situazione attuale dell'accertamento

Alla luce di quanto precedentemente esposto, il progetto in essere ha lo scopo principale di realizzare un sistema per l'accertamento dei PL del ramo Iseo, nonché di accentrare l'accertamento (con un sistema in parallelo) di tutti i PL che saranno presenti sulla rete FERROVIENORD, arrivando così a un sistema molto più sicuro ed efficiente, figura 6.5.

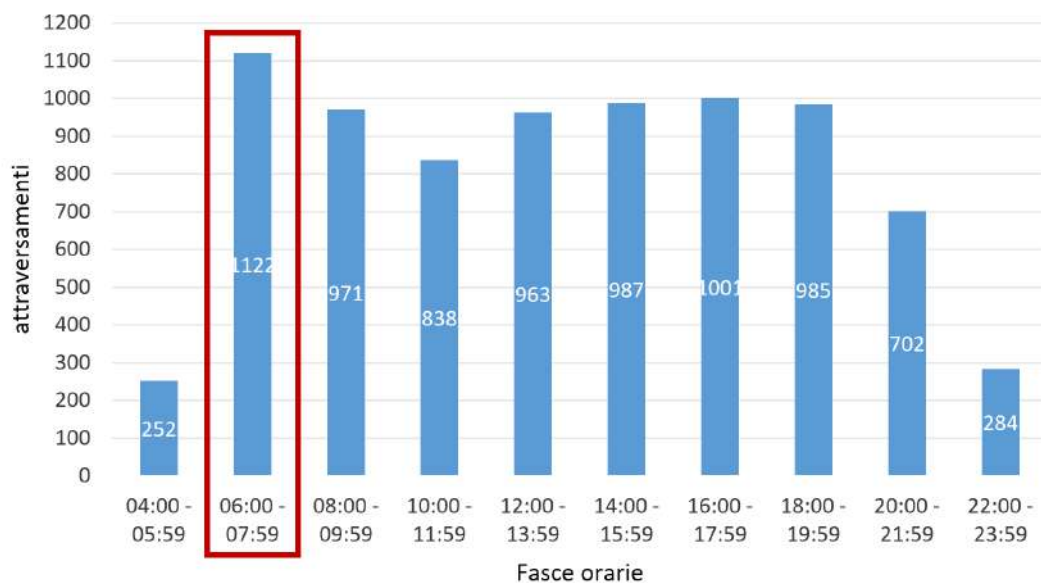


**Figura 6.5:** Situazione futura dell'accertamento

### 6.1.1 Quantità di richieste d'accertamento prevista quotidianamente

Lo scopo del seguente paragrafo è quello di dare un'idea sulla quantità di attraversamenti (future richieste d'accertamento) dei PL nella rete FERROVIENORD, andando ad individuare il momento di punta del sistema (che sarà poi fondamentale per lo sviluppo del modello), nonché individuare quali sono le tratte maggiormente impegnative sotto questo punto di vista.

Perciò, basandosi su un ordinario giorno feriale<sup>2</sup> è stato ricavato in dettaglio il numero di attraversamenti ferroviari dei 220 PL della rete FERROVIENORD, con una distribuzione temporale nell'arco di una giornata come da figura 6.6.

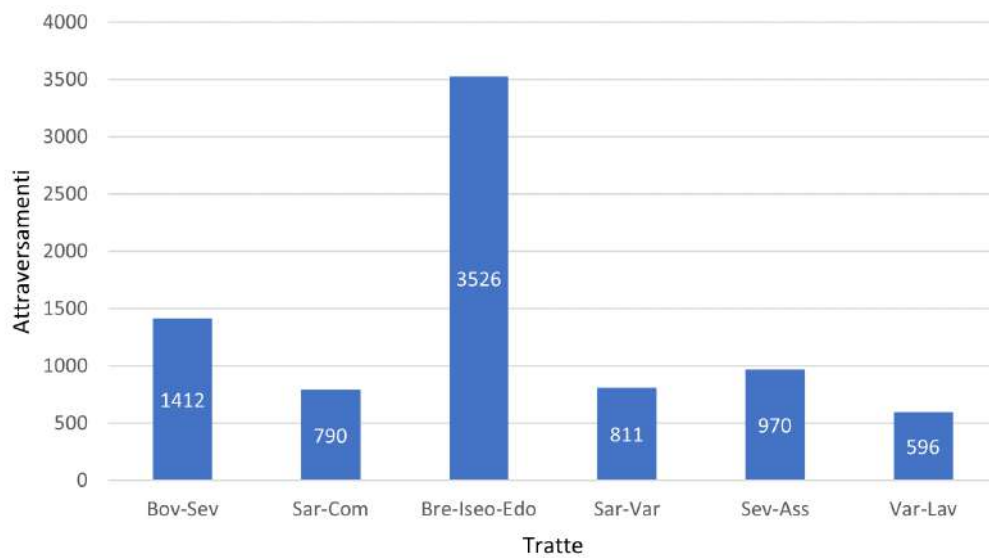


**Figura 6.6:** Numero totale degli attraversamenti

Si osserva che in totale si hanno 8105 attraversamenti, con un netto picco mattutino causato dall'alta frequenza di treni per il trasporto dei pendolari. Perciò, nel modello, la fascia oraria mattutina dalle 6 alle 8 sarà considerata come momento di punta (durante la quale si verifica un attraversamento ogni 6,4 secondi).

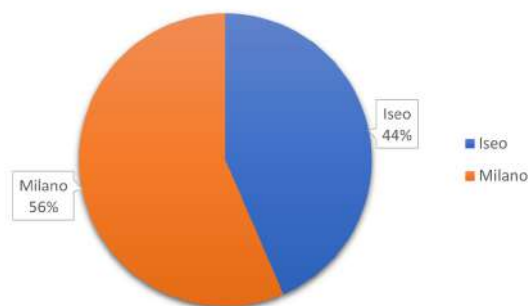
<sup>2</sup>In particolare, sono stati presi in considerazione i dati relativi al giorno 7 ottobre 2021 per l'analisi.

È stato poi disaggregato il dato relativo al numero degli attraversamenti in funzione delle varie tratte, figura 6.7, dimostrando ancora una volta l'elevato numero degli attraversamenti del ramo Iseo. Mentre per quanto riguarda il ramo Milano, si osserva che la tratta Bovisa-Seveso e Seveso-Assolombarda siano le tratte con il maggior numero di attraversamenti dei PL.



**Figura 6.7:** Numero degli attraversamenti quotidiani per tratta

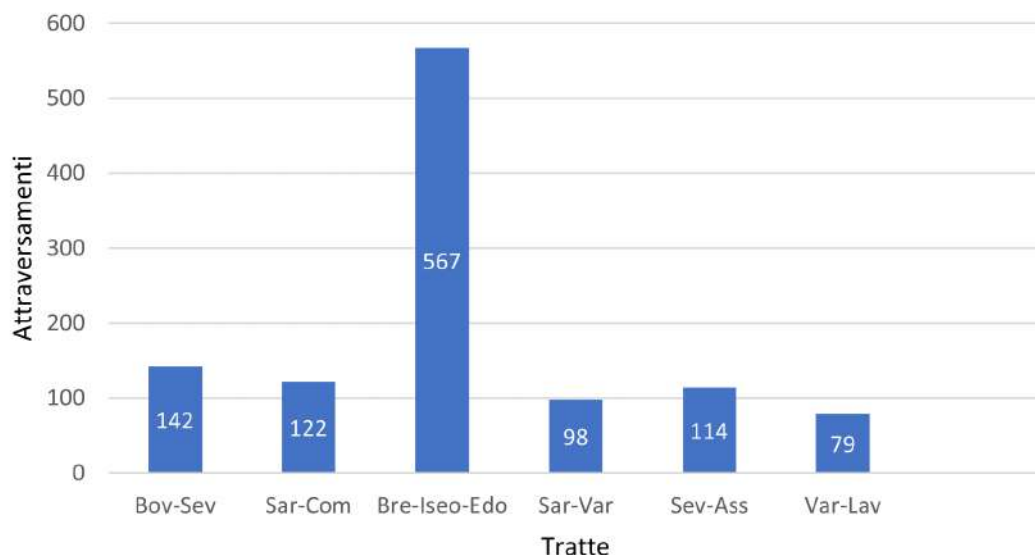
Il confronto tra la distribuzione relativa giornaliera degli attraversamenti tra il ramo Milano (56 per cento) e quello Iseo (44 per cento) è rappresentato dalla figura 6.8.



**Figura 6.8:** Distribuzione giornaliera degli attraversamenti tra Milano e Iseo

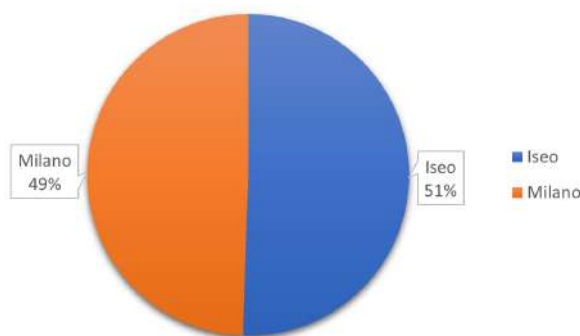
## CAPITOLO 6. SISTEMA ACCENTRATO PER LA GESTIONE DEI PASSAGGI A LIVELLO DI FERROVIENORD

Rieseguendo tale analisi, ma solo tra le 6 e le 8 del mattino (poiché precedentemente individuata come fascia di punta), si ottengono i risultati presenti in figura 6.9.



**Figura 6.9:** Numero degli attraversamenti per tratta durante il momento di punta

Mentre per il confronto relativo degli attraversamenti nella sola fascia di punta, figura 6.10, si osserva invece un maggiore equilibrio tra i due rami, non presente durante la giornata (figura 6.8), con Milano che presenta 555 attraversamenti (49 per cento) e Iseo che ne presenta 567 (51 per cento).



**Figura 6.10:** Distribuzione degli attraversamenti tra Milano e Iseo nel momento di punta

*CAPITOLO 6. SISTEMA ACCENTRATO PER LA GESTIONE DEI  
PASSAGGI A LIVELLO DI FERROVIENORD*

---

In conclusione, si porta all'attenzione che l'importanza dello studio dei numeri degli attraversamenti è data dal fatto che essi diventeranno i numeri relativi agli accertamenti nella nuova modalità d'esercizio dei passaggi a livello.

## 6.2 Modello matematico previsionale

Nel presente capitolo viene descritta la costruzione del modello matematico avente come scopo i seguenti obiettivi principali:

- definizione della fascia di punta su cui basare il dimensionamento del sistema
- calcolo del tempo necessario per l'accertamento, nonché la definizione dei fattori che lo influenzano
- calcolo del tempo di coda che dovranno subire i PL prima di essere accertati nella futura configurazione del sistema durante la fascia di punta
- calcolo del tempo totale necessario per la gestione di un PL al variare del numero degli accertatori
- calcolo del tempo disponibile garantito nella odierna configurazione dei dispositivi di rilevamento del treno
- definizione dei provvedimenti che si possono adottare per ridurre al minimo i ritardi che nasceranno:
  - valore delle distanze a cui arretrare i dispositivi di rilevamento del treno in approssimazione a un PL, in modo da aumentare il tempo disponibile finché non sia tale da superare quello necessario per la gestione di un PL
  - valutazione degli effetti dell'introduzione di una modalità di gestione delle code con priorità per i PL definiti più critici

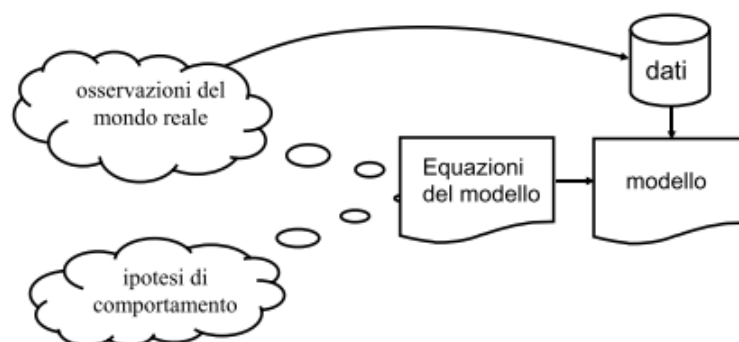
Per fare ciò, ci si baserà su una formulazione empirica [16], rappresentata in figura 6.11, che parte da un'osservazione del funzionamento dell'attuale sistema non accentrato con cui viene gestita la rete Milano e, insieme ai concetti illustrati nel capitolo 5, si va a costruire una struttura matematica che permette una descrizione del fenomeno dell'accodamento delle richieste d'accertamento da parte dei PL.

I set di dati che sono stati usati provengono dalla banca dati di FERROVIENORD.

Nella descrizione dei calcoli eseguiti vengono spiegate dettagliatamente le formule matematiche applicate, nonché i risultati conseguiti. Tuttavia, poiché i valori

trovati sono calcolati per tutti i PL di una giornata, ogni foglio di calcolo supera le migliaia di righe, perciò, di quest'ultimi vengono riportati semplicemente degli estratti in forma tabellare.

Durante la costruzione del modello è stata seguita la logica dello schema presente nella figura 6.11.



**Figura 6.11:** Schema del modello matematico [16]

Nel quale, a partire dai dati dei PL a disposizione relativi al ramo Milano, si andrà a costruire la struttura del modello. Successivamente, viene simulato in base alla futura situazione dell'accertamento prevista.

Viene poi eseguita la validazione del modello grazie ad altri dati a disposizione sull'odierno accertamento, verificando la bontà del modello.

Infine, vengono fatte delle considerazioni circa alcune proposte di modifica agli impianti e l'introduzione di un sistema di priorità della coda, al fine di mitigare i ritardi prodotti.



### 6.2.1 Estrazioni dalla banca dati della rete FERROVIENORD

I dati di cui si è potuto disporre provengono dalla banca dati di FERROVIENORD, nella quale vengono registrate tutte le informazioni relative alla gestione della rete. In particolare, i dati estratti per il progetto in questione erano di due tipi:

- Per il ramo Milano, come si è già ricordato più volte, è già attrezzato per eseguire l'accertamento TV e i suoi dati hanno l'output di tabella 6.2. Inoltre, come si vedrà nel sotto paragrafo 6.2.2, si è dovuto disporre dei dati di due giornate, in particolare, si tratta del 07/10/2021 e del 09/11/2021

PL	richies.	comparsa	selez.	acc. 1	acc. 2	accertamen.
...	...	...	...	...	...	...
Meda PL5	5:03:56	5:03:58	5:04:00	5:04:01	5:04:02	5:04:03
Borghi PL2	5:03:58	5:04:03	5:04:04	5:04:05	5:04:06	5:04:08
...	...	...	...	...	...	...

**Tabella 6.2:** Output dei dati del ramo Milano.

- Mentre per il ramo Iseo, essendo attualmente privo di un sistema di accertamento, gli elementi di output sono diversi e inferiori in numero, tabella 6.3.

PL	annuncio treno	chiusura PL	manovra segnale
...	...	...	...
PL 21 Bs	06:08:32	06:09:03	06:09:05
PL 17 Bs	06:10:33	06:10:41	06:10:48
...	...	...	...

**Tabella 6.3:** Output dei dati del ramo Iseo.

Si osservi come la tipologia degli orari del ramo Milano in tabella 6.2 segua fedelmente la modalità di accertamento del sistema TV-PL descritta nel paragrafo 4.2.

In particolare, l'orario di richiesta corrisponde alla dichiarazione di corretta chiusura delle barriere del PL e, di conseguenza, corrisponde anche alla comparsa in

coda nella lista di destra (figura 4.15).

La terza colonna è relativa alla comparsa a video una volta che il PL è risalito nella coda ed è arrivato il suo momento per l'accertamento.

Dopo aver verificato la corrispondenza tra le progressive e selezionato il PL, viene registrato il tempo di selezione (quarta colonna della tabella 6.2).

Infine, le ultime tre colonne sono relative al vero e proprio accertamento, in particolare, "acc. 1" e "acc. 2" sono relative ai due click consecuzionali dell'accertamento. Mentre la differenza tra "acc. 2" e "accertamento" è il tempo tecnico (dell'ordine di un paio di secondi) per la manovra del segnale.

In riferimento a quest'ultimo tempo, si anticipa che il modo di raccogliere i dati porta dietro a sè un errore nel caso dei PL protetti dallo stesso segnale. Perciò, tale errore comporterà una correzione dei dati che verrà descritta nel sotto paragrafo successivo.

Mentre per il ramo Iseo, i dati sono limitati a: orari di annuncio treno; chiusura del PL e poi direttamente alla manovra del segnale senza la verifica dell'effettiva liberazione dell'area di attraversamento da ostacoli.

## **6.2.2 Calcolo del tempo di accertamento**

Il tempo dell'accertamento viene determinato a partire dai dati (descritti nel sotto paragrafo 6.2.1) dell'attuale sistema di accertamento presente nel ramo Milano.

### **Correzione dei dati**

Come precedentemente anticipato, i dati presentano un problema per i PL protetti dallo stesso segnale, perciò, risulta necessaria una correzione.

L'errore viene presentato con il seguente esempio. Si consideri i 3 PL: Cabiante PL1, Cabiante PL2 e Cabiante PL3, i quali sono protetti dallo stesso segnale. Quando viene accertato con doppio click "Cabiante PL1", viene registrato il suo orario sotto la voce "acc. 2". Tuttavia, non può essere registrato subito il tempo

*CAPITOLO 6. SISTEMA ACCENTRATO PER LA GESTIONE DEI  
PASSAGGI A LIVELLO DI FERROVIENORD*

---

della voce "accertamento", poiché, essendo parte di un blocco di 3 PL protetti dallo stesso segnale, il suo tempo di "accertamento" verrà registrato solo ed esclusivamente quando sarà accertato con doppio click anche l'ultimo PL del blocco (Cabiatoe PLL3). Solo allora il segnalamento comunicherà la via libera. Si porta all'attenzione che non considerare questa sfumatura porterebbe a sovrastimare il tempo di accertamento da calcolare.

Nella tabella 6.4 si riporta un estratto dei dati degli orari dei PL dell'esempio che conferma tale errore.

PL	richies.	comparsa	selez.	acc. 1	acc. 2	accertamen.
Cabiatoe PLL1	5:04:10	5:04:17	5:04:18	5:04:19	5:04:20	5:04:30
Cabiatoe PLL2	5:04:10	5:04:21	5:04:22	5:04:23	5:04:24	5:04:30
Cabiatoe PLL3	5:04:10	5:04:25	5:04:26	5:04:27	5:04:29	5:04:30

**Tabella 6.4:** *Orari di un blocco di PL protetti dallo stesso sistema.*

La correzione è stata eseguita calcolando la differenza tra il tempo "accertamento" e il tempo "acc. 2", andando a cercare tutte le volte che tale tempo è stato superiore a 3,5 s (tempo massimo necessario per la manovra del segnale) per tutti i PL di entrambe le giornate estratte. E per tutti quei PL che presentavano una durata così lunga, è stato detratto dal loro tempo di accertamento quello del PL successivo (facente parte dello stesso blocco). Dunque, nell'esempio di prima, il tempo "accertamento" diventa:

PL	richies.	comparsa	selez.	acc. 1	acc. 2	accertamen.
Cabiatoe PLL1	5:04:10	5:04:17	5:04:18	5:04:19	5:04:20	<b>5:04:22</b>
Cabiatoe PLL2	5:04:10	5:04:21	5:04:22	5:04:23	5:04:24	<b>5:04:26</b>
Cabiatoe PLL3	5:04:10	5:04:25	5:04:26	5:04:27	5:04:29	5:04:30

**Tabella 6.5:** *Orari corretti di un blocco di PL protetti dallo stesso sistema.*

### Il tempo di accertamento globale dell'intera rete

A questo punto è possibile procedere agevolmente con il calcolo del tempo di accertamento globale, trovando l'ampiezza dell'intervallo temporale che intercorre tra il tempo "accertamento" e il tempo "comparsa", dove quest'ultimo corrisponde all'inizio della vera fase di accertamento.

