

FACOLTA' DI INGEGNERIA
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLA
SICUREZZA CIVILE E INDUSTRIALE

TESI DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLA
SICUREZZA CIVILE E INDUSTRIALE
(Laurea Magistrale DM 270/04 – Indirizzo Industriale)

**STUDIO DI FATTIBILITÀ PER LA
MITIGAZIONE DELLE
PROBLEMATICHE DEI SISTEMI PL
CON SCHEMI DI PRINCIPIO
V308 E V305**

Relatore: Prof. Bignucolo Fabio

Laureando: Di Monti Andrea

INDICE GENERALE

| | |
|---|----|
| Introduzione | 6 |
| Ringraziamenti | 8 |
| Capitolo 1 | 10 |
| La sicurezza ferroviaria | 10 |
| 1.1 Gli obblighi di RFI nei confronti della sicurezza ferroviaria | 10 |
| 1.2 Quadro normativo di riferimento di RFI | 13 |
| 1.2.1 Fonti normative in uso alle imprese ferroviarie..... | 13 |
| 1.2.2 Il sistema di gestione della sicurezza adottato da RFI | 13 |
| 1.2.3 Il processo di monitoraggio e miglioramento..... | 16 |
| 1.3 Definizione di una graduatoria di priorità d'intervento sui PL pubblici | 24 |
| 1.3.1 Sviluppo della metodologia di analisi | 28 |
| 1.3.2 Definizione degli indici di priorità' | 33 |
| 1.3.3 Misure di mitigazione previste per il miglioramento della sicurezza dei sistemi PL35 | |
| Capitolo 2..... | 38 |
| Metodologie di analisi del rischio per l'esercizio ferroviario..... | 38 |
| 2.1 Il processo di analisi del rischio..... | 38 |
| 2.2 Criteri adottati da RFI per l'identificazione dei pericoli e la valutazione dei rischi..... | 42 |
| 2.1.1 Individuazione dei pericoli e BDP | 42 |
| 2.1.2 La valutazione dei rischi | 43 |
| 2.1.3 Metodologia di analisi del rischio applicabile nello sviluppo e realizzazione dei sistemi di segnalamento ferroviario: l'analisi HazOp..... | 46 |
| 2.3 Fault Tree Analysis | 49 |
| 2.4 Event Tree Analysis | 54 |
| 2.5 La manutenzione dei sistemi: effetti sull'affidabilità | 56 |
| 2.6 Safety Integrated Level | 58 |
| Capitolo 3..... | 60 |
| I sistemi passaggio a livello | 60 |
| 3.1 Classificazione dei PL..... | 60 |
| 3.2 I componenti di un sistema PL | 62 |
| 3.3 Verifiche di sicurezza da eseguire su un PL..... | 71 |
| 3.4 Schemi di principio per la gestione dei PL di linea..... | 73 |

| | |
|---|-----|
| 3.4.1 Schema di principio V308 | 74 |
| 3.4.2 Schema di principio V305 | 87 |
| Capitolo 4..... | 92 |
| Il sistema di controllo della marcia del treno | 92 |
| 4.1 Funzionalità del SCMT | 92 |
| 4.2 Architettura del sottosistema di bordo | 96 |
| 4.3 Architettura del sottosistema di terra | 99 |
| 4.4 Il blocco automatico a correnti codificate..... | 102 |
| 4.5 Definizione delle variabili dei telegrammi SCMT | 104 |
| 4.6 Il sistema INFILL..... | 107 |
| 4.6.1 Applicazione della VRil10 | 107 |
| 4.6.2 Liberazione dei vincoli imposti dall VRil10: il sistema INFILL..... | 110 |
| 4.6.3 Architettura del sistema INFILL..... | 112 |
| 4.6.4 Il circuito di binario INFILL | 113 |
| Capitolo 5..... | 116 |
| Soluzione mitigativa alle problematiche degli schemi V308 e V305..... | 116 |
| 5.1 Descrizione della proposta..... | 116 |
| 5.1.1 Applicazione della VRil10 e del codice INFILL..... | 117 |
| 5.1.2 Circuiti di binario INFILL | 120 |
| 5.1.3 Circuito di comando codifica..... | 122 |
| 5.1.4 Liberazione tramite PEPL..... | 125 |
| 5.1.5 Circuito per il controllo del ciclo di funzionamento | 128 |
| 5.1.6 Circuito “allarme tallonamento” | 129 |
| 5.2 Analisi degli aspetti normativi correlati | 130 |
| 5.3 Analisi del rischio associata alla proposta | 136 |
| 5.3.1 Costruzione tabella HazOp..... | 136 |
| 5.3.2 Costruzione dell’albero dei guasti..... | 137 |
| 5.3.3 Costruzione dell’albero degli eventi | 140 |
| Conclusioni e sviluppi futuri | 148 |
| Allegato 1 | 152 |
| Estratto del regolamento segnali | 152 |

| | |
|---|-----|
| Allegato 2 | 162 |
| Metodologia di calcolo per la media ponderata degli indicatori di sicurezza della circolazione ferroviaria..... | 162 |
| Allegato 3 | 164 |
| Tabella HazOp per top event “indebito tallonamento barriera” | 164 |
| Allegato 4 | 168 |
| Norme comportamentali degli utenti stradali | 168 |
| Indice delle figure | 170 |
| Indice delle tabelle..... | 173 |
| Bibliografia | 174 |
| sitografia | 175 |

INTRODUZIONE

La presente tesi propone uno **studio di fattibilità** per la mitigazione delle problematiche legate alla circolazione ferroviaria su tratte a semplice binario comprendenti passaggi a livello protetti da segnale di partenza delle stazioni limitrofe.

Uno degli elementi più sensibili dell'infrastruttura ferroviaria è il PASSAGGIO A LIVELLO (a cui in seguito si farà corrispondere l'acronimo PL), essendo l'intersezione tra il binario e la sede stradale ossia tra due modalità di trasporto diverse: la ferrovia e la "gomma".

I rischi maggiori che si incorrono in questi elementi dell'infrastruttura ferroviaria sono:

1. Collisione tra materiale rotabile e veicoli stradali;
2. Deragliamento di un treno nella zona d'intersezione.

La soluzione migliorativa proposta dalla seguente tesi va a ridurre ulteriormente il rischio di collisione tra un treno e un veicolo stradale in un PL, che avviene sempre a causa di volontarie infrazioni del codice della strada da parte degli utenti stradali. Le conseguenze di tale eventualità potrebbe infatti essere:

- Danni a utenti del trasporto ferroviario (anche mortali) e cose;
- Danni anche mortali agli utenti della strada;
- Danni materiali e quindi economici all'infrastruttura ferroviaria (comprendente sia la sede ferroviaria che quella stradale);
- Deragliamento del treno con conseguenti danni materiali ed economici ai rotabili;
- Disagi agli utenti del trasporto pubblico per i tempi di ripristino delle condizioni di sicurezza.

Nel corso degli ultimi anni in tutto il territorio nazionale si è sviluppato un progetto di riduzione dei PL (e quindi del rischio globale a essi associato) attraverso la sostituzione degli stessi con opere civili complesse quali i sottopassi. Quest'ultima è una metodologia sicuramente risolutiva che elimina il rischio associato al singolo PL (**principio di sostituzione**) che è stata applicata principalmente alle linee commercialmente più importanti anche in un'ottica di miglioramento della qualità del servizio.

Per quei PL nei quali la morfologia del terreno e la complessità stradale non permettono l'installazione di un sottopasso si rende necessario adottare delle misure impiantistiche che riducano i rischi cui sopra. La tesi ha quindi come scopo lo studio di una soluzione impiantistica atta a migliorare l'attuale tecnologia adottata nei sistemi PL su linee a semplice binario.

La tesi nasce dal desiderio del laureando di dare un contributo in termini di sicurezza a quei sistemi PL sui quali lavora dal 2007, conoscendone i pregi, le modalità di esercizio e manutenzione. Lo scopo è dimostrare tramite un approccio di progettazione integrata nella sicurezza che si può migliorare anche ciò che noi professionisti degli impianti di segnalamento ferroviario manteniamo in sicurezza efficientemente da decenni.