Di tale tempo globale è stata calcolata la frequenza (relativa e cumulata) di avvenimento della giornata 07/10/2021 riportata nella tabella 6.6 e rappresentata con le figure 6.12 e 6.13, per un totale di 4579 accertamenti.

È stato determinato un tempo pari a 15 s come tempo d'accertamento poiché va a coprire il 92,8% dei casi, ovvero più di 9 PL su 10 per risultare a favore di sicurezza.

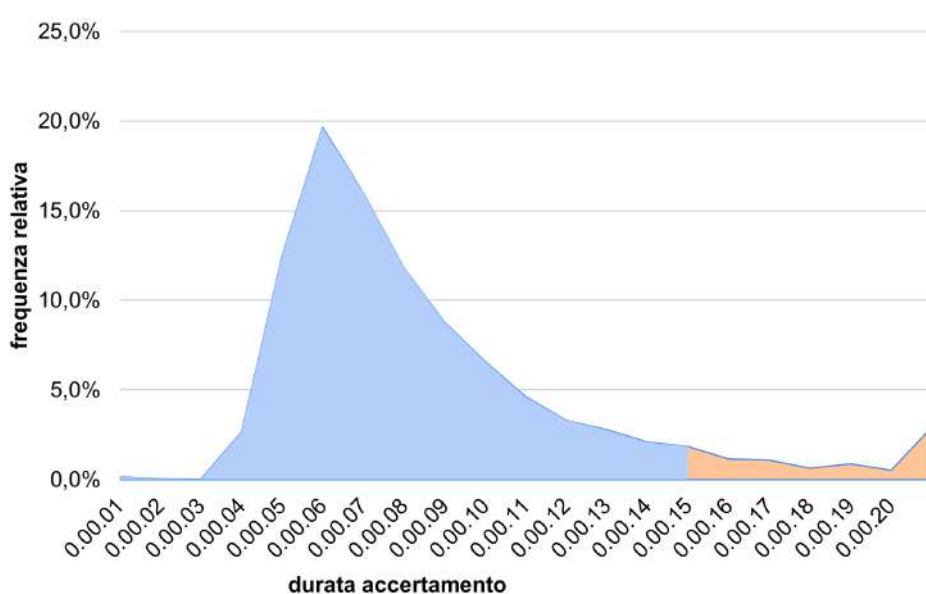


Figura 6.12: Frequenza relativa degli accertamenti del giorno 07-10-2021

CAPITOLO 6. SISTEMA ACCENTRATO PER LA GESTIONE DEI  
PASSAGGI A LIVELLO DI FERROVIENORD

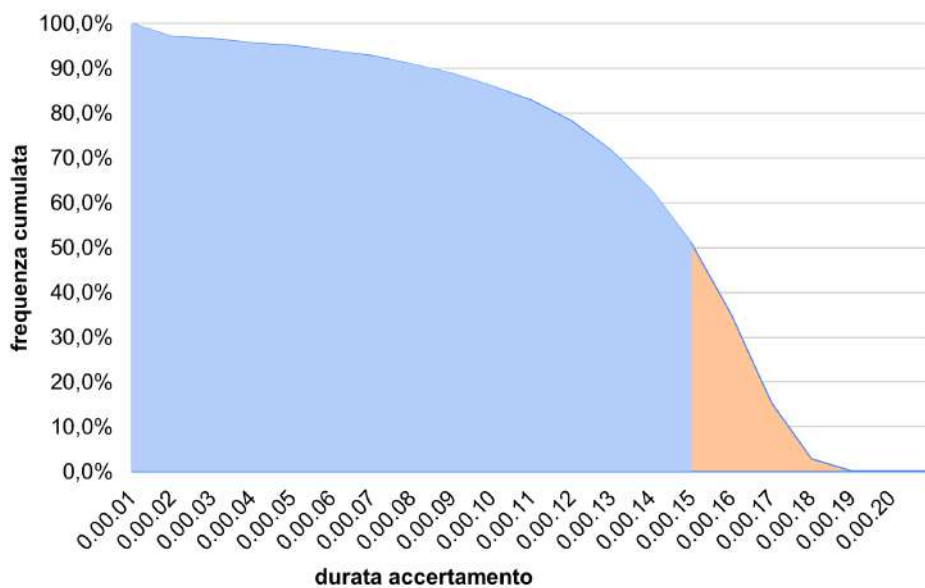
---

fasce [s]	frequenza [PL]	% relativa	% cumulata
0-1	7	0,2%	0,2%
1-2	2	0,0%	0,2%
2-3	1	0,0%	0,2%
3-4	121	2,6%	2,9%
4-5	571	12,5%	15,3%
5-6	900	19,7%	35,0%
6-7	733	16,0%	51,0%
7-8	542	11,8%	62,8%
8-9	402	8,8%	71,6%
9-10	302	6,6%	78,2%
10-11	211	4,6%	82,8%
11-12	151	3,3%	86,1%
12-13	127	2,8%	88,9%
13-14	95	2,1%	91,0%
14-15	85	1,9%	92,8%
15-16	53	1,2%	94,0%
16-17	50	1,1%	95,1%
17-18	29	0,6%	95,7%
18-19	40	0,9%	96,6%
19-20	24	0,5%	97,1%
>20	133	3%	100,0%

**Tabella 6.6:** Frequenza dei tempi d'accertamento.

### Analisi disaggregata del tempo di accertamento

A questo punto si osserva come 15 s siano troppi per eseguire l'operazione di accertamento. Allora, si è proceduto alla disaggregazione del dato in modo da determinare quali fattori possano aver influito negativamente il dato, al fine di trovare eventuali provvedimenti che possano mitigare l'effetto dei fattori di influenza.

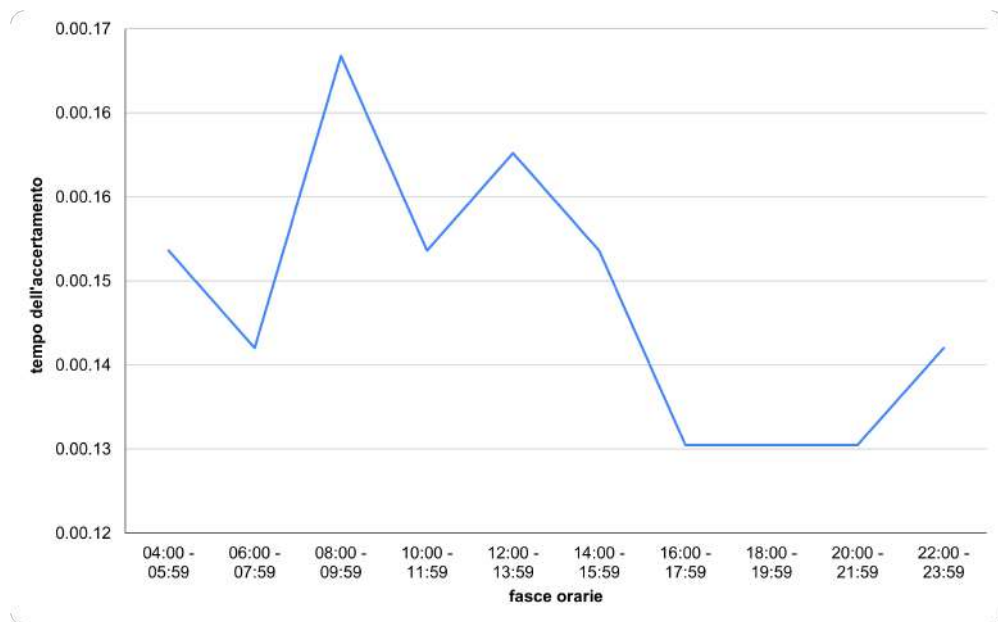


**Figura 6.13:** Frequenza cumulata degli accertamenti del giorno 07-10-2021

Inizialmente, sono stati ipotizzati dei potenziali fattori che possano influenzare negativamente l'operazione di accertamento, tra cui si riportano:

1. presenza di fasce orarie dove l'elevato traffico ferroviario possa determinare situazioni di stress e rallentamento degli operatori (fattore umano)
2. presenza di avvenimenti meteorologici avversi
3. visibilità notturna ridotta che compromette il grado di nitidezza delle immagini
4. presenza di tratti più urbanizzati di altri che possono rallentare l'accertamento per via del tallonamento indebito dei PL da parte di pedoni e ciclisti
5. dato che l'accertamento è eseguito da operatori, allora si può pensare a una variabile umana del loro grado di prestazione che può variare da un giorno all'altro

Viene allora calcolato il tempo d'accertamento per fasce orarie di due ore sempre sui dati relativi al giorno 07/10/2021. Il risultato del calcolo è presentato nella tabella 6.7 e nella figura 6.14.



**Figura 6.14:** Accertamento per fasce orarie

Si prenda in considerazione il confronto tra le fasce orarie 16:00-17:59 e 10:00-11:59, dove alla prima corrisponde un minimo dell'andamento giornaliero del tempo di accertamento, che vale 13 s (con un percentile del 92,9%) e un numero di richieste d'accertamento molto elevato di 546 richieste. Mentre alla seconda fascia corrisponde un tempo maggiore pari a 15 s. Tuttavia, essa presenta un numero di accertamenti minore, pari a 440 richieste.

Perciò, si giunge alla conclusione che la frequenza degli arrivi delle richieste sia svincolata dalla durata dell'accertamento (ipotesi 1).

Viene inoltre confutata l'ipotesi 2, poiché, risalendo al bollettino meteo del giorno 07/10/2021 è stato indagato un meteo soleggiato e privo di eventi meteorologici che possano aver compromesso la visibilità degli operatori.

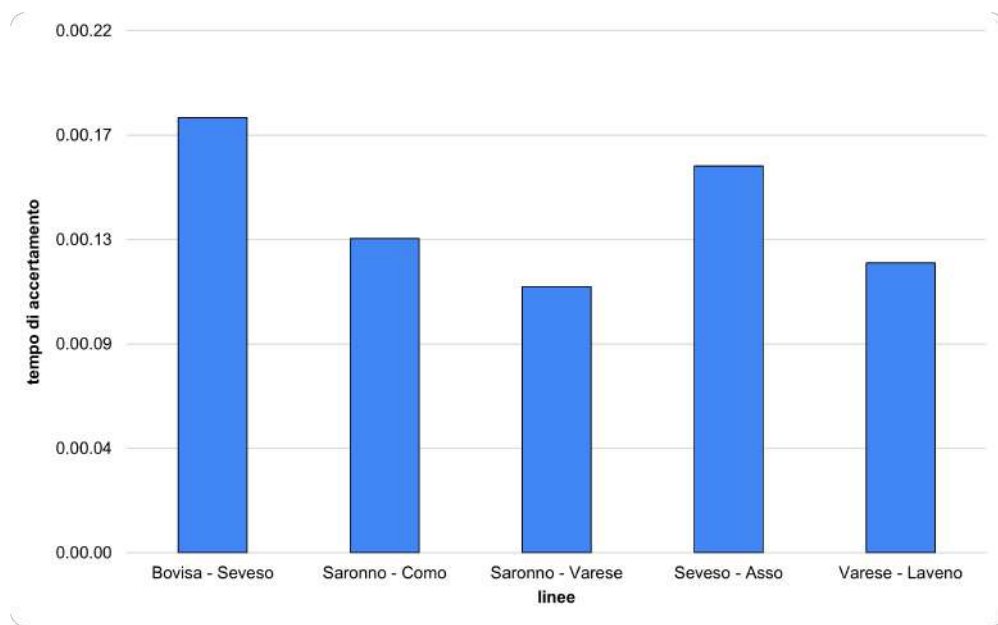
Per quanto riguarda l'ipotesi 3 relativa alla visibilità notturna dell'area d'attraversamento si è risalito all'ora dell'alba e del tramonto, equivalente alle 07:29 e 18:52 rispettivamente. Tuttavia, si osserva come le prime fasce del mattino, 04:00-05:59 e 06:00-07:59, abbiano comunque tempo di accertamento abbastanza breve e dunque si ritiene che tale ipotesi sia da escludere, considerando che comunque

Orario [h]	tempo accertamento [s]	Percentile	Richieste [PL]
04:00 - 05:59	0.00.14	94,7%	131
06:00 - 07:59	0.00.14	91,7%	554
08:00 - 09:59	0.00.17	92,6%	551
10:00 - 11:59	0.00.15	92,3%	440
12:00 - 13:59	0.00.16	92,0%	514
14:00 - 15:59	0.00.15	92,9%	564
16:00 - 17:59	0.00.13	92,9%	517
18:00 - 19:59	0.00.13	92,0%	546
20:00 - 21:59	0.00.13	92,4%	524
22:00 - 23:59	0.00.14	92,2%	230

**Tabella 6.7:** Accertamento per fasce orarie.

l'illuminazione stradale notturna è studiata in modo da garantire la visibilità notturna. Qualora tale garanzia non venga mantenuta, la procedura prevede che si degradi la circolazione in corrispondenza del PL mal illuminato.

Inoltre, si è proceduto all'analisi del tempo di accertamento per tratta (figura 6.15 e tabella 6.8)



**Figura 6.15:** Accertamento per linee

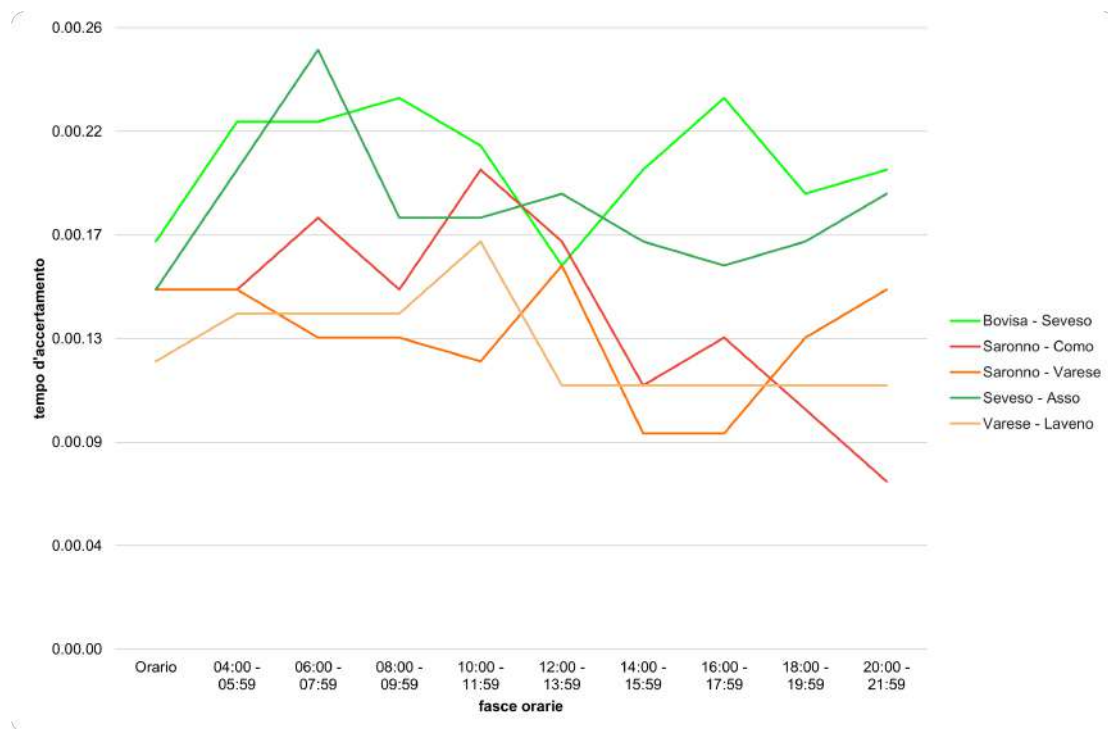
Allo scopo di aver il massimo dettaglio, è stato studiato il tempo d'accertamento sia per fasce che per tratte con il risultato presente in figura 6.16.



*CAPITOLO 6. SISTEMA ACCENTRATO PER LA GESTIONE DEI  
PASSAGGI A LIVELLO DI FERROVIENORD*

Linea	tempo accertamento [s]	Percentile	Richieste [PL]
Bovisa - Seveso	0.00.18	92,5%	1408
Saronno - Como	0.00.13	92,0%	790
Saronno - Varese	0.00.11	92,7%	810
Seveso - Asso	0.00.16	92,0%	968
Varese - Laveno	0.00.12	93,5%	596

**Tabella 6.8:** Accertamento per fasce orarie.



**Figura 6.16:** Accertamento sia per fasce orarie che per tratte

Le ultime due analisi sopracitate hanno permesso di individuare come ipotesi verosimile quella relativa all'influenza del grado di urbanizzazione della zona attraversata che, agli effetti pratici, si traduce in un'elevata frequenza del fenomeno del tallonamento indebito dei PL.

Tale conclusione viene dimostrata dai valori dalla tabella 6.8, dove si osserva come il tempo di accertamento nettamente peggiore si registra lungo la linea Bovisa-

Seveso<sup>3</sup>, la quale si sviluppava per la prima parte all'interno del comune di Milano e, nella restante parte, rimane costantemente all'interno di un contesto urbano. Considerando sempre la linea Bovisa-Seveso, si osserva dalla figura 6.14 come l'andamento giornaliero raggiunge il massimo nelle fasce orarie (mattutine e inizio serali), considerate tipicamente di picco per il traffico stradale. Mentre il minimo è raggiunto nella fascia 12:00-13:59, e questo avvala maggiormente l'ipotesi dell'influenza dell'urbanizzazione.

Mentre altre linee come Varese-Laveno, che si sviluppano in contesti sub-urbani (all'interno dei quali tipicamente la linea alterna tratte di campagna a tratte urbane in cui sono ubicate le stazioni), presentano tempi di accertamento nettamente inferiori.

A completamento dello studio della quarta ipotesi d'influenza e allo scopo di determinare i PL più critici in modo specifico e il loro contesto di appartenenza, di seguito viene riportato un elenco dei PL che statisticamente hanno richiesto i tempi più lunghi per essere accertati.

Si osservi come i 5 PL più critici appartengano alla linea Bovisa-Seveso e, solo gli ultimi due, appartengano ad altre linee<sup>4</sup>.