In prima battuta verrà illustrato il Sistema di Gestione della Sicurezza che RFI ha implementato e adottato per garantire un sicuro esercizio.

La seconda parte prevede una panoramica delle metodologie di analisi del rischio adottate da RFI e quelle applicate nel finale della tesi.

La terza parte è una descrizione dei sistemi PL con particolare dettaglio agli schemi di principio V308 e V305, utilizzati nelle linee a semplice binario sull'infrastruttura RFI.

La quarta parte è una descrizione del SISTEMA CONTROLLO MARCIA TRENO (SCMT) attualmente in uso su gran parte delle linee ferroviarie che ha aumentato notevolmente la sicurezza della circolazione ferroviaria, garantendo un'assistente automatico all'agente di condotta del treno: un occhio vigile sulle modalità di marcia dei macchinisti che viaggiano sulla rete.

Il quinto capitolo, forte delle nozioni apprese nelle precedenti parti, illustra la proposta di mitigazione delle problematiche dell'esercizio dei passaggi a livello oggetto della tesi. Non ci si propone un progetto compiuto e validato ma bensì un'idea basata su una solida esperienza e valutazione del rischio degli impianti di segnalamento, da proporre al management RFI.

ANDREA DI MONTI

RINGRAZIAMENTI

Arrivato alla fine del mio percorso di studi desidero ringraziare il mio relatore, prof. Bignucolo Fabio, per i consigli, la guida e per aver supportato l'idea espressa nella tesi.

Ringrazio anche il prof. Maschio, la prof.ssa Vianello e il prof. Mocellin per aver ideato, avviato e coltivato il corso di laurea in Ingegneria della Sicurezza, alla quale mi sono appassionato e cerco di applicare quotidianamente nel lavoro.

Per quanto riguarda RFI un grazie va al mio datore di lavoro ing. Angelini Diego, Direttore Territoriale Produzione di Venezia, e al Capo Unità Nord, ing. Tonegato Andrea, per aver permesso di mettere le mie conoscenze nell'ambito del settore degli impianti di sicurezza ferroviaria all'interno della tesi e avermi supportato in tal senso.

Un enorme grazie al mio Capo Unità Manutentiva IS Castelfranco Veneto, Girometti Lorenzo, per i consigli tecnici e la pazienza che mi ha dimostrato negli ultimi due anni.

Un grazie anche al mio vecchio capo Sandro che mi ha accompagnato sia nella laurea triennale che in parte nella magistrale.

Grazie anche a Marco (Masetto), Leo, Endi, Borsa, Costa, Nicola, Andre, Seba e tutti gli altri miei colleghi con i quali ogni giorno condivido le gioie e le sfide dell'essere ferroviere. Grazie a tutto l'ufficio IS di Castelfranco: Ale, Mauro, Antonio e Luca.

Un ringraziamento al macchinista delle frecce, il "Maestro" Daniele Burigana per i consigli relativi alla parte sul comportamento degli agenti di condotta.

Un enorme grazie a mia mamma, a mio fratello Nicola, a mia sorella Michela, a mia sorella Silvia e a mio fratello Simone: la famiglia più bella del mondo... scusate se per studiare sono stato un po' assente.

Il ringraziamento maggiore va a te, Jessica, perché mi hai accompagnato nella parte più difficile, dandomi il sostegno necessario per riuscire ad affrontare lavoro e studio: sei tu il miglior ferroviere per me! Questa tesi è anche per te.

.....*A mio padre*.....

CAPITOLO 1

LA SICUREZZA FERROVIARIA

In questo capitolo vengono illustrate le missioni di Rete Ferroviaria Italiana SpA e come, in qualità di Gestore Infrastruttura, riesca ad adempiere alle Disposizioni dettate dall'Agenzia Nazionale per la Sicurezza Ferroviaria, ossia attraverso l'implementazione del Sistema di Gestione della Sicurezza e la continua ricerca di eccellenza nel campo dell'esercizio ferroviario.