PL	tempo accertamento [s]	Percentile	linea
Bruzzano PL1	0.00.24	91,2%	Bov-Sev
Cesano PL1	0.00.20	93,4%	Bov-Sev
Bovisio PLL1	0.00.19	92,1%	Bov-Sev
Seveso PL1	0.00.20	92,5%	Bov-Sev
Seveso PL8	0.00.20	93,5%	Bov-Sev
Erba PLL2	0.00.19	93,9%	Sev-Ass
Malnate 1	0.00.12	93,1%	Sar-Var

**Tabella 6.9:** PL con maggiore tempo di accertamento.

Mentre per quanto riguarda l'ultima ipotesi relativa alla variabilità umana

<sup>3</sup>L'elevato tempo di attesa, già presente oggi, incentiva maggiormente gli utenti stradali a non rispettare il divieto di accesso all'area dell'intersezione quando le barriere sono già abbassate o in fase di abbassamento.

<sup>4</sup>Per questi 2 PL è stato considerato un percentile del 97,0% e 97,2% rispettivamente, poiché erano i primi percentile a superare il 95% (standard precedentemente imposto).

degli operatori, il calcolo del tempo di accertamento precedentemente descritto, è stato rieseguito su un'altra giornata feriale, ovvero il 09/11/2021, il cui risultato è rappresentato dalla tabella 6.10.

<b>linea</b>	<b>tempo accertamento [s]</b>	<b>Percentile</b>	<b>richieste</b>
Bovisa-Seveso	0.00.21	92,6%	1473
Saronno-Como	0.00.12	93,4%	788
Saronno-Varese	0.00.19	92,7%	774
Seveso-Asso	0.00.17	92,2%	931
Varese-Laveno	0.00.17	93,2%	607

**Tabella 6.10:** *Tempo di accertamento del giorno 09/11/2021.*

Da un confronto tra i dati delle due diverse giornate emerge comunque una conferma della quarta ipotesi. Infatti, la linea Bovisa-Seveso si conferma come la linea con il numero più alto sia di richieste che di tempo di accertamento.

Tuttavia, seppur venga registrato un peggioramento generale del tempo globale di accertamento per tutte le linee in tale giornata, le proporzioni tra i tempi di accertamento risultano abbastanza simili alla giornata del 07/10/2021.

Dunque, la quinta ipotesi relativa alla variabilità del fattore umano non risulta avere forti effetti sulla linea peggiore dal punto di vista del livello di prestazione dell'accertamento. Ciò dimostra un problema di fondo indipendente dalla variabilità del fattore umano.

Mentre l'ipotesi in questione potrebbe spiegare le leggere differenze tra le linee che presentano un basso numero di accertamento, le quali vengono influenzate allo stesso modo dalla quarta ipotesi, essendo parte di contesti sub-urbani simili.

### 6.2.3 Calcolo del tempo di coda

Noto il tempo dell'accertamento precedentemente calcolato, a questo punto viene calcolata la seconda componente del tempo necessario a un PL per essere accertato, ovvero, il tempo di attesa in coda, con quest'ultima che si crea nei momenti in cui diversi PL fanno richiesta d'accertamento in un ristretto periodo temporale e, di conseguenza, in questi periodi il lavoro richiesto supera la capacità del sistema.

Il calcolo del tempo di coda viene determinato sulla quantità di richieste del momento di punta (individuata nella fascia oraria 06:00-08:00 del giorno 07/10/2021)<sup>5</sup> del nuovo modello di circolazione che prevede la gestione accentrata di tutti i PL della rete.

Perciò, il primo passo è quello di prevedere il numero e gli orari delle richieste future del sistema. Tale risultato viene determinato dalla somma delle attuali richieste d'accertamento per il ramo Milano e dagli orari di annuncio treno del ramo Iseo, per un totale di 1064 richieste tra le 6 e le 8 del mattino nel giorno 07/10/2021.

PL	richiesta	comparsa	accertamento	accertatore	coda
...	...	...	...	...	...
PL 18 Bs	6.08.28	6.08.42	6.08.59	A	0.00.14
PL 21 Ed	6.08.38	6.08.44	6.09.01	B	0.00.06
PL 23 Ed	6.08.38	6.08.58	6.09.15	C	0.00.20
PL 24 Ed	6.08.38	6.08.59	6.09.16	A	0.00.21
PL 25 Ed	6.08.38	6.09.01	6.09.18	B	0.00.23
Palazzolo PL2	6.08.52	6.09.15	6.09.32	C	0.00.23
...	...	...	...	...	...

**Tabella 6.11:** Calcolo del tempo di coda con 3 accertatori.

Si ipotizzi che il numero degli accertatori sia tre (A, B e C)<sup>6</sup>, allora, i primi tre PL in arrivo al mattino verranno serviti immediatamente subendo zero secondi di

<sup>5</sup>La scelta del dimensionamento sulle due ore di punta sovrastima il sistema nelle altre fasce orarie, ma tale scelta è intesa come fattore di sicurezza per le eventuali future crescite del traffico ferroviario.

<sup>6</sup>Lo studio parte da una soluzione progettuale di 3 accertatori, poiché è improbabile che tutti il sistema possa funzionare con un buon livello di servizio con uno o due accertatori.

coda essendo appunto i primi in assoluto della giornata.

Successivamente, per ogni PL in arrivo viene confrontato l'orario di richiesta con l'orario di fine accertamento del PL precedente ad esso.

Qualora da tale confronto risulti che il tempo di fine accertamento del PL precedente sia avvenuto temporalmente prima della richiesta, allora, l'operatore è considerato libero per il servizio e il PL in questione non subisce alcun ritardo prima di essere accertato.

Viceversa, il PL subirà del ritardo dovuto all'attesa in coda pari a esattamente la differenza tra i due tempi<sup>7</sup>, in altre parole, appena l'operatore finirà l'accertamento che sta effettuando, esso passerà immediatamente ad accertare il PL in arrivo:

$$Coda_a[s] = \sum_{a=A}^C \sum_{PL=2}^{tot} t. accertamento_{(PL-1)} - t. richiesta_{PL} \quad (6.1)$$

Con:

- a = numero degli accertatori del sistema =[A, B e C]
- PL = passaggio a livello in considerazione. Esso parte da 2 poiché sarà impossibile che il primo PL in arrivo subisca ritardo per la coda e termini con tot = 1064 PL (numero totale degli accertamenti rilevati nella fascia oraria di punta, 06:00-08:00)

Per una maggiore chiarezza, si prenda d'esempio l'estratto della tabella 6.11 e si osservi il lavoro dell'operatore A. Esso conclude l'accertamento del "PL 18 Bs" all'ora 06:08:59. Dunque, il "PL 24 Ed", che si presenta all'ora 06:08:38, deve attendere in coda per 21 s (pari esattamente alla differenza tra i due orari) affinché l'operatore A possa liberarsi ed accertarlo.

Una volta determinato il ritardo simulato di un PL, il suo tempo di comparsa a video è pari alla somma tra il suo tempo di richiesta e il tempo di coda che ha dovuto attendere:

---

<sup>7</sup>Vengono esclusi dal calcolo le code di durata inferiore a 1 secondo poiché considerate impercettibili.

$$Coda_a[s] = \sum_{a=A}^C \sum_{PL=2}^{tot} t. richiesra_{PL} + t. coda_{PL} \quad (6.2)$$

Mentre l'ora di avvenuto accertamento è pari alla somma tra il tempo di comparsa a video e il tempo necessario per eseguire l'operazione dell'accertamento da parte dell'operatore, dove il tempo d'accertamento è stato quantificato in 15 s nel sotto paragrafo 6.2.4.

$$Coda_a[s] = \sum_{a=A}^C \sum_{PL=2}^{tot} t. comparsa_{PL} + t. accertamento(15s)_{PL} \quad (6.3)$$

Tornando all'esempio precedentemente descritto dell'arrivo del "PL 24 Ed", si noti come il suo tempo di comparsa è pari esattamente alla somma tra il suo orario di richiesta "06:08:38" e la coda che ha atteso pari a 21 s e, di conseguenza, il suo tempo di comparsa è pari a "06:08:59".

Se a quest'ultimo vengono sommati i 15 s dell'operazione d'accertamento, allora, si arriva alle 06:09:16 come orario d'accertamento.

Analogamente, è stato rieseguito il calcolo per la determinazione della coda sia per 4 che per 5 accertatori (Tabelle 6.12 e 6.13).

PL	richiesta	comparsa	accertamento	accertatore	coda
...	...	...	...	...	...
PL 18 Bs	6.08.28	6.08.41	6.08.56	B	0.00.13
PL 21 Ed	6.08.38	6.08.42	6.08.57	C	0.00.04
PL 23 Ed	6.08.38	6.08.44	6.08.59	D	0.00.06
PL 24 Ed	6.08.38	6.08.58	6.09.13	A	0.00.20
PL 25 Ed	6.08.38	6.08.59	6.09.14	B	0.00.21
Palazzolo PL2	6.08.52	6.09.01	6.09.16	C	0.00.09
...	...	...	...	...	...

**Tabella 6.12:** Calcolo del tempo di coda con 4 accertatori.

Si noti come logicamente, all'aumentare del numero degli operatori, decresce il tempo di coda dei PL.

CAPITOLO 6. SISTEMA ACCENTRATO PER LA GESTIONE DEI  
PASSAGGI A LIVELLO DI FERROVIENORD

PL	richiesta	comparsa	accertamento	accertatore	coda
...	...	...	...	...	...
PL 18 Bs	6.08.28	6.08.28	6.08.43	D	0.00.00
PL 21 Ed	6.08.38	6.08.41	6.08.56	E	0.00.03
PL 23 Ed	6.08.38	6.08.42	6.08.57	A	0.00.04
PL 24 Ed	6.08.38	6.08.44	6.08.59	B	0.00.06
PL 25 Ed	6.08.38	6.08.58	6.09.13	C	0.00.20
Palazzolo PL2	6.08.52	6.08.59	6.09.14	D	0.00.07
...	...	...	...	...	...

**Tabella 6.13:** Calcolo del tempo di coda con 5 accertatori.

I valori presenti nella tabella 6.14 sono i risultati dello studio del tempo di coda al variare degli operatori.

n° operatori	coda	Percentile
3	0.00.47	92,2%
4	0.00.15	92,1%
5	0.00.08	92,2%

**Tabella 6.14:** Riepilogo dei tempi di coda.

Un altro risultato importante del presente studio è la determinazione della lunghezza massima della coda che si verifica durante l'ora di punta al variare del numero degli operatori, i cui risultati sono presentati dalla tabella 6.15.

n° operatori	lunghezza massima coda [PL]
3	22
4	15
5	8

**Tabella 6.15:** Riepilogo dei tempi di coda.

A questo punto ci si chiede se tali valori di lunghezza massima della coda siano dei valori occasionali o se siano avvenuti con più frequenza. Nella tabella 6.16 viene riportato un dettaglio del calcolo.

lunghezza Coda [PL]	freq. 3 opera. [n°]	freq. 4 opera. [n°]	freq. 5 opera. [n°]
22	2	0	0
21	2	0	0
20	1	0	0
19	2	0	0
18	1	0	0
17	4	0	0
16	4	0	0
15	6	3	0
14	12	1	0
13	17	2	0
12	19	4	0
11	22	3	0
10	22	6	0
9	25	12	0
8	28	17	2
7	34	26	4
6	42	32	12
5	45	48	26
4	49	60	54
3	79	87	91
2	128	130	139
1	158	157	150
0	354	464	572

**Tabella 6.16:** Dettaglio delle lunghezze delle code al variare degli operatori.

Si conclude che i valori massimi della coda, presenti nella tabella 6.15, avvengono con frequenze abbastanza simili al variare degli operatori e quindi sono confrontabili<sup>8</sup>.

#### 6.2.4 Calcolo del tempo necessario per la gestione di un PL

In questo paragrafo vengono dapprima ripresentati molto brevemente i risultati conseguiti per le tre alternative progettuali individuate (3, 4 e 5 operatori), raccolti nella tabella 6.17, nonché il tempo totale necessario per gestire un PL, pari dalla somma dei tempi precedentemente citati:

---

<sup>8</sup>In altre parole, il massimo preso non è un valore fuori scala.



operatori	t. accert. [s]	t. coda [s]	max coda [PL]	t. necessario [s]
3	15	47	22	62
4	15	15	15	30
5	15	8	8	23

**Tabella 6.17:** *Riepilogo dei risultati.*

Si osservi come l'operazione dell'accertamento (15 s) in senso stretto sia indipendente dal numero degli accertatori ma, dipenda semplicemente da ciò che l'accertatore visualizza sullo schermo.

L'effetto del numero degli accertatori si riversa solo sul tempo e la lunghezza della coda.

Da tali risultati si intuisce già che l'ipotesi progettuale di 3 accertatori verrà probabilmente scartata poiché presenta un tempo e una lunghezza delle code elevati.

Mentre la scelta definitiva del numero degli accertatori deve prendere in considerazione il loro effetto sull'anticipo dei dispositivi di rilevamento del treno in approssimazione al PL presenti lungo la linea (tale provvedimento di riduzione del ritardo è descritto nel sotto paragrafo 6.2.5).

### 6.2.5 Calcolo del tempo disponibile

Il tempo necessario per la gestione dei PL (individuato nel sotto paragrafo 6.2.4 al variare del numero degli operatori) indurrà una quantità di ritardo esagerata nella circolazione ferroviaria, a meno che non si attuino dei provvedimenti per risolvere tale problema.

Perciò, l'obiettivo del presente paragrafo è quello di descrivere e dimensionare il primo provvedimento intrapreso, ovvero, l'anticipo fisico dei dispositivi di rilevamento del treno in approssimazione al PL, in modo da aumentare il tempo disponibile agli accertatori per eseguire le operazioni d'accertamento.

Per fare ciò, e con riferimento alla giornata del 07/10/2021, si è risaliti ai seguenti dati per ogni PL della linea in attrezzamento:

- orario dell’annuncio treno ( $h_{a.t.}$ )
- orario della chiusura delle barriere del PL ( $h_{c.b.}$ )
- progressiva dell’ente di rilevamento del treno ( $k_{r.t.}$ )
- progressiva del segnale di avviso ( $k_{s.a.}$ )
- velocità massima della linea in corrispondenza del PL in considerazione ( $V_{max}$ ). La scelta di usare la velocità massima della linea è un ulteriore fattore di sicurezza, in quanto, per i PL di stazione possono verificarsi i seguenti due casi:
  - il treno esegue la fermata in stazione, allora, la la velocità reale del treno in approccio al PL è dell’ordine di pochi km all’ora
  - il treno attraversa la stazione in libero transito, ma anche in questo caso la velocità di attraversamento del PL di stazione non è quella massima, ma più ridotta

Nella tabella 6.18 viene riportato a titolo d’esempio un estratto<sup>9</sup> dei dati di input precedentemente descritti:

PL	$h_{a.t.}$	$h_{c.b.}$	$k_{r.t.}[m]$	$k_{s.a.}[m]$	$V_{max}[m/s]$
...	...	...	...	...	...
PL 17 Bs	6.10.33	6.10.48	9796	10649	25,0
PL 16 Bs	6.10.33	6.11.21	9796	11504	25,0
PL 15 Bs	6.10.33	6.11.21	9796	11504	25,0
PL 14 Bs	6.10.33	6.11.21	9796	11504	25,0
PL 13 Bs	6.11.45	6.12.296	11561	13572	25,0
...	...	...	...	...	...

**Tabella 6.18:** Dati in input del calcolo della distanza per l’anticipo del rilevamento del treno.

---

<sup>9</sup>Si noti come i PL 13-14-15 abbiano lo stesso tempo e orario di annuncio treno e di chiusura delle barriere, questo avviene poiché sono 3 PL che costituiscono un blocco di PL protetti dallo stesso segnale.

Successivamente, vengono calcolati<sup>10</sup>:

1. l'intervallo temporale intercorso tra la chiusura delle barriere e l'annuncio del treno del PL  $i$ -esimo, calcolato come la differenza tra i loro orari ( $t'_i$ )

$$t'_i = \sum_{i=1}^P h_{c.b.} - h_{a.t.} \quad (6.4)$$

2. la distanza che il treno ha percorso alla velocità massima della linea dal momento in cui è stato rilevato fino al momento della chiusura delle barriere ( $d'_i$ ) per il PL  $i$ -esimo

$$d'_i = \sum_{i=1}^P V_{\max,i} t'_i \quad (6.5)$$

3. la distanza totale, in termini di lunghezza, tra la posizione del segnale di avviso e il dispositivo di rilevamento del treno del PL  $i$ -esimo, calcolato come differenza delle loro progressive ( $d_{\text{tot}}$ )

$$d_{\text{tot},i} = \sum_{i=1}^P k_{s.a.} - k_{r.t.} \quad (6.6)$$

4. la distanza residua mancante al treno data dalla differenza tra quella totale del punto 2 e quella definita nel punto 3. Entro tale distanza sarà necessario eseguire il futuro accertamento ( $d''_i$ )

$$d''_i = \sum_{i=1}^P d_{\text{tot},i} - d'_i \quad (6.7)$$

5. l'attuale tempo disponibile per gli operatori per eseguire l'accertamento, calcolato come la distanza del punto 4 fratto la velocità massima della linea. In particolare, per il calcolo di questo tempo è fondamentale individuare tutti quei PL protetti dallo stesso segnale poiché, in tal caso, il tempo disponibile per ogni PL è dato dal rapporto del tempo precedentemente calcolato fratto il numero dei PL del blocco ( $t_{\text{disp}}$ )

$$t_{\text{disp}} = \sum_{i=1}^P \frac{d''_i}{V_{\max,i}} \quad (6.8)$$

---

<sup>10</sup>Con l'apice ' si intendono quantità che si riferiscono all'intervallo tra l'annuncio del treno e la chiusura delle barriere, mentre con l'apice '' si intendono quantità relative all'intervallo tra la chiusura delle barriere e il passaggio del treno sotto il segnale di avviso

Nella tabella 6.19 vengono riportati i valori delle quantità precedentemente elencate per i PL già studiati in tabella 6.18.

PL	$t'_i$ [s]	$d'_i$ [m]	$d_{tot}$ [m]	$d''_i$ [m]	$t_{disp}$ [s]
...	...	...	...	...	...
PL 17 Bs	15	375	853	478	19,12
PL 16 Bs	48	1200	1708	508	6,77
PL 15 Bs	48	1200	1708	508	6,77
PL 14 Bs	48	1200	1708	508	6,77
PL 13 Bs	44	1100	2011	911	36,44
...	...	...	...	...	...

**Tabella 6.19:** Calcolo dell'attuale tempo disponibile per l'operazione d'accertamento.

Si osserva come i PL 14-15-16 presentino, ad oggi, un tempo disponibile molto più ridotto rispetto agli altri per via della loro protezione dallo stesso segnale. Questo fenomeno per i PL in blocco è molto ricorrente in tutti gli altri casi. Ciò porta alla conclusione che la percentuale dei PL protetti dallo stesso segnale rispetto al totale dei PL ha un'importanza notevole<sup>11</sup> per il calcolo del tempo disponibile. Questo è il contro effetto del risparmio economico di tale configurazione. Dunque, ipotizzare di spezzare in futuro eventuali PL protetti dallo stesso segnale e rendere il loro segnalamento indipendente l'uno dall'altro può essere un'importante provvedimento per la riduzione dei ritardi indotti dall'accertamento.

Infine, vengono determinati:

1. il tempo aggiuntivo da garantire, nei casi in cui l'attuale tempo disponibile non fosse sufficiente per gestire il PL  $i$ -esimo (avente un tempo necessario calcolato nel sotto paragrafo 6.2.6 definito al variare del numero degli operatori) ( $t_{agg,i}$ )

$$t_{agg,i} = \sum_{i=1}^P \text{tempo necessario } (n \text{ operatori}) - t_{disp} \quad (6.9)$$

---

<sup>11</sup>Ha rilevanza anche il numero di PL di ogni blocco protetti dallo stesso segnale che possono essere due o tre

dove il tempo necessario può assumere valori di 30 s o 23 s, rispettivamente per 4 o 5 accertatori

2. la distanza aggiuntiva a cui è necessario anticipare la posizione in cui si rileva il treno. Essa è determinabile poiché sono noti il tempo aggiuntivo da garantire e la massima velocità della linea. Allora, la distanza aggiuntiva equivale al loro prodotto ( $d_{agg,i}$ )

$$d_{agg,i} = \sum_{i=1}^P V_{max,i} t_{agg,i} \quad (6.10)$$

Nella tabella 6.20 vengono riportati i valori precedentemente definiti per i 5 PL usati come esempio in tabella 6.18 al variare del numero degli operatori<sup>12</sup>.

PL	$t_{agg,i, 4 \text{ acc. [s]}}$	$d_{agg,i, 4 \text{ acc [m]}}$	$t_{agg,i, 5 \text{ acc. [s]}}$	$d_{agg,i, 5 \text{ acc[m]}}$
...	...	...	...	...
PL 17 Bs	11	272	4	97
PL 16 Bs	23	581	16	406
PL 15 Bs	23	581	16	406
PL 14 Bs	23	581	16	406
PL 13 Bs	0	0	0	0
...	...	...	...	...

**Tabella 6.20:** Calcolo dell'attuale tempo disponibile per l'operazione d'accertamento.

I risultati sintetici dell'intera analisi delle distanze aggiuntive sono riportati in tabella 6.21. In particolare, vengono riportare le medie delle distanze in funzione del numero degli accertatori, dove gli effetti di quest'ultimi si fanno sentire nel tempo necessario per eseguire l'operazione di accertamento.

n° accertatori	tempo necessario [s]	media degli anticipi [m]
4	30	263 m
5	23	161 m

**Tabella 6.21:** Media delle distanze per l'anticipo del rilevamenti del treno.

Va precisato che dall'analisi emerge una difficoltà nella configurazione del "PL 61 Ed" che lo rende "non anticipabile" in senso pari. Tale problema viene mitigato

---

<sup>12</sup>La soluzione progettuale che prevede solo 3 accertatori è stata già scartata, poiché, risulta palesemente insufficiente dai valori definiti nel paragrafo 6.2.6

prevedendo delle priorità nella gestione dei PL (paragrafo 6.2.7), con il "PL 61 Ed" che avrà un punteggio elevato a causa di questo svantaggio.

Naturalmente, le distanze aggiuntive sono inversamente proporzionali con il numero degli operatori scelto.

Tuttavia, si osserva come la differenza tra le due soluzioni sia solo di 103 m in media.

Dunque, in conclusione, si ritiene che anticipare i PL, con una media di 263 m piuttosto che di 161 m, sia particolarmente utile visto che permetterà di risparmiare lo stipendio di un operatore adottando la soluzione con 4 operatori e non quella con 5.

### 6.2.6 Validazione del modello

Partendo dal presupposto che grazie ai provvedimenti previsti dal paragrafo 6.2.5 sarà possibile creare un sistema che possa gestire i PL (i quali richiederanno 30 s come tempo necessario con i 4 operatori scelti), a questo punto, ci si chiede se tale risultato sia ristretto ai valori del giorno 07/10/2021, essendo la giornata su cui è stato basato il calcolo oppure, se il modello e i risultati conseguiti finora siano generalizzabili anche su altri giorni.

Questo passaggio è un'operazione fondamentale per garantire una corretta descrizione del fenomeno e un'elevata precisione nel dimensionamento del sistema.

Per verificare tale condizione si prendano in considerazione i dati riferiti al giorno 09/11/2021 per il ramo Milano e, in particolare, gli orari delle richieste dei PL. Se a ognuno di questi orari si vanno a sommare i 30 s per l'accertamento del PL, si scoprirà l'orario di "accertamento simulato" ( $t_{acc,sim,i}$ ) per il quale verrà accertato il PL  $i$ -esimo nel futuro sistema con la sala centrale.

$$h_{acc,sim,i} = \sum_{i=1}^P h_{ric,i} + 30s \quad (6.11)$$

Tale valore di accertamento simulato per ogni PL viene confrontato con l'attuale orario di accertamento reale  $h_{acc,rea,i}$  esistente oggi, e quindi potrebbero realizzarsi due casi:

- il primo caso è che l'accertamento simulato sia un orario precedente a quello reale esistente oggi. Allora, in questo caso, il test dà una verifica positiva poiché tale condizione prova che l'implementazione del nuovo sistema centrale sia un miglioramento dell'attuale condizione esistente (o tutt'al più è un mantenimento della condizione di status quo) per il PL in considerazione

$$se \quad h_{acc,sim,i} < h_{acc,rea,i} \quad allora \quad Esito = positivo \quad (6.12)$$

- il secondo caso è che l'accertamento simulato sia un orario successivo a quello reale esistente oggi. Allora, in questo caso, il test dà esito negativo perché tale condizione prevede un peggioramento per il tempo che ha richiesto il PL in analisi

$$se \quad h_{acc,sim,i} > h_{acc,rea,i} \quad allora \quad Esito = negativo \quad (6.13)$$

Tale procedura, applicata a tutte le richieste d'accertamento avvenute nell'arco di tutta la giornata del 09/11/2021<sup>13</sup>, ha dato esito "positivo" nel 92,5% dei casi, ovvero 4260 richieste su 4605 e questo dimostra un alto grado di bontà del modello e dei risultati conseguiti finora.

esito	numero richieste	percentuale
positivo	4260	92,5%
negativo	348	7,5%

**Tabella 6.22:** Esito del test di validazione.

Mentre per quanto riguarda il 7,5% di richieste con esito negativo, esse corrispondono a 348 richieste su un totale di 4605.

---

<sup>13</sup>Va ricordato che il valore di 55 s è dimensionato solo sul momento di punta delle richieste.

Dunque, è possibile affermare che i valori con esito negativo del test siano una quota parte ridotta se confrontata sul totale delle richieste che si verificano.

Viene comunque fatto un dettaglio sulle 348 richieste non soddisfatte, le quali accumulano una media di ritardo pari a 16 s. Tuttavia, se la media viene calcolata sul totale di 4605 richieste giornaliere, si ha un ritardo medio di un secondo, quindi considerato assolutamente trascurabile, a sostegno della bontà del modello.

### **6.2.7 Introduzione di una priorità nella gestione dei PL**

Lo scopo del presente paragrafo è quello di determinare se la disciplina della coda con priorità (per i PL più critici, al quale corrisponde un tempo d'accertamento particolarmente lungo) possa portare a un miglioramento in termini di ritardi accumulati.

Per eseguire tale studio, il modello si basa sulle seguenti assunzioni:

1. riferimento temporale sul quale viene eseguito lo studio corrispondente alla fascia 06-08 (fascia di punta)
2. sistema con 4 accertatori, poiché è la soluzione progettuale scelta al paragrafo 6.2.5
3. adozione di due classi di priorità
4. considerazione dei PL del solo ramo Milano, dato che la suddivisione in classi prevede di dare priorità massima ai PL che presentano tempo d'accertamento maggiore. Dunque, visto che, ad oggi, il ramo Iseo è privo di un sistema d'accertamento, non ha senso chiedersi quali dei suoi PL presentino un tempo d'accertamento alto. Tuttavia, è possibile considerare i PL di tale ramo, una volta che il sistema verrà applicato e si inizieranno a raccogliere dati relativi all'accertamento anche lì

Come primo passo è stata simulata la coda di uno scenario che prevede l'accertamento dei PL del solo ramo Milano tra le 06-08 ma senza applicare nessuna



priorità.

Tale simulazione ha lo scopo di definire una scenario avente caratteristiche completamente uguali allo scenario che prevede la disciplina con priorità, in modo da valutare l'effetto di quest'ultima tramite un confronto tra i due scenari.

Dalla simulazione è stato trovato che le 553 richieste d'accertamento del ramo Milano hanno presentato una somma totale del ritardo indotto dall'attesa in coda pari a 7 minuti e 32 secondi<sup>14</sup>.

fasce [s]	frequenza [PL]	% relativa	% cumulata
0-1	0	0%	0,0%
1-2	0	0%	0,0%
2-3	0	0%	0,0%
3-4	0	0%	0,0%
4-5	51	9%	9,2%
5-6	92	17%	25,8%
6-7	74	13%	39,1%
7-8	82	15%	53,9%
8-9	72	13%	66,8%
9-10	50	9%	75,9%
10-11	38	7%	82,7%
11-12	12	2%	84,9%
12-13	20	4%	88,5%
13-14	17	3%	91,5%
14-15	8	1%	93,0%
15-16	6	1%	94,1%
16-17	6	1%	95,1%
17-18	3	1%	95,7%
18-19	6	1%	96,8%
19-20	3	1%	97,3%

**Tabella 6.23:** Frequenza dei tempi d'accertamento per il solo ramo Milano.

Successivamente, è stato ricalcolato, in tabella 6.23, il tempo d'accertamento come in paragrafo 6.2.2, limitando il calcolo solamente ai PL del ramo Milano ed è stato trovato che il 93% dei PL viene accertato con tempi inferiori ai 15 s<sup>15</sup>.

<sup>14</sup>Questa simulazione non prende in considerazione il provvedimento di arretramento degli enti di rilevamento del treno.

<sup>15</sup>Si ricorda che il calcolo del tempo d'accertamento per tutti i PL dell'intera linea, ha definito che nei 92,8% dei casi i PL venivano accertati in un tempo inferiore a 15 s, e dunque il presente calcolo ha dato risultati molto conformi con quelli definiti al paragrafo 6.2.2.

Allora, se i PL in considerazione vengono suddivisi in due classi, dove la prima raccoglie i PL più critici, a tale classe corrisponderà un tempo d'accertamento sicuramente più elevato di 15 s. Tuttavia, tale peggioramento verrà compensato dal fatto che all'arrivo i PL saltano la coda grazie alla loro priorità e si posizionano davanti a quelli senza priorità già presenti nella coda.

D'altro canto, per la classe senza priorità (seppur verrà superata nella coda), ad essa corrisponderà un tempo d'accertamento sicuramente inferiore ai 15 s ora.

A questo punto, ci si chiede quale sia il discriminante, in termini di tempo d'accertamento, sopra il quale un PL ha diritto ad appartenere alla classe prioritaria qualora presenti un tempo maggiore o uguale a tale soglia.

Perciò, sono state studiate tutte le combinazioni possibili delle due classi che differiscono tra loro per il numero di accertamenti inseriti nella classe priorità. Di conseguenza, nella classe senza priorità andranno tutti gli accertamenti rimanenti.

La domanda che sorge è: "qual è la combinazione migliore delle due classi? E in base a quale parametro possiamo definirla?".

Partendo dalla definizione del parametro da usarsi nel confronto, esso deve riportare sicuramente l'informazione relativa alla durata dell'operazione d'accertamento (essendo il criterio per l'assegnazione della priorità) ma deve riportare anche la frequenza con cui ogni tempo è avvenuto.

Perciò, il parametro usato per confrontare le due classi (al variare delle combinazioni) è la somma dei prodotti tra ogni tempo d'accertamento e la sua frequenza per ogni classe (tabella 6.24).

Per esempio, considerando 14 s come soglia sopra la quale la richiesta ha diritto alla priorità, allora, il valore di 19 minuti e 3 secondi, presente nella seconda colonna, viene calcolato come la somma tra i 17 avvenimenti che hanno avuto 14 s come tempo d'accertamento (tabella 6.23) sommati agli 8 avvenimenti che hanno presentato 15 s, più i 6 avvenimenti che hanno presentato 16 s e così via.

Analogamente, è stata calcolata la classe senza priorità, considerando gli avveni-

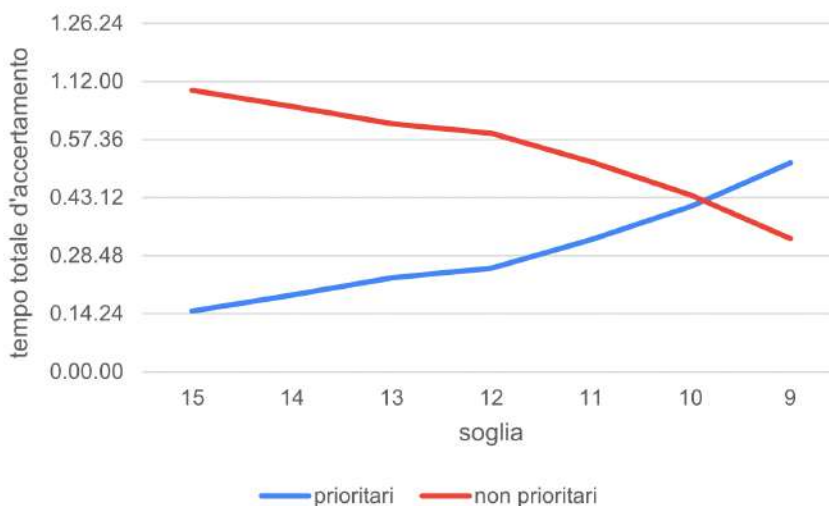
soglia [s]	prioritari [h.mm.ss]	non prioritari [h.mm.ss]
15	0.15.05	1.09.49
14	0.19.03	1.05.51
13	0.23.23	1.01.31
12	0.25.47	0.59.07
11	0.32.45	0.52.09
10	0.41.05	0.43.49
9	0.51.53	0.33.01

**Tabella 6.24:** Combinazioni di suddivisione in classi di priorità.

menti che hanno presentato valori inferiori ai 14 s.

E, allo stesso modo, è stata calcolata la somma dei prodotti delle altre combinazioni.

In altre parole, fissata una combinazione, la somma dei prodotti di ogni classe corrisponde alla somma dei tempi netti (per l'operazione d'accertamento in senso stretto) che gli operatori hanno impiegato per accertare i PL di ciascuna classe.



**Figura 6.17:** Andamento del parametro di confronto al variare delle soglie

Ricordando che l'obiettivo di tale studio è la riduzione del tempo totale di ritardo dovuto all'attesa in coda, allora, l'introduzione della priorità per alcuni PL non può tramutarsi in una trascurabilità eccessiva per la classe non prioritaria. Tale condizione equivale a definire la combinazione migliore come quella con la

minore differenza tra i parametri di ciascuna combinazione (figura 6.17, nella quale il parametro di confronto è chiamato "tempo totale d'accertamento").

Ovvero, le richieste che necessitano di un tempo d'accertamento maggiore o uguale a 10 s, devono avere una priorità nel momento in cui si inseriscono in coda. Considerando le frequenze d'avvenimento, una soglia di 10 s corrisponde a 182 richieste con priorità e a 371 senza. Ovvero, una priorità per il 33% degli accertamenti.

Ordinando i 79 PL considerati a seconda del tempo d'accertamento, dal peggiore fino al migliore, si ha che i 25 PL peggiori (tabella 6.25) presentano una somma delle frequenze d'accertamento pari a 179<sup>16</sup> e dunque, saranno quelli che andranno a formare la classe prioritaria.

La scelta dei PL prioritari ha preso in considerazione l'eventualità che qualche PL possa essere parte di un blocco di PL protetti dallo stesso segnale. In tal caso, la priorità assegnata deve essere estesa a tutti gli altri componenti del blocco.

Si precisa che i valori del tempo d'accertamento nella tabella 6.25 sono delle medie aritmetiche, interessanti solo in termine relativo al fine di eseguire il confronto e la determinazione dei PL peggiori.

Per trovare i tempi d'accertamento da utilizzarsi nel modello, è stato riapplicato il procedimento descritto al paragrafo 6.2.2, che ha permesso di trovare un tempo d'accertamento pari a 17 s (con un percentile coperto del 92%) per i PL della tabella 6.25. Tuttavia, il peggioramento di 2 s rispetto ai 15 s del caso senza priorità verranno compensati dalla precedenza che avranno tali PL per via della loro priorità.

Mentre per quanto riguarda i rimanenti PL senza priorità, essi hanno presentato un tempo d'accertamento pari a 13 s (con un percentile del 91,9%).

Infine, è stata simulata la coda con i due tempi d'accertamento appena definiti

---

<sup>16</sup>Considerare i 26 PL peggiori avrebbe portato a una somma delle frequenze pari a 188 maggiore dei 182 ammissibili per la classe prioritaria.

*CAPITOLO 6. SISTEMA ACCENTRATO PER LA GESTIONE DEI  
PASSAGGI A LIVELLO DI FERROVIENORD*

---

Prog.	PL prioritari	media t. accertamento [s]	frequenza
1	Meda PL3	16	8
2	Mariano PL1	14	5
3	Cesano PL1	13	10
4	Erba PLLC24	13	3
5	Erba PL1	13	4
6	Bovisio PLL2-3	13	9
7	Meda PL5	13	8
8	Cittiglio C45	13	5
9	Palazzolo PL2	13	7
10	Camnago PL2	12	5
11	Seveso PL8	11	8
12	Barasso PL1	11	3
13	Paderno PL2	11	11
14	Seveso PL12	11	7
15	Mariano PL2	11	5
16	Lomazzo Casello 5	10	7
17	Portichetto PLL	10	8
18	Caslino PL1	10	9
19	Cesano PL2	10	9
20	Varedo PLL	10	10
21	Camerlata PL1	10	10
22	Bruzzano PL1	10	14
23	Locate 2	10	6
24	Laveno PL1	10	5
25	Erba PLL2	10	3

**Tabella 6.25:** *PL della classe prioritaria.*

e assegnando la priorità all'arrivo<sup>17</sup> dei PL in tabella 6.25.

Il risultato di tale analisi, ha individuato una somma dei ritardi indotti pari a 6 minuti e 45 s che, se confrontati con i 7 minuti e 32 secondi della coda gestita senza priorità (definita a inizio paragrafo), si osserva una riduzione del ritardo totale pari a 47 s, che corrisponde a circa il 10% della somma iniziale dei ritardi.

In conclusione, lo studio del presente paragrafo ha permesso di dimostrare come l'introduzione di una priorità permetta effettivamente una gestione più efficiente e più intelligente della coda, portando ad una riduzione del ritardo totale.

---

<sup>17</sup>In caso di presenza contemporanea di due PL prioritari, la precedenza viene assegnata a quello che presenta un tempo di richiesta precedente.

classe	t. accertamento [s]	percentile [%]
prioritaria	17	92,0%
non prioritaria	13	91,9%

**Tabella 6.26:** Nuovi tempi d'accertamento per la combinazione di classi scelta.

scenario	somma ritardi [h.mm.ss]
disciplina senza priorità	0.07.32
disciplina con priorità	0.06.45

**Tabella 6.27:** Nuovi tempi d'accertamento per la combinazione di classi scelta.

### 6.3 Analisi di sicurezza

Con il presente paragrafo si intende eseguire un'analisi di sicurezza qualitativa di un PL attraverso l'uso del BowTie Diagram o albero a farfalla, avente struttura generale come in figura 6.17.