1.1 GLI OBBLIGHI DI RFI NEI CONFRONTI DELLA SICUREZZA FERROVIARIA

Rete Ferroviaria Italiana SpA è la società del Gruppo FSI che si occupa del mantenimento in efficienza e del potenziamento dell'infrastruttura ferroviaria, ha quindi la funzione di Gestore Infrastruttura (GI nel seguito).

L'azienda è stata costituita il 01 luglio 2001 per rispondere alle Direttive Comunitarie sulla separazione tra il gestore della rete e il produttore dei servizi di trasporto. Ad oggi, le responsabilità di RFI riguardano principalmente:

- Gestione in sicurezza della circolazione ferroviaria, tramite il presidio dei sistemi di controllo e della marcia del treno;
- Mantenimento in efficienza dell'infrastruttura ferroviaria, assicurato dall'attività di manutenzione ordinaria e straordinaria;
- Progettazione e realizzazione degli investimenti per il potenziamento dell'infrastruttura;
- Definizione dell'orario annuale sulla base della domanda delle Imprese Ferroviarie;
- Accertamento dell'idoneità psico-fisica del personale sia proprio che delle Imprese Ferroviarie che di altri operatori del settore dei trasporti;
- L'accessibilità delle stazioni e dei servizi a esse connesse;
- L'assistenza alle persone a ridotta mobilità;
- L'integrazione della rete italiana nelle reti di trasporto transeuropee secondo gli standard e i piani definiti a livello sovranazionale.

Il D.Lgs 162/2007 di recepimento delle Direttive 2004/49/CE e 2004/51/CE definisce e istituisce l'Agenzia Nazionale per la Sicurezza delle Ferrovie (ANSF nel seguito) la quale ha i seguenti compiti principali:

1. *“provvede affinché la responsabilità del funzionamento sicuro del sistema ferroviario e del controllo dei rischi che ne derivano incomba sui GI e sulle IF, obbligandoli a mettere in atto le necessarie misure di controllo del rischio, ove appropriato cooperando reciprocamente, ad applicare le norme e gli standard di sicurezza nazionali e ad istituire i Sistemi di gestione della sicurezza.”*
2. *“definire il quadro normativo in materia di sicurezza, proponendone il necessario riordino, ed emanare anche su proposta dei GI e delle IF, le norme tecniche e gli standard di sicurezza e vigilare sulla loro applicazione”;*
3. *“controllare, promuovere e, se del caso imporre, le disposizioni e l’emanazione delle prescrizioni di esercizio da parte dei GI e delle IF, in coerenza con il quadro normativo nazionale;*
4. *“stabilire i principi e le procedure e la ripartizione delle competenze degli operatori ferroviari in ordine alle emanazioni delle disposizioni di cui il punto precedente;*
5. *“verificare l’applicazione delle disposizioni e prescrizioni tecniche relativamente al funzionamento ed alla manutenzione”;*
6. *“rilasciare, rinnovare, modificare e revocare i pertinenti elementi che compongono i certificati di sicurezza e le autorizzazioni di sicurezza.... e controllare che ne siano soddisfatti le condizioni e i requisiti e che i GI e le IF operino conformemente ai requisiti del diritto comunitario o nazionale”;*
7. *“impartire ai GI ed alle IF direttive, raccomandazioni in materia di sicurezza, nonché in ordine degli accorgimenti e procedure necessarie e utili al perseguimento della sicurezza ferroviaria”;*
8. *“compiere attività di studio, ricerca, approfondimento in materia di sicurezza del trasporto ferroviario”;*
9. *“formulare proposte e osservazioni relative a problemi della sicurezza ferroviaria ad ogni soggetto o autorità competenti”.*

L’ANSF ha quindi un ruolo centrale nell’emanazione delle regole di sicurezza ferroviaria e nel controllo dell’applicazione delle stesse. Si pone quindi come ente *superpartes* nei confronti dei GI e delle IF avendo come unico obiettivo l’eccellenza in materia di sicurezza ferroviaria.