**Figura 6.18:** Schema generale di un diagramma BowTie [17]

Secondo la struttura di tale diagramma, al centro si trova l'evento critico, ovvero quell'evento ritenuto oggetto dell'indagine che, nel caso di studio, corrisponde alla contemporanea presenza di utenti stradali e treno all'interno dell'area d'intersezione.

A sinistra viene costruito l'albero dei guasti partendo dall'evento critico stesso e andando a chiedersi quali siano tutte le condizioni che possano permettere

l'avvenimento di tale evento.

Queste condizioni sono chiamate eventi intermedi. Quest'ultimi possono essere scomposti a loro volta in altri eventi andando a ritroso, fino a raggiungere eventi non più scomponibili chiamati eventi base.

In questa regione del diagramma è importante prevedere tutti gli interventi di prevenzione che possano interrompere il percorso del guasto (o ridurre la probabilità di avvenimento) prima di arrivare all'evento critico.

Nella costruzione dell'albero dei guasti viene fatto ricorso a due tipi di connettori degli eventi:

- connettore "AND" che impone l'obbligo dell'avvenimento di tutti gli eventi base/intermedi per l'avvenimento di un altro evento intermedio successivo che si trova più vicino all'evento critico
- connettore "OR" che permette l'avvenimento di un evento intermedio se si verifica anche solo uno degli eventi base/intermedi precedenti ad esso

Nella regione destra del diagramma si trova l'albero degli eventi. In questa zona si ammette che l'evento critico sia già avvenuto e si prevedono tutte le strade o scenari che si possono verificare al variare dell'evoluzione dell'evento critico.

Questa fase si conclude con la definizione delle conseguenze di ogni scenario previsto, in modo da prevedere tutti gli interventi di protezione possibili.

Il risultato dell'applicazione di tale diagramma sul caso in analisi è presentato nella figura 6.18.

Dunque, gli eventi intermedi individuati, che corrispondono allo stato immediatamente precedente all'evento critico (ovvero la contemporanea presenza di treni e utenti stradali nella sede del PL), sono:

1. *Mancato funzionamento della tecnologia in dotazione al PL* che può essere scomposto in:
  - guasto della tecnologia che avvisa gli utenti stradali dell'arrivo del treno. Tale stato intermedio è ammissibile soltanto se si dovessero guastare contemporaneamente (connettore AND) il segnale acustico, il segnale luminoso e le barriere visto che se si dovesse guastarne soltanto

uno dei tre, si ritiene che gli altri due siano sufficienti per mettere in allerta gli utenti stradali.

- atti vandalici

2. *Guasto ferroviario legato alle tecnologie presenti lungo la linea* che, a sua volta, può essere scomposto in:

- guasto degli enti di rilevamento del treno
- guasto nell'impianto di segnalamento

3. *Errore umano di valutazione*, il quale può essere suddiviso in:

- errore di valutazione da parte degli utenti stradali, i quali, per distrazione o intenzionalmente, infrangono il codice stradale attraversando il PL mentre è in funzione il segnale ottico-acustico e si accorgono troppo tardi (quando ormai sono sui binari) di essere rimasti incastrati tra le barriere
- Anche i macchinisti potrebbero commettere errori di valutazione (superando un segnale di avviso o di protezione a via impedita) che potrebbero essere causati da molteplici fattori umani (tra i quali rientrano: lo stress, la formazione inadeguata, ...) legati da un connettore OR

4. Infine, una triste causa molto diffusa nella realtà ferroviaria è il *suicidio*.

A questo punto risulta necessario individuare gli interventi preventivi che possono impedire (o rendere improbabili) i vari percorsi dei guasti appena individuati.

L'intervento preventivo "P1", relativo al malfunzionamento della tecnologia di un PL, consiste nell'implementazione di un sotto-sistema di fail safe, avente lo scopo di comunicare agli impianti di segnalamento la condizione di malfunzionamento, con quest'ultimi che non potranno più segnalare "via libera" finché non viene risolto il guasto o il danno al PL.

Con tale logica viene implementata anche l'azione preventiva "P2", prevedendo un sistema di fail safe anche per gli enti di rilevamento del treno e delle componenti dell'impianto di segnalamento stesso.

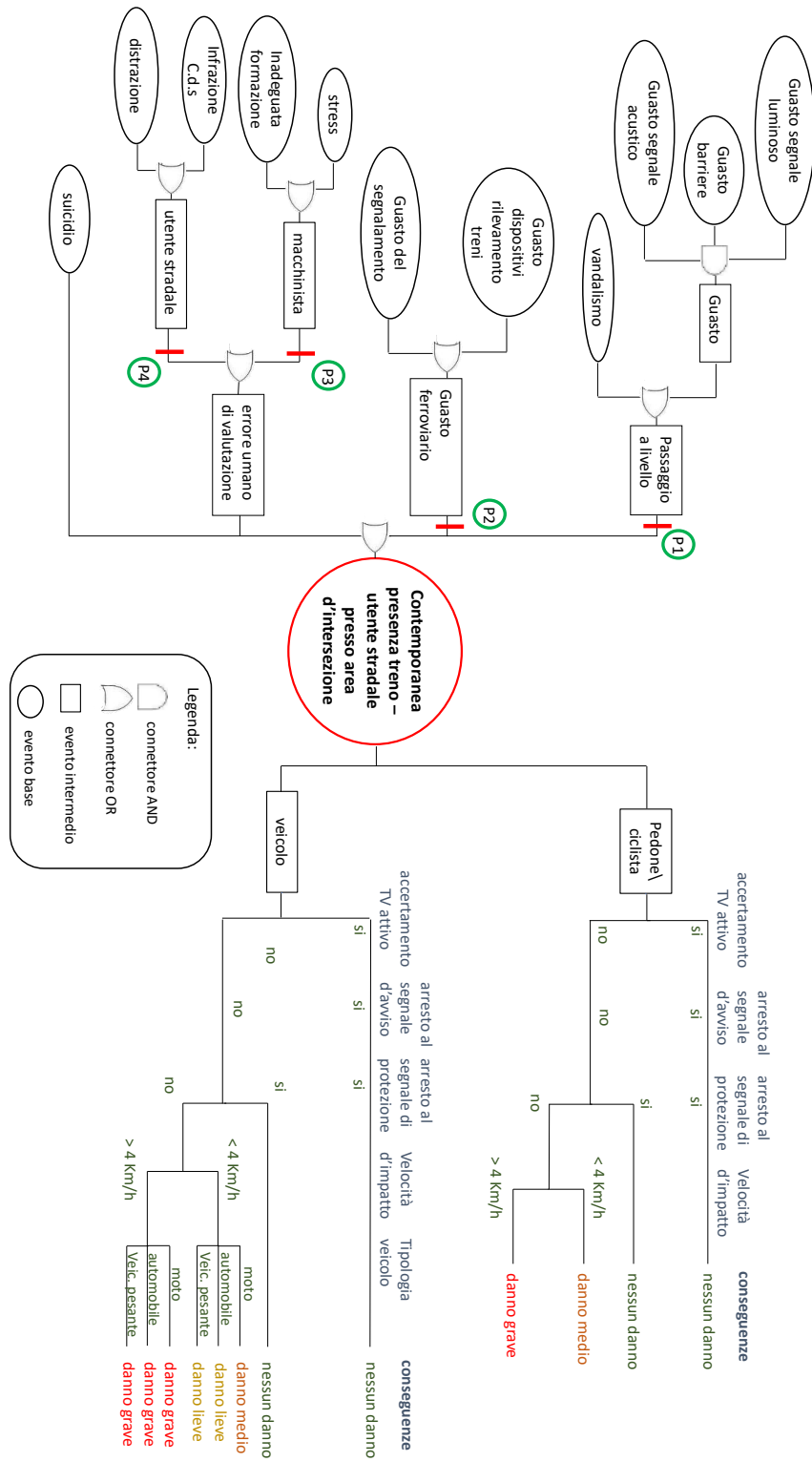
Si precisa che sia gli interventi "P1" che "P2" impediscono al segnalamento di porsi a "via libera" finché permane il guasto. Perciò, tali sistemi sono indispensabili poiché la sicurezza è il fattore più importante in un sistema di trasporto,



tuttavia, un'elevata frequenza dei guasti potrebbe creare ritardi esagerati che potrebbero tramutarsi anche in un collasso dell'esercizio ferroviario.

Ed è proprio qui che risiede l'importanza di un'adeguata strategia manutentiva per tutte le componenti tecnologiche dei sistemi precedentemente citati.

## CAPITOLO 6. SISTEMA ACCENTRATO PER LA GESTIONE DEI PASSAGGI A LIVELLO DI FERROVIENORD



**Figura 6.19:** BowTie Diagram per un passaggio a livello

L'intervento "P3" consiste in un'adeguata formazione e informazione dei macchinisti riguardo gli Humans Factors, in modo che possano essere più consapevoli degli effetti che lo stress può causare.

Tra gli interventi possibili nel gruppo "P3" vi è l'utilizzo del sistema ERTMS/ETCS<sup>18</sup> (European Rail Traffic Management System/European Train Control System), il quale garantisce la frenatura automatica del treno in caso di un errore del conducente.

Infine, l'intervento "P4" ha lo scopo di ridurre (o auspicabilmente eliminare) la distrazione e le infrazioni al codice della strada da parte degli utenti stradali. Tali interventi sono diversi a seconda del tipo di utente in questione, infatti, troviamo che:

- in riferimento a pedoni e ciclisti, l'installazione dei grembiali<sup>19</sup> (figura 6.19) è risultata molto efficace [1] come mezzo di deterrenza per l'attraversamento quando le barriere del PL sono chiuse



**Figura 6.20:** Esempio di un grembiale per pedoni e ciclisti

- mentre per quanto riguarda i veicoli stradali (mezzi pesanti, automobili, motocicli), i possibili interventi preventivi sono molteplici e possono essere:
  - modifica della viabilità locale per ridurre il numero delle intersezioni, laddove è possibile

---

<sup>18</sup>Tale intervento è già realizzato in tutte le linee dove esiste un sistema di protezione SCMT e/o SSC.

<sup>19</sup>Strutture metalliche modulare a griglia, che quando è applicata al lato inferiore di una barriera, rende inaccessibile l'area che si trova tra la barriera e il suolo.

- installazione di dispositivi di rallentamento del traffico stradale (bande rumorose, dossi, etc..), al fine di non dare la possibilità all'utente stradale di attraversare il PL a velocità eccessiva
- garantire che la segnaletica verticale ed orizzontale lato strada sia in buono stato e sempre ben visibile in qualsiasi condizione di luce e meteo
- introduzione di un sistema di controllo e sanzione come il sistema ASSED, presentato al capitolo 2, da usarsi come mezzo di deterrenza contro l'attraversamento indebito del PL
- miglioramento della sensibilità degli utenti stradali in riferimento all'attraverso indebito di un PL, per esempio, dando maggiore attenzione a tale argomento durante la loro formazione per l'ottenimento della patente di guida

A questo punto, assumendo che sia avvenuto l'evento critico, ci si chiede quali evoluzioni possano prendere i possibili scenari seguendo una scala che definisce le conseguenze come:

Danno	Descrizione
lieve	ferimento leggero alle persone e danno a cose
medio	lesioni importanti alle persone, con lunghi periodi di guarigione
grave	lesioni invalidanti e decesso delle persone

**Tabella 6.28:** *Scala delle conseguenze delle collisioni.*

Una prima ramificazione dell'albero degli eventi deve riguardare sicuramente la natura dell'ostacolo alla marcia del treno, poiché le conseguenze cambiano notevolmente a seconda che l'utente stradale sia un pedone/ciclista/motociclista o un abitante di un veicolo stradale con un telaio metallico protettivo.

Il secondo fattore che va ad influenzare l'evoluzione degli scenari è l'effettivo funzionamento del sistema TV.

Qualora risulti attivo, sia pedoni che veicoli, rimasti incastrati nella sede ferroviaria dopo la chiusura delle barriere, devono essere sempre rilevati<sup>20</sup> e comunicati

---

<sup>20</sup>Dopo la chiusura delle barriere e la dichiarazione di PL accertato, non c'è il rischio che un veicolo stradale possa immettersi di nuovo a meno che non sfondi le barriere, ma tale condizione verrebbe rilevata dal sistema di fail-safe previsto con l'azione "P1".

Mentre il tallonamento indebito del PL, successivamente all'accertamento, da parte del pedone viene ridotto al minimo (se non eliminato) dalla presenza dei grembiali.

al sistema di segnalamento che bloccherà la marcia del treno facendolo frenare al segnale d'avviso e, in questo modo, si avranno zero conseguenze.

Qualora il sistema d'accertamento sia implementato ma non attivo (per un guasto per esempio), allora, il segnale d'avviso riporterà l'informazione di via impedita, superabile soltanto con una velocità inferiore a quella di rilascio.

In questo scenario, l'eventuale impatto con gli utenti stradali avverrà a velocità del treno inferiore a 4 Km/h<sup>21</sup>. Quindi, è importante differenziare l'analisi a seconda della tipologia di utente stradale e, in particolare, si avrà:

- danno medio in caso di collisione tra il treno e un pedone o un ciclista
- danno medio anche in caso di collisione con un motociclista
- danno lieve in caso siano coinvolti automobili o mezzi pesanti

Mentre per il caso in cui vi sia una completa assenza di un sistema d'accertamento, eventuali ostacoli rimasti incastrati tra le barriere non verranno mai rilevati dal segnalamento, il quale comunicherà via libera al treno al segnale d'avviso, essendo quest'ultimo legato semplicemente alla corretta chiusura delle barriere.

Dunque, eventuali collisioni avverranno sicuramente a velocità superiori ai 4 Km/h da parte del treno, peggiorando notevolmente le conseguenze agli utenti stradali. In particolare, avremo:

- danno molto grave con alta probabilità di trasformarsi in decesso per pedoni, ciclisti e motociclisti
- danno grave anche per automobilisti e mezzi pesanti

In conclusione, la presente analisi ha permesso di studiare in modo più organizzato e completo tutti i fattori che possano influenzare la sicurezza di un PL per i quali sono stati presentati tutti gli interventi preventivi e protettivi possibili. Inoltre, grazie a tale studio, è stato possibile dimostrare semi-quantitativamente il maggiore livello di sicurezza di un PL dotato di un sistema d'accertamento.

---

<sup>21</sup>La marcia a visto di un PL è permessa solo con velocità inferiori a 4 Km/h

Tuttavia, un possibile sviluppo di tale analisi è quello di quantificare numericamente la frequenza di avvenimento dei guasti, nonché l'entità delle conseguenze.

## 6.4 Costo d'implementazione del sistema TV-PL

Nel presente paragrafo viene studiato il costo d'implementazione del sistema di accertamento TV-PL per il ramo Iseo, in quanto il ramo Milano risulta già attrezzato ed operativo con questa tecnologia da diversi anni. Per fare ciò, si è proceduto alla costruzione di un computo metrico estimativo come segue.

Per eseguire tale calcolo ci si è basati sui seguenti tariffari per definire i costi unitari [19]:

- *prezzario FERROVIENORD*, composto da prezzi già approvati per precedenti appalti e/o manutenzione. Le voci delle tariffe corrispondenti a tale *prezzario FN.CAT. SETT.XXX*, dove:
  - la sigla *CAT* indica la categoria della lavorazione
  - la sigla *SETT* indica la lavorazione specifica
  - la sigla *XXX* è un numero progressivo che va da 0 a 999
- *prezzario RFI*, edizione 2020 ed eccezionalmente il volume "ss" dell'edizione 2019 per alcune lavorazioni
- *prezzario REGIONE LOMBARDIA*, edizione 2020
- *formazione NUOVI PREZZI*, calcolati secondo 2° comma dell'art. 32 del DPR 207/10 e prevedendo uno sconto del 7%. Tali prezzi hanno codice *NP.XXX.Y.ZZZ*

Mentre gli elementi da computare sono specificati in [18] e riguardano principalmente le seguenti macro-categorie di lavorazioni:

1. cavi fibra ottica e rame
2. apparati di rete
3. cavidotti e cunicoli posa cavi
4. help points
5. impianti luce
6. armadio PL
7. dispositivi per l'operazione d'accertamento PL

Incrociando tali dati è stato possibile ricostruire il computo metrico estimativo. Per una consultazione del dettaglio di tale documento si rimanda all'allegato 1.

Sommando tutte le voci del computo si ottiene un costo totale di €4.070.212 per l'intera realizzazione, il quale corrisponde a un costo di €37.341 per PL.

## 6.5 Soluzione progettuale con PAI-PL

In questo paragrafo, si va a descrivere uno scenario ipotetico nel quale è stata scelta la tecnologia PAI-PL per attrezzare i PL del ramo Iseo<sup>22</sup> con un sistema d'accertamento.

La descrizione di tale scenario ha lo scopo principale di sottolineare le differenze con il sistema TV-PL in termini di confronto tecnico-economico e di regolarità.

Il tipo di PAI-PL considerato dall'analisi è quello attualmente diffuso nella rete RFI e descritto nel paragrafo 4.1.9.

### Confronto tecnico

Come definito al paragrafo 4.1.9, i sistemi PAI-PL della rete RFI devono poter rilevare la presenza di un ostacolo nell'area d'intersezione entro 7 s.

A primo impatto, questo tempo potrebbe sembrare il tempo d'accertamento (definito come 15 s) per come è stato definito quest'ultimo fino a questo punto. Ma nella realtà dei fatti, questi due tempi sono poco confrontabili per due motivi:

- i 7 secondi richiesti da RFI è un tempo teorico, che non prende in considerazione il fenomeno dell'attraversamento indebito del PL. Ma lo studio al paragrafo 6.2.2 ha dimostrato come tale fenomeno sia molto frequente nella rete studiata e, infatti, è il principale fattore che influenza i 15 s individuati come tempo d'accertamento
- la tecnologia radar impiegata nel sistema PAI-PL in questione è suscettibile alle condizioni meteorologiche estreme, dunque, è possibile che tale sistema possa presentare delle criticità in tal caso

---

<sup>22</sup>Il ramo Milano è stato escluso dallo scenario poiché attualmente è già implementato con il sistema TV-PL, seppur con una gestione in parallelo poco efficiente.



Tuttavia, è verosimile che seppur i 7 secondi dei PAI-PL possano subire incrementi, se applicati al ramo Iseo, si ritiene che il tempo di rilevamento di un ostacolo con tale sistema possa presentare comunque un leggero vantaggio rispetto a quello TV-PL con operatore.

Da un punto di vista tecnico, il più grande vantaggio dell'applicazione dei sistemi PAI-PL risiede nella capacità di gestione di molti PL contemporaneamente, portando i valori dei ritardi dovuti all'attesa in coda a valori pressoché nulli. Mentre il sistema TV-PL può gestire al massimo 4 PL alla volta<sup>23</sup>, perciò ogni PL subirà 15 s dovuti all'attesa in coda (paragrafo 6.2.3).

Dunque, il tempo necessario alla gestione di un PL con un sistema PAI-PL corrisponde indicativamente a un terzo di quello necessario per un sistema TV-PL per lo specifico problema in analisi.

### **Confronto economico**

Un confronto esaustivo da un punto di vista economico deve considerare il costo del progetto come la somma di tre termini, come nella seguente equazione:

$$\text{costo totale} = \text{costo iniziale} + \text{costo operativo} + \text{costo manutenzione} \quad (6.14)$$

Purtroppo, per quest'analisi non è stato possibile risalire ai costi della manutenzione dei sistemi PAI-PL di RFI, essendo documenti aziendali riservati.

Perciò, di seguito si assumerà un'ipotesi molto forte, ovvero che il costo della manutenzione dei PAI-PL sia simile a quello del sistema TV-PL, in quanto, questo è l'unico modo per poter eliminare il termine relativo al costo della manutenzione dall'equazione

Nella realtà dei fatti, tale ipotesi è molto a favore dei sistemi PAI-PL dato che quest'ultima necessita di tecnologie molto più complesse delle semplici telecamere del

---

<sup>23</sup>Il sistema è stato dimensionato con 4 postazioni operative.

sistema TV-PL. Tale affermazione è confermata anche dall'analisi della letteratura del capitolo 4.

L'arco temporale sul quale si baserà il calcolo è di 25 anni, poiché è un requisito progettuale di RFI per i sistemi PAI-PL [13].

Grazie alle informazioni ricavate dal documento tariffa dei prezzi per AI edizione 2021 di RFI [20] (allegato 2), è stato possibile ricavare i costi d'installazione di un sistema PAI-PL per ogni PL. Essendo la linea Iseo dotata di 109 PL, allora, è stato definito il computo metrico estimativo della tabella 6.29. Per la costruzione di quest'ultimo si fanno le seguenti osservazioni:

1. le voci definite in [20] erano già prezzi unitari per PL, ad eccezione di quelle del sistema di supervisione e del tool di configurazione che erano uniche per tutto il sistema. Infatti, per queste ultime due voci, la colonna quantità riporta valore 1
2. la voce relativa al sistema d'acquisizione video presenta una quantità pari a 131 pezzi (e non semplicemente 109), poiché è stato previsto che, per il 20% dei PL, sarà necessaria l'installazione di due videocamere (e non solo una come negli altri casi) per poter avere una visione completa dell'area d'intersezione
3. le voci relative alle forniture e posa in opera del sottosistema di monitoraggio si riferiscono a PL che hanno aree d'intersezione minori di 105 m<sup>2</sup>. Tuttavia, è stato previsto che il 20% dei PL possano avere aree superiori a tale valore, perciò, è stato previsto un incremento per ogni ulteriori 105 m<sup>2</sup> di tali aree
4. le voci relative al sottosistema di raccolta dati si riferiscono solamente alle comunicazioni di dati che avvengono tra i sottosistemi presenti nei pressi del PL. Dunque, il costo per l'installazione della rete di comunicazione tra i sottosistemi presenti presso il PL e il sottosistema di supervisione non è conteggiato in questo calcolo

Quindi, attrezzare il ramo Iseo con la tecnologia PAI-PL sarebbe un progetto dal costo totale di € 20.957.407 e un costo unitario per PL pari a € 192.270.

CAPITOLO 6. SISTEMA ACCENTRATO PER LA GESTIONE DEI  
PASSAGGI A LIVELLO DI FERROVIENORD

Pr.	Descrizione	Q.tà	Prezzo unit.	Costo
1	forniture del sottosistema di elaborazione	109	€ 49.080	€ 5.349.727
2	forniture del sottosistema di acquisizione video	109	€ 14.860	€ 1.619.764
3	forniture del sottosistema raccolta dati	109	€ 19.908	€ 2.169.960
4	forniture del sottosistema di monitoraggio (fino ad aree di 105 m <sup>2</sup> )	109	€ 61.275	€ 6.678.967
5	forniture del sottosistema di monitoraggio per ogni ulteriori 105 m <sup>2</sup>	22	€ 61.275	€ 1.348.048
6	posa del sottosistema di elaborazione	109	€ 7.403	€ 806.893
7	posa del sottosistema di acquisizione video	109	€ 2.196	€ 239.359
8	posa del sottosistema raccolta dati	109	€ 3.088	€ 336.644
9	posa del sottosistema di monitoraggio (fino ad aree di 105 m <sup>2</sup> )	109	€ 8.799	€ 959.126
10	forniture del sottosistema di monitoraggio per ogni ulteriori 105 m <sup>2</sup>	22	€ 8.799	€ 193.585
11	fornitura e posa del posto centrale del sistema di supervisione	1	€ 142.263	€ 142.263
12	fornitura e posa postazione del sistema di supervisione circolazione	1	€ 3.696	€ 3.696
13	fornitura e posa postazione del sistema di supervisione diagnostica	1	€ 3.696	€ 3.696
14	fornitura e posa del sottosistema di acquisizione video	131	€ 2.383	€ 312.111
15	fornitura tool di configurazione	1	€44.251	€ 44.251

**Tabella 6.29:** *Computo metrico estimativo dell'implementazione del ramo lseo con sistema PAI-PL*

Per quanto riguarda il costo d'installazione del sistema TV-PL, si ricorda che è stato determinato al paragrafo 6.4. Va però precisato che tale studio era comprensivo dell'intero sottosistema di raccolta dati.

In accordo con il punto 4 delle osservazioni di pagina 103, la quota parte di comunicazione dati tra i sottosistemi presso il PL e i posti centrali del sistema di supervisione sono da escludere dal calcolo del paragrafo 6.4, affinché si possa fare un confronto equo.

Il risultato finale di tale elaborazione vede che il costo totale per l'attrezzamento del ramo Iseo con il sistema TV-PL è pari a €2.890.858 e un costo unitario per PL di €26.522.

Analizzando ora il costo operativo dei due sistemi, si osserva che è composto a sua volta di due termini, ovvero, il costo dell'energia consumata per il funzionamento delle tecnologie e il costo degli stipendi degli operatori.

A questo punto si fanno altre due ipotesi che risulteranno ancora una volta a favore del sistema PAI-PL, ovvero:

- costo dell'energia elettrica circa uguale<sup>24</sup>
  
- costo nullo del personale di movimento per i sistemi PAI-PL. Tuttavia, non è così nella realtà poiché il DCO deve dedicare parte del suo tempo alla visione delle immagini provenienti dalle telecamere del sistema nei casi in cui vi siano problemi con l'accertamento automatico.  
Per questo motivo, non è stato possibile risalire a dati che indichino a quanto ammonta tale quota parte di tempo

Per il costo operativo, relativo allo stipendio del personale d'accertamento del sistema TV-PL dimensionato al paragrafo 6.2, si ricorda che il sistema che gestisce l'intera linea è stato dimensionato con 4 operatori. Ma se circa la metà

---

<sup>24</sup>Nella realtà il costo dell'energia elettrica per il sistema TV-PL è relativo semplicemente a quella consumata dalle telecamere, mentre per i PAI-PL, oltre alle telecamere, ci sono anche altri dispositivi elettronici (radar, sistema d'elaborazione, ...)

degli accertamenti giornalieri sono del ramo Iseo, allora, si stima che a tale ramo sono destinati circa 2 operatori equivalenti<sup>25</sup> contemporaneamente per il servizio.

Il passo successivo è quello di definire il numero di operatori giornalieri necessari per l'accertamento del ramo Iseo. Per fare ciò, è stato approfondito l'orario grafico del ramo Iseo ed è stato osservato che la quasi totalità del traffico è presente tra le 6 e le 22 (ovvero due turni di 8 ore ciascuno). La rimanente parte viaggia tutta tra le 4 e le 6 del mattino e tra le 22 e mezzanotte. Tra mezzanotte e le 4 del mattino non viaggia nessun treno.

Allora, una gestione efficiente della turnazione giornaliera dell'intera rete deve prevedere il funzionamento a pieno regime (con 4 operatori) per due turni giornalieri (dalle 6 alle 22).

Mentre le rimanenti 8 ore presenti tra le 22 e le 6 del mattino andrebbero a funzionare solo con due operatori<sup>26</sup> (ragionando sempre sull'intera rete).

Allora, si conclude che l'intero sistema funzionerà con 10 operatori al giorno (somma tra le 3 turnazioni giornalieri aventi ciascuna 4, 4 e 2 operatori) che lavoreranno per metà del tempo sul ramo Iseo e, quindi, si tratta di 5 operatori equivalenti (tabella 6.30).

Rete	06-14	14-22	22-06	Totale
Operatori	4	4	2	10
Operatori equivalenti	2	2	1	5

**Tabella 6.30:** Turnazione giornaliera del personale dell'accertamento.

Al fine di avere una maggiore affidabilità del sistema, il cambio turno del personale dell'accertamento deve avvenire con una sovrapposizione dei turni, cosicché

---

<sup>25</sup>La caratteristica principale del sistema dimensionato è l'accentramento della gestione dei PL dell'intera rete, dunque non esistono operatori che si dedicano semplicemente a un'unica linea. Dunque, il termine "equivalente" va inteso come la quota parte di sforzo umano messo a servizio dei PL del solo ramo Iseo in generale.

<sup>26</sup>Anche se il traffico in questa fascia orarie non necessita 2 operatori, sono previsti comunque per inserire una ridondanza nel sistema.

vi sia una maggiore sicurezza contro eventuali imprevisti<sup>27</sup> che possono accadere. Dunque, per poter garantire tale sovrapposizione di turni, nel presente studio si incrementano di 2 operatori (16 ore lavorative) i 10 operatori totali giornalieri per l'intera rete, con la metà del loro impegno destinato al ramo Iseo (6 operatori equivalenti) (tabella 6.31).

Rete	Totale
Operatori	12
Operatori equivalenti	6

**Tabella 6.31:** Operatori totali necessari dopo l'incremento.

Considerando che il costo annuo lordo di un operatore corrisponde a 30 mila euro per l'azienda, allora, giornalmente, equivale a 83 euro. D'altro canto, il sistema così dimensionato prevede 6 operatori equivalenti al giorno<sup>28</sup> per il ramo Iseo.

Dunque, il costo totale relativo al personale accertatore del sistema TV-PL è di € 4.562.500 per i 25 anni dell'analisi.

Il riepilogo dei risultati individuati con questo confronto dei costi per i due sistemi è presente nella tabella 6.32.

Sistema	Costo iniziale	Costo operativo	Totale
TV-PL	€ 2.890.858	€ 4.562.500	€ 7.453.358
PAI-PL	€ 20.957.407	-	€ 20.957.407

**Tabella 6.32:** Riepilogo dei costi.

In conclusione, si osserva come il costo totale del progetto con il sistema TV-PL sia nettamente vantaggioso da un punto di vista economico (con un risparmio di € 13.504.049), questo nonostante le tre ipotesi che si sono dovute assumere, che avvantaggiano il sistema PAI-PL<sup>29</sup>.

<sup>27</sup>Si consideri ad esempio l'indisponibilità comunicata con poco preavviso da parte di un accertatore che deve iniziare il turno in un certo momento.

<sup>28</sup>Da moltiplicarsi per 365 per definire il valore annuo

<sup>29</sup>L'ipotesi relativa al costo di manutenzione è quella più pesante tra tutte.

Si tiene a precisare che tale risultato è da riferirsi in senso stretto al progetto in questione, infatti, il vantaggio economico del sistema TV-PL è da ricondursi al fatto che i PL da attrezzare sono solo 109 PL.

Tale vantaggio andrà a diminuirsi qualora vada a crescere il numero dei PL da attrezzare (poiché andrà a crescere il numero degli operatori necessario e di conseguenza il loro costo operativo). Viceversa, un automatizzazione con i sistemi PAI-PL troverà un grande vantaggio.

### **Confronto della regolarità**

La regolarità è intesa come una mancanza di corretto funzionamento della tecnologia in questione. Un basso livello di regolarità non deve trasformarsi mai in un basso livello di sicurezza, perciò, tutti i sistemi tecnologici devono essere dotati di sistemi fail safe. Tuttavia, i sistemi di fail safe portano a un degrado della circolazione che abbassa il livello di servizio e che, potenzialmente, può portare al collasso della circolazione.

Per quanto riguarda i sistemi PAI-PL, un mancato corretto funzionamento può essere causato dalle condizioni meteorologiche, come è stato precedentemente descritto.

Un'altra causa è il guasto tecnologico dei dispositivi. Perciò, un requisito di RFI per i sistemi PAI-PL è un Safety Integrity Level (SIL) 4, ovvero, il massimo livello previsto dallo standard IEC 61508 e IEC 61511 della Commissione Elettrotecnica Internazionale (IEC).

Un dispositivo SIL 4 deve avere una PFH (Probability of Dangerous Failure per Hour) compresa tra  $10^{-8}$  e  $10^{-9}$ , ma, per sicurezza, verrà assunto il limite inferiore di  $10^{-8}$  rottura/h.

Tale valore corrisponde a una probabilità di rottura annua di:

$$R_a = 10^{-8} * 24 * 365 = 8,76 \cdot 10^{-5} \quad (6.15)$$

E una garanzia di funzionamento pari a:

$$F_a = 1 - 8,76 \cdot 10^{-5} = 0,999 \quad (6.16)$$

Mentre per quanto riguarda il sistema d'accertamento TV-PL, grazie alle informazioni storiche dei guasti registrati, sono stati individuati 385 guasti nel periodo che va dal 2017 al 2021. Tale valore corrisponde a 3,3 guasti per PL, essendoci 118 PL dotati di tale sistema.

Quindi, per la tecnologia in questione, è possibile trovare un valore di PFH pari a:

$$PFH = \frac{3,3 \text{ guasti}}{5 \text{ anni} * 365 \text{ gg} * 24 \text{ h}} = 7,5 \cdot 10^{-5} \frac{\text{guasti}}{\text{h}} \quad (6.17)$$

In conclusione del paragrafo 6.5, si afferma come, in condizioni ordinarie del traffico, i due sistemi in analisi presentino un analogo grado di regolarità.

Il più grande vantaggio della soluzione progettuale con sistema PAI-PL risiede nella sua efficienza nella gestione della coda. Tuttavia, nel progetto in questione, il sistema PAI-PL presenta costi eccessivi se confrontati con il sistema TV-PL.

Dunque, viene confermata la scelta di dotare anche il ramo Iseo con il sistema TV-PL, poiché, seppur risulti meno efficiente del sistema PAI-PL, tale svantaggio verrà risolto e limitato al minimo dai provvedimenti adottati al paragrafo 6.2.5 e 6.2.7.



# Capitolo 7

## Conclusioni

Grazie ai risultati conseguiti nel precedente capitolo è stato possibile rispondere ai quesiti posti nel primo capitolo introduttivo in riferimento al caso studio.

In particolare, il tempo di accertamento da assumersi è di 15 s (a cui corrisponde un percentile del 92,8%). La fascia di punta sulla quale dimensionare il progetto è 06-08 del mattino, all'interno della quale sono risultati sufficienti 4 postazioni operative per gestire l'accertamento dell'intera rete, a patto di eseguire un anticipo degli enti di rilevamento di una distanza pari a 263 m in media.

Inoltre, l'introduzione di una priorità nella gestione della coda ha permesso di ottenere una riduzione di circa il 10% della somma dei ritardi.

Sempre nell'ambito del capitolo 6, l'analisi del rischio ha permesso di risalire ai principali interventi preventivi che si possono applicare avendo come obiettivo l'interruzione dei rami dell'albero dei guasti, tra cui troviamo: implementazione di sistemi fail-safe; informazione dei macchinisti sugli human factors; utilizzo dei sistemi ERTMS/ETCS; utilizzo dei grembiali; adozione del sistema ASED; ecc.

L'analisi economica del progetto ha individuato un costo totale di €4.070.212 e un costo unitario di €37.341 per PL.

Grazie al paragrafo 6.5 si è potuto concludere che per il caso progettuale in questione, l'ipotesi di adozione del sistema TV-PL viene confermata come soluzione migliore se confrontata con i sistemi PAI-PL di RFI.

Più in generale, con il capitolo 4 sono state individuate le tecnologie presenti

in letteratura per la realizzazione dei sistemi di accertamento. In particolare, per la modalità di gestione automatica, il sistema radar è stato individuato come la tecnologia di maggiore diffusione nel mondo oggi. Mentre il sistema di riconoscimento delle immagini è la tecnologia che ha il maggiore potenziale di sviluppo nel prossimo futuro.

Per quanto riguarda la modalità di gestione con operatori, sono state definite le caratteristiche fondamentali del sistema TV-PL.

In conclusione, come eventuale sviluppo futuro si propone la quantificazione numerica dell'albero dei guasti e degli eventi proposto al paragrafo 6.3.

# Capitolo 8

## Bibliografia

- [1] ANSFISA, “Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie e delle Infrastrutture Stradali e Autostradali RELAZIONE 2020,” 2021
- [2] ANSFISA, “Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie e delle Infrastrutture Stradali e Autostradali RELAZIONE 2020,” pp. 40–69, 2021
- [3] Lefrancq R., Tel M., Valenciennes C., “Safety Overview 2021”, European railways agency, pp. 30, 2021
- [4] Ricci S., Accattis F., Antognoli M., “Ingegneria dei sistemi ferroviari,” EGAF
- [5] Begirale, “Comparative study of technologies for the detection of obstacles in level crossings”
- [6] Pavlović M., Pavlović N.T., Pavlović V., “Methods for detection of obstacles on the railway level crossing,” InProc. 17th Scientific-Expert Conference on Railways RAILCON ‘16 2016 (pp. 121-124)
- [7] Anila, S., B. Saranya, G. Kiruthikamani, and P. Devi. "Intelligent system for automatic railway gate controlling and obstacle detection." International Journal Of Current Engineering And Scientific Research (IJCESR) 4, no. 8 (2017): 2394-0697
- [8] Amaral, V., Marques, F., Lourenço, A., Barata, J. and Santana, P., 2016. Laser-based obstacle detection at railway level crossings. Journal of Sensors, 2016
- [9] Hisamitsu, Y., Sekimoto, K., Nagata, K., Uehara, M., Ota, E. (2008). 3-D laser radar level crossing obstacle detection system. IHI Engineering Review,

41(2), 51-57

- [10] Hsieh, H. H., Hsu, C. Y., Ke, P. Y., Liu, G. S., Lin, C. P. (2015, September). Applng Lidar-based obstacle detection and wireless image transmission system for improving safety at level crossings. In 2015 international Carnahan conference on security technology (ICCST) (pp. 363-367). IEEE
- [11] Ohta, M. (2005). Level crossings obstacle detection system using stereo cameras. Quarterly Report of RTRI, 46(2), 110-117
- [12] Pavlović, M. G., Ćirić, I. T., Ristić-Durrant, D., Nikolić, V. D., Simonović, M. B., Ćirić, M. V., Banić, M. S. (2018). Advanced thermal camera based system for object detection on rail tracks. Thermal Science, 22(Suppl. 5), 1551-1561
- [12] Frandi M., Leone M., Malta c., “Specifica tecnica, protezione automatica integrativa per passaggi a livello, rev. C”, pp.38, 2014
- [13] Rosini S., Senesi F., “Istruzione tecnica, Linea guida per per l’integrazione di Sistemi PAI-PL a tecnologia combinata e per l’interfacciamento verso un unica Diagnostica Centralizzata ”, pp.52, 2017.
- [14] Gressini F., “Processi di Arrivi di Poisson,” 2009
- [15] Kleinrock L., “Sistemi a coda.” Ulrico Hoepli Editore S.p.A., 1992
- [16] Guariso G., Slides corso Modellistica e simulazione, Politecnico di Milano
- [17] Borgetti F., Slides seminario corso Tecnica ed economia del trasporto, Politecnico di Milano
- [18] Volta A. and Mariani M., “linea brescia - iseo - edolo installazione tvcc nei pl di tutta la linea - elenco prezzi.” FERROVIENORD S.p.A., p. 13, 2020
- [19] Volta A. and Mariani M., “linea brescia - iseo - edolo installazione tvcc nei pl di tutta la linea - cm.” FERROVIENORD S.p.A., p. 14, 2020
- [20] “Tariffa dei prezzi per Apparatii integrativi e complementari agli impianti di Sicurezza e Segnalamento”, RFI, p. 19, 2021

# Capitolo 9

## Allegati

### 9.1 Allegato 1

Il presente allegato riporta il computo metrico estimativo dettagliato dell'attrezzamento del sistema TV-PL del ramo Iseo, descritto nel paragrafo 6.3.