D’altro canto, i GI e le IF sono responsabili della propria parte di sistema e del relativo funzionamento sicuro, compresa la fornitura di materiale e l’appalto di servizi nei confronti di utenti, clienti, lavoratori interessati e terzi. Possono proporre modifiche al quadro normativo nazionale di sicurezza emettendo disposizioni e prescrizioni necessarie al conseguimento degli **obiettivi comuni di sicurezza (CST)**, ossia i *“livelli minimi di sicurezza che devono almeno essere raggiunti dalle diverse parti del sistema ferroviario... e dal sistema nel suo complesso, espressi in criteri di accettazione del rischio”.*

Nella realtà l’intero gruppo FSI non si limita alla sufficienza dettata dai CST, cercando costantemente di raggiungere l’eccellenza nel campo della sicurezza ferroviaria.

Per rispondere agli obblighi dettati dai recepimenti delle Direttive Europee e delle disposizioni ANSF, RFI ha implementato e attuato un Sistema di Gestione della Sicurezza (SGS), ossia

l'insieme organizzativo e operativo che assicura l'esercizio in sicurezza dell'infrastruttura di competenza, sulla base dei CST applicando gli elementi pertinenti dei **metodi comuni di sicurezza (CSM)**, ossia i "*metodi che devono essere elaborati per descrivere come valutare i livelli di sicurezza, la realizzazione degli obiettivi di sicurezza e la conformità con gli altri requisiti in materia di sicurezza*". Il SGS RFI garantisce il controllo di tutti i rischi connessi all'attività aziendale, compresa la manutenzione, i servizi, la fornitura del materiale e il ricorso a imprese appaltatrici. Tiene conto inoltre delle attività svolte sulla rete dalle varie IF e provvede affinché possano operare nel rispetto delle **specifiche tecniche di interoperabilità (STI)** e delle norme nazionali di sicurezza e delle condizioni stabilite dai rispettivi certificati di sicurezza. Tale sistema è inoltre concepito per garantire la gestione delle emergenze in coordinamento con tutte le IF che operano sull'infrastruttura.

Le STI sono quelle specifiche cui è oggetto ciascun sottosistema o parte di un sottosistema, al fine di soddisfare i requisiti essenziali e garantire l'interoperabilità dei sistemi ferroviari transeuropei convenzionali e ad alta velocità.

RFI ha conseguito in via definitiva nel 2014 (con rinnovo su richiesta ogni 5 anni) l'**AUTORIZZAZIONE DI SICUREZZA** da ANSF, la quale attesta l'accettazione da parte dell'ente erogante del SGS e delle misure adottate da RFI per soddisfare i requisiti specifici necessari per la sicurezza della progettazione, della manutenzione e del funzionamento dell'infrastruttura ferroviaria compresi, se del caso, la manutenzione e il funzionamento del sistema di controllo del traffico e del segnalamento.

L'autorizzazione di sicurezza è aggiornata parzialmente o integralmente ogni qualvolta sono apportate modifiche sostanziali all'infrastruttura, al segnalamento o alla fornitura di energia e ai principi che ne disciplinano la manutenzione e il funzionamento. È responsabilità di RFI informare l'ANSF circa le modifiche infrastrutturali rilevanti.

Conseguentemente a quanto riportato sopra, RFI ha dei precisi obblighi e responsabilità nei confronti della sicurezza della circolazione ferroviaria ai quali deve adempiere per ottenere e mantenere l'autorizzazione di sicurezza erogata da ANSF.

Precedentemente al 2007, il Quadro Normativo di Riferimento (QNR) in materia di sicurezza dell'infrastruttura era redatto da RFI su incarico del MIT: le regole erano quindi dettate dallo stesso GI. In ottemperanza alle Direttive Europee, ANSF ha rivisto il QNR facendolo "proprio" e sulla base delle esperienze maturate dalle Ferrovie dello Stato ha emanato (e continua a farlo) una serie di disposizioni che hanno rivisto, modificato, abrogato in parte e sostituito quelle che erano le procedure adottate da tutte le parti componenti il sistema ferroviario.