Prog.	codice	Tariffario	Descrizione	U.M.	Q.tà	Prezzo Unitario	Costo
1	808/9460	FASCICOLO MACEP RFI 2020	Cavo a 48 fibre ottiche monomodali 6(8SM), armatura metallica H6, guaina esterna in polietilene arancio (RAL 2003), guaina interna in polietilene nero, sigla CEI TOL8D 48 6(8SM) T/EKH6E, caratteristiche come da specifica tecnica TT528-2014	m	106564	€2,72	€289.854,08
2	808/9330	FASCICOLO MACEP RFI 2020	Cavo a 16 fibre ottiche monomodali 4(4SM), armatura metallica H6, guaina esterna in polietilene arancio (RAL 2003), guaina interna in polietilene nero, sigla CEI TOL8D 16 4(4SM) T/EKH6E, caratteristiche come da specifica tecnica TT528-2014	m	112820	€2,15	€242.563,00
3	FN.TC.FC.015B	FERROVIENORD	Fornitura di cavi per impianti di trasmissione dati, non propaganti l'incendio, a bassa emissione di fumi opachi, gas tossici e corrosivi (ANTIFIAMMA LSZH), CAT5E armato. (SFTP 4x2x24 AWG CAT5 E 100OHM ARMATO) Fornitura di cavo CAT5E UTP	m	4679,63	€0,61	€2.854,57
4	EI.CV.P.2 01.A	FASCICOLO EI RFI 2020	Posa in opera di cavi (escluso fili e corde di cui alla voce EI.CV.P.2 07) di qualsiasi tipo di isolamento ed a qualsiasi numero di conduttori incluse le trecce nude ed i cavi telefonici da esterno mediante infilaggio entro fori, tubi, canalette, ecc. interrati o no, su piazzali o lungo linee. Per ogni cavo di sezione complessiva del rame sino a 30 mm².	m	26618,03	€0,82	€21.826,78

*CAPITOLO 9. ALLEGATI*

5	EL.CV.P.2.02.A	FASCICOLO EI RFI 2020	Posa in opera di cavi mediante appoggiati in cunicolo, ecc. per ogni cavo di sezione complessiva del rame non superiore a 30 mm <sup>2</sup>	m	197445,6	€0,29	€57.259,22
6	TC.GD.D.3101.J	FASCICOLO TC RFI 2020	Giunto di pezzatura su cavi a 48 fibre ottiche	cad.	40	€1.377,59	€55.103,60
7	TC.ST.H.3103.B	FASCICOLO TC RFI 2020	Terminazione (cavo a 16 Fibre Ottiche)	cad.	133	€810,35	€107.776,55
8	TC.ST.H.3103.F	FASCICOLO TC RFI 2020	Terminazione ulteriore (cavo a 16 fibre ottiche), oltre la prima	cad.	129	€546,22	€70.462,38
9	TC.ST.H.3103.I	FASCICOLO TC RFI 2020	Terminazione (cavo a 48 Fibre Ottiche)	cad.	19	€1.506,58	€28.625,02
10	TC.ST.H.3103.K	FASCICOLO TC RFI 2020	Terminazione ulteriore (cavo a 48 fibre ottiche), oltre la prima	cad.	17	€1.242,44	€21.121,48
11	TC.ST.H.3102.B	FASCICOLO TC RFI 2020	Fornitura in opera di subtelai con capacità di 16 connettori atto al contenimento dei dispositivi di terminazione/giunzione	cad.	262	€182,12	€47.715,44
12	TC.ST.H.3102.E	FASCICOLO TC RFI 2020	Fornitura in opera di subtelai con capacità di 48 connettori	cad.	36	€219,41	€7.898,76
13	TC.ST.H.3105.A	FASCICOLO TC RFI 2020	Fornitura in opera di bretelle/semibretelle in f.o.di lunghezza fino a 4 m.	cad.	2880	€7,77	€22.377,60
14	TC.ST.A.3001.A	FASCICOLO TC RFI 2020	Armadio RACK 19" 42U dimensioni 600x600x2000	cad.	27	€1.159,07	€31.294,89
15	FN.TC.FC.020.A	FERROVIENORD	Fornitura di cavi BREAKOUT di connessione tra Switch e armadio di terminazione FO (N3), lunghezza 30m, in formazione 4FO SM, terminazione SCLC e sfocco 1m. Guaina esterna del cavo in LSZH. Colore blu RAL 5015.	cad.	28	€183,90	€5.149,20
16	NP.K14.T.001	NP	Fornitura e posa in opera di switch industriale con le seguenti caratteristiche: - montaggio in armadio su guida DIN - 8 porte 10/100Base-T - 2 porte combo 1000Base-T/SFP - 1 modulo di espansione con 4 porte 10/100 con funzionalità PoE - 1 modulo alimentatore DC-DC - Funzionalità L3	cad.	109	€5.760,34	€627.877,06
17	NP.K14.T.009	NP	Manutenzione per Switch industriale e PoE della durata di 36 mesi	cad.	1	€1.621,23	€1.621,23
18	NP.K14.T.002	NP	Fornitura e posa in opera di switch di rete con le seguenti caratteristiche: - 24 porte 10/100/1000Base-T - 2 slot SFP+ 10GbE - predisposizione per doppio alimentatore - stackable - installazione in rack dati	cad.	2	€1.938,37	€3.876,74
19	NP.K14.T.003	NP	Fornitura e posa in opera di switch di rete con le seguenti caratteristiche: - 24 porte 10/100/1000Base-T - 4 slot SFP GBE - installazione in rack dati - funzionalità LAN base	cad.	29	€1.239,66	€35.950,14

CAPITOLO 9. ALLEGATI

20	NP.K14.T.014	NP	Fornitura di Router con le seguenti caratteristiche: - CPU con 36 core a 1,2GHz - 4 GB di Ram - 2 porte SFP+ - 8 porta GbE - capacità di indirizzamento: 41,5 mpps - larghezza di banda: fino a 28 Gbps - installabile in armadio rack, dimensioni 1 U	cad.	28	€1.268,52	€35.518,56
21	NP.K14.T.015	NP	Fornitura di modulo SFP+ con le seguenti caratteristiche: - protocollo 10GBASE-BX40-D - lunghezza d'onda di riferimento: 1270nm TX/1330nm RX - distanza massima di comunicazione: 40 km - Cisco compatibile	cad.	30	€123,21	€3.696,30
22	NP.K14.T.016	NP	Fornitura di modulo SFP+ con le seguenti caratteristiche: - protocollo 10GBASE-BX40-U - lunghezza d'onda di riferimento: 1270nm RX/1330nm TX - distanza massima di comunicazione: 40 km - Cisco compatibile	cad.	30	€123,21	€3.696,30
23	NP.K14.T.017	NP	Fornitura di modulo SFP+ con le seguenti caratteristiche: - protocollo 1000BASE-BX BiDi - lunghezza d'onda di riferimento: 1550nm RX/1310nm TX - distanza massima di comunicazione: 10 km - Cisco compatibile	cad.	142	€11,09	€1.574,78
24	NP.K14.T.018	NP	Fornitura di modulo SFP+ con le seguenti caratteristiche: - protocollo 1000BASE-BX BiDi - lunghezza d'onda di riferimento: 1550nm TX/1310nm RX - distanza massima di comunicazione: 10 km - Cisco compatibile	cad.	142	€14,78	€2.098,76
25	NP.K14.T.005	NP	Fornitura e posa in opera a regola d'arte di telecamera con le seguenti caratteristiche: - Case tipo Bullet - focale 3-9 mm con zoom motorizzato - sensore 4 MP - codifica H264/MJPEG - connessione PoE - attacco da palo e scatola di giunzione	cad.	109	€718,24	€78.288,16
26	NP.K14.T.006	NP	Fornitura di Licenza software per collegamento al sistema VMS PL	cad.	109	€99,07	€10.798,63
27	NP.K14.T.007	NP	Fornitura e posa in opera di server centrale con le seguenti caratteristiche: - installazione in armadio rack dati 19", occupazione 1U - CPU Intel Xeon - controller RAID - 4 dischi da 2 TB ognuno - 3 anni di aggiornamenti software	cad.	2	€3.850,54	€7.701,08
28	NP.K14.T.004	NP	Fornitura e posa in opera di help point per passaggio a livello con le seguenti caratteristiche: - pulsante a fungo rosso di chiamata - microfono e altoparlante per conversazione in viva voce - videocamera integrata - amplificatore e tromba per annunci sonori di emergenza - connessione a rete LAN - compatibile con sistema già in possesso e in uso in FN	cad.	109	€4.336,47	€472.675,23

*CAPITOLO 9. ALLEGATI*

29	NP.K14.T.008	NP	Fornitura e posa in opera di server di registrazione con le seguenti caratteristiche: - installazione in armadio rack dati 19", 2U - CPU Intel Core i7, - SSD - 4 slot HDD - licenza Sense Pro	cad.	18	€2.302,19	€41.439,42
30	MA.00.060.0015	REGIONE LOMBARDIA 2020	Operaio impiantista 3° S livello Installazione e collegamento moduli SFP e Bretelle in FO	h.	117	€26,74	€3.128,58
31	053058d	DEI IMPIANTI ELETTRICI II SEM 2019	Pali in vetroresina per illuminazione, altezza 5,80 m, spessore 4 mm, peso 16 kg	cad.	144	€149,15	€21.477,60
32	FN.SG.MT.003	FERROVIENORD	Palo ribaltabile per Encoder SSC	cad.	109	€496,00	€54.064,00
33	055058d	DEI IMPIANTI ELETTRICI II SEM 2019	Morsettiera da incasso palo, per feritoia 38 x 132 mm, per cavi di sezione fino a 6 mmq, contenitore e morsettiera in resina autoestingente, isolamento in classe II secondo CEI EN 60439-1, morsetti in ottone, grado di protezione coperchio IP 43 ed ingresso cavi IP 23 secondo norma CEI EN 60529, tensione nominale 450 V; per linee monofasi in cavo bipolare, sezione fino a 10 mmq, con 2 portafusibili sezionabili, per fusibile cilindrico 5 x 20, tensione 250 V portata 10 A	cad.	144	€30,29	€4.361,76
34	055024d	DEI IMPIANTI ELETTRICI II SEM 2019	Apparecchio con corpo in alluminio installato a testa-palo, riflettore in policarbonato, ottica in metacrilato, diffusore con vetro temprato piano trasparente, grado di protezione IP 66, modulo led con vita utile L80/B10 100.000 h, alimentazione 230 V c.a., potenza assorbita: 58 W, flusso iniziale 6.370 lumen	cad.	164	€434,15	€71.200,60
35	1E.02.040.0035.c	REGIONE LOMBARDIA 2020	Cavo bipolare flessibile, conforme ai requisiti previsti dalla Normativa Europea Regolamento UE 305/2011 - Prodotti da Costruzione CPR, di rame ricotto isolato con materiale isolante in gomma HEPR ad alto modulo di qualità G16, guaina in PVC di qualità R16, nome di riferimento CEI 20-13, CEI 20-67; sigla di designazione FG16OR16 0,6/1 kV, sezione nominale	m	10034	€2,86	€28.697,24
36	1E.02.040.0035.d	REGIONE LOMBARDIA 2021	Cavo bipolare flessibile, conforme ai requisiti previsti dalla Normativa Europea Regolamento UE 305/2011 - Prodotti da Costruzione CPR, di rame ricotto isolato con materiale isolante in gomma HEPR ad alto modulo di qualità G16, guaina in PVC di qualità R16, nome di riferimento CEI 20-13, CEI 20-67; sigla di designazione FG16OR16 0,6/1 kV, sezione nominale:	m	2450	€3,32	€8.134,00



CAPITOLO 9. ALLEGATI

37	1E.02.040.0035.e	REGIONE LOMBARDIA 2022	Cavo bipolare flessibile, conforme ai requisiti previsti dalla Normativa Europea Regolamento UE 305/2011 - Prodotti da Costruzione CPR, di rame ricotto isolato con materiale isolante in gomma HEPR ad alto modulo di qualità G16, guaina in PVC di qualità R16, norme di riferimento CEI 20-13, CEI 20-67; sigla di designazione FG16OR16 0,6/1 kV, sezione nominale	m	760	€4,51	€3.427,60
38	1E.02.040.0035.f	REGIONE LOMBARDIA 2023	Cavo bipolare flessibile, conforme ai requisiti previsti dalla Normativa Europea Regolamento UE 305/2011 - Prodotti da Costruzione CPR, di rame ricotto isolato con materiale isolante in gomma HEPR ad alto modulo di qualità G16, guaina in PVC di qualità R16, norme di riferimento CEI 20-13, CEI 20-67; sigla di designazione FG16OR16 0,6/1 kV, sezione nominale:	m	563	€5,85	€3.293,55
39	055063a	DEI IMPIANTI ELETTRICI II SEM 2019	armadio stradale in vetroresina, ad un vano con portello cieco completo di serratura, dimensioni in mm: 520 x 540 x 260	cad.	48	€265,42	€12.740,16
40	1E.03.070.0170	REGIONE LOMBARDIA 2025	centralino elettrico da parete in resina, grado di protezione IP40, doppio isolamento, completo di porta trasparente intelaiatura interna per il fissaggio delle apparecchiature elettriche modulari, predisposti per alloggiamento morsettiere, etichette identificatrici targhetta autoadesiva per la certificazione CEI 23 - 51, accessori meccanici di fissaggio, fino a 12 moduli.	cad.	80	€38,90	€3.112,00
41	1E.03.030.0020.b	REGIONE LOMBARDIA 2026	Interruttore automatico magnetotermico modulare, curva C, con modulo di 17,5 mm e conforme norme CEI 23-3, potere d'interruzione pari a 6 kA, tipologie: bipolare con In 6÷32 A	cad.	93	€26,07	€2.424,51
42	1E.03.030.0030.k	REGIONE LOMBARDIA 2027	Interruttore automatico magnetotermico modulare, curva C, con modulo di 17,5 mm e conforme norme CEI 23-3, potere d'interruzione pari a 10 kA, tipologie: tetrapolare con In 6÷32 A	cad.	64	€53,05	€3.395,20
43	NP.K14.E.001	NP	Armadio in vetroresina per contenimento apparecchiature	cad.	108	€1.371,42	€148.113,36
44	1E.03.030.0310.c	REGIONE LOMBARDIA 2029	Interruttore magnetotermico differenziale modulare monoblocco con certificato di prove e collaudo; involucro di materiale isolante con modulo 17,5 per ogni polo attivo; adatto per il montaggio su guida profilata, manovra indipendente con leve frontali per il riarmo e la segnalazione d'intervento per guasto a terra, potere d'interruzione non inferiore a 6 kA a cos $\phi = 0,7$ curva d'intervento C, corrente differenziale classe A, manovra e tasto di prova senza dispositivo di esclusione, nelle tipologie: 2P 6÷32 A sensibilità 0,03 A	cad.	324	€84,74	€27.455,76

*CAPITOLO 9. ALLEGATI*

45	1E.03.030.0020.b	REGIONE LOMBARDIA 2030	Interruttore automatico magnetotermico modulare, curva C, con modulo di 17,5 mm e conforme norme CEI 23-3, potere d'interruzione pari a 6 kA, tipologie: bipolare con In 6÷32 A	cad.	216	€26,07	€5.631,12
46	1E.03.060.0100.a	REGIONE LOMBARDIA 2031	Contattore tripolare in aria conforme a norme CEI 17-3 per tensione fino a 660 V 50 Hz - comando con bobina a ca. o cc. (completa di resistenza addizionale per tipo cc.) alla tensione di 24-48-110-220-380 V, in opera compresa assistenza; nei tipi: contattore grandezza 00: - Ie = 16 A Pm = 13 kW in AC 1 - Ie = 9 A Pm = 5,5 kW in AC 2/3 - Ie = 1,8 A Pm = 1,9 kW in AC 4 - Pc = 4 kvar - 1 ÷ 2 contatti ausiliari	cad.	216	€31,01	€6.698,16
47	1E.03.060.0060.c	REGIONE LOMBARDIA 2032	Portafusibili sezionabili, adatti per montaggio su guida DIN, in contenitore isolante, nelle tipologie: 2P, 20÷32 A, dim. 8.5x31.5 mm e 10.3x38 mm	cad.	216	€19,21	€4.149,36
48	1E.03.060.0070.a	REGIONE LOMBARDIA 2033	Fusibili cilindrici, tipo gG, nelle tipologie: In 2÷25 A, dim. 8.5x31.5 mm, Un 400 V, potere d'interruzione 50 kA	cad.	432	€6,09	€2.630,88
49	1E.03.060.0010	REGIONE LOMBARDIA 2034	Contatto ausiliario di posizione aperto/chiuso dell'interruttore, 1/2 modulo DIN, portata contatti in c.a. 3A-400V, 6A-230V, portata contatti in c.c. 1.5A-110V, 2A60V, 1A-250V, 6A-24V	cad.	540	€38,14	€20.595,60
50	35280	DEI IMPIANTI ELETTRICI II SEM 2019	Dispositivo automatico per riarmo interruttori differenziali, per interruttori differenziali dotati di comando a motore, con contatto NO per segnalazione a distanza con tensione nominale 230 V e portata 6 A, possibilità di esclusione del riarmo automatico, in contenitore isolante serie modulare con grado di protezione IP 20, alimentazione 230 V - 50 Hz, tempo di attesa programmabile da 1 a 10 minuti, un tentativo di riarmo, installato su guida DIN35	cad.	216	€148,39	€32.052,24
51	NP.K14.E.002	NP	Fornitura e posa in opera di modulo MODBUS TCP con le seguenti caratteristiche: - connessione Ethernet 10/100 - 6 ingressi digitali, - 6 uscite digitali	cad.	108	€301,68	€32.581,44
52	NP.K14.E.003	NP	Fornitura e posa in opera di caricabatterie 230V-24Vcc con le seguenti caratteristiche: - installazione su guida DIN - ingresso 230 Vca - morsettiera batteire 24 Vcc, - morestiera uscita carico a 24 Vcc - potenza erogata: 240 W - morsetti con relè di allarme e segnalazione	cad.	108	€345,27	€37.289,16
53	NP.K14.E.004	NP	Fornitura e posa in opera di UPS 230V-230V con le seguenti caratteristiche: - installazione su guida DIN - ingresso 230 Vca - morsettiera batteire 24 Vcc, - morestiera uscita carico 230 Vca - potenza erogata: 500 VA - morsetti con relè di allarme e segnalazione	cad.	108	€1.313,48	€141.855,84

CAPITOLO 9. ALLEGATI

54	844/1600	FASCICOLO MACEP RFI 2020	Batteria 12V 20Ah, tecnologia VRLA AGM, capacità minima 20 Ah, C10/20°1,8 Vpc, 100Wpc minimi a 1,67 Vpc a 25°C per 15', piastra piana, terminali secondo costruttore, classificazione EUROBAT: Long Life (10 - 12 ANNI), DIMENSIONI MM. LUNGHEZZA 170 LARGHEZZA 175 ALTEZZA 125, PESO MINIMO Kg 9.	cad.	648	€46,24	€29.963,52
55	1E.02.040.0015.c	REGIONE LOMBARDIA 2040	Cavo unipolare flessibile, conforme ai requisiti previsti dalla Normativa Europea Regolamento UE 305/2011 - Prodotti da Costruzione CPR, di rame ricotto isolato con materiale isolante in PVC di qualità S17, norme di riferimento CEI EN 50525, CEI 20-40; sigla di designazione FS17 450/750 V, sezione nominale: 2,5 mm <sup>2</sup>	m	3240	€1,02	€3.304,80
56	1E.01.010.0040.c	REGIONE LOMBARDIA 2041	Dispensore a croce in acciaio zincato a caldo per immersione dopo lavorazione, a nome CEI 64-8, CEI 81-1, sezione 50x50x5 mm, con bandiera a 3 fori diam. 11 mm, per allacciamenti di corde, tondi, piatti e funi, nelle lunghezze: 2 m	cad.	108	€44,66	€4.823,28
57	BA.CZ.C.1101.C	FASCICOLO BA RFI 2020	Fornitura di cunicoli in conglomerato cementizio, tipo UNI 4095, per la protezione di cavi, delle dimensioni di mm 100x100	m	3061	€5,48	€16.774,28
58	SS.CE.C.2 04.F	FASCICOLO SS RFI 2019	Posa in opera di cunicoli di mm 100 x 100 posati affioranti, in banchina oppure in corrispondenza dei binari o in attraversamento	m	3061	€4,74	€14.509,14
59	1E.02.010.0030.f	REGIONE LOMBARDIA 2020	Cavidotti corrugati a doppia parete per posa interrata a norme CEI-EN 50086-12-4 con resistenza allo schiacciamento di 450 N diam. 110mm	m	4479,9	€7,85	€35.167,22
60	1C.12.620.0140.a	REGIONE LOMBARDIA 2021	Fornitura e posa in opera di pozzetto prefabbricato in calcestruzzo della dimensione interna di cm 60x60, completo di chiusino o solettina in calcestruzzo, compreso scavo e rinterro, la formazione del fondo di appoggio, le sigillature e qualsiasi altra operazione necessaria per dare l'opera finita, con le seguenti caratteristiche: pozzetto con fondo e chiusino, altezza cm 70 circa	cad.	160	€109,85	€17.576,00
61	1C.02.100.0060.c	REGIONE LOMBARDIA 2022	Scavo a sezione obbligata in terreno di qualsiasi natura e consistenza, in presenza di reti di servizi, eseguito a macchina e con interventi manuali, comprese le opere provvisorie di protezione e segnalazione, di puntellazione e sospensione delle reti, escluse le armature degli scavi: con carico e deposito delle terre nell'ambito del cantiere	mc	1143	€17,41	€19.899,63

*CAPITOLO 9. ALLEGATI*

62	1C.02.350.0010.a	REGIONE LOMBARDIA 2023	Rinterro di scavi con mezzi meccanici con carico, trasporto e scarico al luogo d'impiego, spianamenti e costipazione a strati non superiori a 50 cm, bagnatura e ricarichi: con terre depositate nell'ambito del cantiere	mc	93,75	€2,75	€257,81
63	1C.04.010.0020.a	REGIONE LOMBARDIA 2024	Fondazioni in conglomerato cementizio realizzate mediante getto, con l'ausilio di gru o qualsiasi altro mezzo di movimentazione, di calcestruzzo confezionato in betoniera, con inerti ad assortimento granulometrico adeguato alla particolare destinazione del getto diametro massimo 32 mm, consistenza S3, compresa la vibratura, esclusi ferro e casseri; resistenza: C25/30 - esposizione XC1 o XC2	mc	303	€125,05	€37.890,15
64	1C.04.010.0010.a	REGIONE LOMBARDIA 2025	sottofondazioni in conglomerato cementizio realizzate mediante getto, con l'ausilio di argano o gru o qualsiasi altro mezzo di movimentazione, di calcestruzzo confezionato in betoniera, con cemento 32.5 R ed inerti ad assortimento granulometrico adeguato alla particolare destinazione del getto; resistenza: C12/15 - esposizione X0 - consistenza S3	mc	36,42	€99,68	€3.630,35
65	1C.04.450.0010.a	REGIONE LOMBARDIA 2026	Acciaio tondo in barre nervate per cemento armato con caratteristiche rispondenti alla norma UNI EN 10080 e prodotto con sistemi di controllo di produzione in stabilimento di cui al D.M.17/01/2018, in opera compresa lavorazione, posa, sormonti, sfrido, legature; qualità B450C	kg	21337,72	€1,42	€30.299,56
66	OM.MT.C.3 15.A	FASCICOLO OM RFI 2020	Sguarnitura di massicciata, necessaria per l'esecuzione di lavori in terra e murari in prossimità del binario, comprendente la rimozione, il deposito ed il successivo ricollocamento previa vagliatura, curando il ripristino della sagoma prescritta, compresi gli oneri per la eventuale presenza di cavi	mc	58,59	€37,54	€2.199,47
67	1U.04.120.0610	REGIONE LOMBARDIA 2026	Formazione di pavimentazione in asfalto colato carrabile, conforme alla normativa UNI EN 13108-6:2006, per aree di sosta e per strade a lento scorrimento o controviai spessore cm 2,5 con spargimento superficiale di graniglia nera. La miscela è ottenuta attraverso mescolamento a caldo di inerti e filler con l'aggiunta di bitume con penetrazione 35/50, dosaggio minimo 8% su miscela, miscelato con bitumi naturali a bassa penetrazione o modificati comprese le difese delle aree di lavoro, la pulizia del fondo ed ogni altro onere relativo.	mq	187,5	€11,80	€2.212,50

68	1C.16.100.0010.b	REGIONE LOMBARDIA 2027	Pavimento in masselli autobloccanti prefabbricati in calcestruzzo vibrocompresso, prodotti e controllati secondo le norme UNI EN 1338, tipo monostrato, colore naturale, posati su letto di sabbia dello spessore di 3 - 5 cm. Compresa la sabbia di sottofondo, la posa a campo unito o a disegno, l'assistenza muraria, la battitura, la sabbia per l'intasamento delle connessure: spessore 80 mm	m <sup>2</sup>	20	€22,81	€456,20
69	BA.CZ.C.2201.B	FASCICOLO BA RFI 2020	Scopertura di cunicoli delle dimensioni superiori a 150x100 e fino a 400 x 100 mm, compresi i cunicoli conformi ai disegni FS V 317 e TT 3135, posati affioranti o appoggiati	m	103939	€2,71	€281.674,69
70	NP.K14.T.012	NP	Fornitura di Thin Client con le seguenti caratteristiche: - CPU quad core 2.0 GHz con PGU integrata - RAM: 2 SODIMM fino a 32 GB di cui 256, 512 o 1024 MB riservati per la grafica - Archivio: memoria NAND non volatile con 2 socket; max 128 GB al primario e 64 GB al secondario - I/O: tastiera e mouse USB o PS/2; 4 USB 2.0, 3 USB 3.0; 2 DisplayPort 1.2, 1 RJ45	cad	2	€418,20	€836,40
71	NP.K14.T.013	NP	Fornitura di Monitor LCD per PC desktop con le seguenti caratteristiche: - diagonale 23" formato widescreen 16:9 - risoluzione 1920 x 1080 pixel - retroilluminazione a LED - tecnologia IPS	cad	2	€289,45	€578,90
72	NP.K14.T.011	NP	Fornitura e posa in opera di periferica di accertamento PL con le seguenti caratteristiche: - capienza massima 8 PL - interfaccia di rete per anello in fibra ottica monomodale - compatibile con software di accertamento PL di Ferrovienord	cad	25	€7.149,95	€178.748,75
73	TC.ST.A.3001.A	FASCICOLO TC RFI 2020	Armadio RACK 19" 42U dimensioni 600x600x2000	cad	25	€1.159,07	€28.976,75
74	804/5450	FASCICOLO MACEP RFI 2020	CAVO ARMATO NON PROPAGANTI L'INCENDIO PER CIRCUITI ESTERNI PER IL SEGNALE CON FORMAZIONE 16X1 - IN PEZZATURA DA 1000 - RAPPORTO DI TRASFORMAZIONE Kg/Km 152 - marcatura CE secondo regolamento (UE) 305/2011 con classe di reazione al fuoco Eca	m	56000	€4,76	€266.560,00
75	SS.CE.K.2101.B	FASCICOLO SS RFI 2019	Posa di cavo armato di qualsiasi tipo, con esclusione di quelli di cui alla sottovoce SS.CE.K.2101.E, sino alla sezione complessiva dei conduttori di 50 mm <sup>2</sup>	m	56000	€0,48	€26.880,00



*CAPITOLO 9. ALLEGATI*

76	825/2550	FASCICOLO MACEP RFI 2020	Morsettiere a 12 spine per impianti di segnalamento e sicurezza completa di bulloncini e staffe di fissaggio	cad	78	€30,06	€2.344,68
77	SS.AC.I.2 01.A	FASCICOLO SS RFI 2019	Posa in opera di morsettiere, compreso l'allacciamento ai morsetti posa in opera di morsettiere a 12 spine	cad	78	€30,84	€2.405,52
78	825/8310	FASCICOLO MACEP RFI 2020	Rele' neutro 4/2 a c.c. tipo FS.58 eco con 4 contatti alti e 2 contatti bassi indipendenti e con tutti contatti alti insaldabili.	cad	174	€134,24	€23.357,76
79	825/1150	FASCICOLO MACEP RFI 2021	Contropiastra per rele' neutri 4/2 a 48V in c.c. tipo FS.58 con 4 contatti alti e 2 contatti bassi indipendenti - N.T. IS 357	cad	124	€24,86	€3.082,64
80	825/1140	FASCICOLO MACEP RFI 2022	Contropiastra per rele' neutri a 12V c.c. e per rele' differenziali 4/2 in c.c. tipo FS.58 con 4 contatti alti e 2 contatti bassi indipendenti - N.T. IS 357	cad	50	€15,04	€752,00
81	825/6050	FASCICOLO MACEP RFI 2023	Contropiastra per interruttore a scatto - tipo ad innesto - completa di bussole di fissaggio - N.T. IS 347	cad	124	€3,73	€462,52
82	825/6120	FASCICOLO MACEP RFI 2024	Interruttore automatico a scatto rapido in c.c. (I.R.C.) da 0,1A - tipo ad innesto completo di colonnine e pomelli per impianti di segnalamento e sicurezza - N.T. IS 320 (N.T. IS 347 per le parti isolanti)	cad	124	€111,87	€13.871,88
83	SS.AC.E.2 03.B	FASCICOLO SS RFI 2019	Posa in opera di rele', interruttori a scatto e teleruttori del tipo ad innesto	cad	124	€0,50	€62,00
84	SS.AC.E.2 03.A	FASCICOLO SS RFI 2020	Posa in opera di rele', interruttori a scatto e teleruttori del tipo a spinotti	cad	174	€2,08	€361,92
85	SS.SG.I.1 02.D	FASCICOLO SS RFI 2021	FORNITURA TABELLA RETTANGOLARE PER L'INDICAZIONE DEL NUMERO DEI P.L. PER SEGNALE DI ATTENZIONE E PER SEGNALE LUMINOSO LATO TRENO	cad	111	€20,29	€2.252,19
86	SS.SG.I.2 06.A	FASCICOLO SS RFI 2022	POSA TAVOLE DI ORIENTAMENTO MEDIANTE NASTRI D'ACCIAIO INOX DA 3/4 DI POLLICE; PER CADAUNA STAFFA	cad	222	€3,76	€834,72

## 9.2 Allegato 2



### TARIFFA DEI PREZZI

# "AI"

**Tariffa dei prezzi per Apparati integrativi e complementari agli  
impianti di Sicurezza e Segnalamento**

**EDIZIONE 2021**

# TARIFFA AI CATEGORIA PL GRUPPO A

**GRUPPO  
A**

**Forniture in opera di Sistemi PAIPL**

## **VOCE 1004**

Fornitura a piè d'opera di Sottosistema di Elaborazione (SIL4)

### **ALPL.A.1004.A**

Fornitura a piè d'opera di Sottosistema di Elaborazione (SIL4) - per ogni PL del Sistema

UNITA' DI MISURA: **CAD** (Cadauna)

**IMPORTO EURO: 49.080,06**

% Manodopera: 34,2

## **VOCE 1005**

Fornitura a piè d'opera di Sottosistema di Acquisizione Video

### **ALPL.A.1005.A**

Fornitura a piè d'opera di Sottosistema di Acquisizione Video - per ogni sistema PL

UNITA' DI MISURA: **CAD** (Cadauna)

**IMPORTO EURO: 14.860,22**

% Manodopera: 34,8

## **VOCE 1006**

Fornitura a piè d'opera di Sottosistema Raccolta Dati

### **ALPL.A.1006.A**

Fornitura a piè d'opera di Sottosistema Raccolta Dati - per ogni sistema PL

UNITA' DI MISURA: **CAD** (Cadauna)

**IMPORTO EURO: 19.907,89**

% Manodopera: 0,0

## **VOCE 1007**

Fornitura a piè d'opera di Sottosistema di Monitoraggio

### **ALPL.A.1007.A**

Fornitura a piè d'opera di Sottosistema di Monitoraggio (SIL4) - per la copertura dell'area dell'attraversamento (larghezza della carreggiata compresa tra le barriere) sino a 105 m2.

UNITA' DI MISURA: **CAD** (Cadauna)

**IMPORTO EURO: 61.274,93**

% Manodopera: 0,0

### **ALPL.A.1007.B**

Fornitura a piè d'opera di Sottosistema di Monitoraggio (SIL4) - integrazione alla precedente sottovoce per la copertura dell'area dell'attraversamento (larghezza della carreggiata compresa tra le barriere) per ogni ulteriori 105 m2 o frazione di 105 m2.

UNITA' DI MISURA: **CAD** (Cadauna)

**IMPORTO EURO: 61.274,93**

% Manodopera: 0,0

## **VOCE 2004**

Posa in opera di Sottosistema di Elaborazione

### **ALPL.A.2004.A**

Posa in opera di Sottosistema di Elaborazione (SIL4) - per ogni sistema PL

UNITA' DI MISURA: **CAD** (Cadauna)

**IMPORTO EURO: 7.402,69**

% Manodopera: 100,0



# TARIFFA AI CATEGORIA PL GRUPPO A

**GRUPPO  
A**

**Forniture in opera di Sistemi PAIPL**

## **VOCE 2005**

Posa in opera di Sottosistema di Acquisizione Video

### **ALPL.A.2005.A**

Posa in opera di Sottosistema di Acquisizione Video - per ogni sistema PL

UNITA' DI MISURA: **CAD** (Cadauna)

**IMPORTO EURO: 2.195,95**

% Manodopera: 100,0

## **VOCE 2006**

Posa in opera di Sottosistema Raccolta Dati

### **ALPL.A.2006.A**

Posa in opera di Sottosistema Raccolta Dati - per ogni sistema PL

UNITA' DI MISURA: **CAD** (Cadauna)

**IMPORTO EURO: 3.088,48**

% Manodopera: 100,0

## **VOCE 2007**

Posa in opera di Sottosistema di Monitoraggio

### **ALPL.A.2007.A**

Posa in opera di Sottosistema di Monitoraggio (SIL4) - per la copertura dell'area dell'attraversamento (carreggiata compresa tra le barriere) sino a 105 m2.

UNITA' DI MISURA: **CAD** (Cadauna)

**IMPORTO EURO: 8.799,32**

% Manodopera: 100,0

### **ALPL.A.2007.B**

Posa in opera di Sottosistema di Monitoraggio (SIL4) - integrazione alla precedente sottovoce per la copertura dell'area dell'attraversamento (carreggiata compresa tra le barriere) per ogni ulteriori 105 m2 o frazione di 105 m2.

UNITA' DI MISURA: **CAD** (Cadauna)

**IMPORTO EURO: 8.676,12**

% Manodopera: 100,0

# TARIFFA AI CATEGORIA PL GRUPPO B

**GRUPPO  
B**

**Sistema di Supervisione per PAI-PL**

## **VOCE 3001**

Fornitura e posa in opera del Posto Centrale del Sistema di Supervisione per PAI-PL

### **ALPL.B.3001.A**

Fornitura e posa in opera del Posto Centrale del Sistema di Supervisione per PAI-PL

UNITA' DI MISURA: **CAD** (Cadauna)

IMPORTO EURO: **142.262,86**

% Manodopera: 27,3

## **VOCE 3002**

Fornitura e posa in opera di Postazione Operatore del Sistema di Supervisione CIRCOLAZIONE per PAI-PL

### **ALPL.B.3002.A**

Fornitura e posa in opera di Postazione Operatore del Sistema di Supervisione CIRCOLAZIONE per PAI-PL

UNITA' DI MISURA: **CAD** (Cadauna)

IMPORTO EURO: **3.695,50**

% Manodopera: 30,0

## **VOCE 3003**

Fornitura e posa in opera di Postazione Operatore del Sistema di Supervisione DIAGNOSTICA per PAI-PL

### **ALPL.B.3003.A**

Fornitura e posa in opera di Postazione Operatore del Sistema di Supervisione DIAGNOSTICA per PAI-PL

UNITA' DI MISURA: **CAD** (Cadauna)

IMPORTO EURO: **3.695,50**

% Manodopera: 30,0

## **VOCE 3004**

Sottosistema di Acquisizione Video - per ogni telecamera fornita in opera

### **ALPL.B.3004.A**

Sottosistema di Acquisizione Video - fornitura in opera di telecamera, fornitura e posa in opera di palo tubolare in vetroresina per postazione di telecamera compresa la costruzione del basamento

UNITA' DI MISURA: **CAD** (Cadauna)

IMPORTO EURO: **2.382,53**

% Manodopera: 24,4

# TARIFFA AI CATEGORIA PL GRUPPO C

**GRUPPO  
C**

**Tool di Configurazione**

**VOCE 1001**

Fornitura Tool di Configurazione

**ALPL.C.1001.A**

Fornitura Tool di Configurazione (Hardware e licenza Software)

UNITA' DI MISURA: **CAD** (Cadauna)

IMPORTO EURO: **44.250,80**

% Manodopera: **0,0**

---