1.2 QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO DI RFI

Il presente sottocapitolo illustra quali sono le fonti normative e la documentazione di riferimento utili alla comprensione della politica della sicurezza in RFI e alle applicazioni specialistiche proposte nel seguito della presente tesi.

1.2.1 FONTI NORMATIVE IN USO ALLE IMPRESE FERROVIARIE

Le principali normative applicate da RFI e di interesse per le IF sono:

- **Testi normativi** quali: il REGOLAMENTO PER LA CIRCOLAZIONE DEI TRENI (RCT), il REGOLAMENTO SEGNALI (RS), le NORME PER L'ESERCIZIO DELLE APPARECCHIATURE TECNOLOGICHE (NEAT), le NORME PER IL SERVIZIO DEI DEVIATORI IN USO SULL'INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE (NSD), l'ISTRUZIONE PER L'ESERCIZIO DEI PASSAGGI A LIVELLO etc;
- **Disposizioni di esercizio (DE)** in vigore sulla rete RFI, che regolano le procedure di sicurezza, modificano, abrogano o integrano i testi normativi in ottemperanza alle Direttive ANSF: tali disposizioni sono comunque pubblicate apertamente in quanto ad uso degli operatori RFI e delle IF;
- **Prescrizioni di esercizio** aventi validità locale.

In **Allegato 1** vengono descritti nel dettaglio quei riferimenti normativi necessari alla comprensione della tesi.

1.2.2 IL SISTEMA DI GESTIONE DELLA SICUREZZA ADOTTATO DA RFI

Il sistema di Gestione della Sicurezza adottato da RFI include una serie di documenti, procedure, standard, linee guida manuali, mansionari, organigrammi, istruzioni etc che dimostrano l'adeguatezza del sistema stesso rispetto ai requisiti di sicurezza richiesti.

Il macro-obiettivo del SGS di lungo periodo è *far tendere a zero gli incidenti d'esercizio mediante un adeguato approccio di analisi e gestione dei rischi* che, per la sicurezza della circolazione dei treni e dell'esercizio ferroviario, deve consentire il raggiungimento degli obiettivi fissati dal D.Lgs. 162/2007. Per far ciò RFI assicura il più alto livello di sicurezza nelle attività che comportano rischi per i dipendenti, i clienti e la collettività compresa la tutela ambientale, essendo questa concreta espressione della responsabilità d'impresa.

I macro-obiettivi vengono perseguiti attraverso gli obiettivi operativi che vengono aggiornati in funzione dei risultati delle prestazioni di sicurezza registrate, le quali vengono approvate dal

management aziendale (dirigenza), rese chiare, misurabili, verificabili e condivise agli opportuni livelli.

La parte di struttura aziendale interessata dal SGS è rappresentata in *figura 1*.

Ogni blocco ha le seguenti funzioni:

DIREZIONE PRODUZIONE: manutenzione, manovra (preparazione dei treni RFI e mezzi d'opera), manovra navigazione, fornitura di materiali e manutenzione, formazione abilitativa.

DIREZIONE CIRCOLAZIONE: circolazione manovra (ai valichi), monitoraggio anomalità, attivazione flusso comunicativo MIT-ANSF, formazione abilitativa.

DIREZIONE INVESTIMENTI: progettazione e realizzazione nuovi impianti e/o modifica di quelli esistenti.

DIREZIONE TECNICA: normativa di circolazione (disposizioni e prescrizioni di esercizio) e standard tecnici operativi.

DIREZIONE COMMERCIALE: gestione scheda treno e allocazione traccia oraria.

DIREZIONE ACQUISTI: attuazione e gestione procedura di gara, gestione attività negoziali, consolidamento fabbisogni e capitolati tecnici d'acquisto, sistemi di qualificazione fornitori, imprese e prestatori di servizi.

DIREZIONE RISORSE UMANE E ORGANIZZAZIONE: definizione dell'organizzazione, presidi del processo di formazione (qualificazione istruttori).

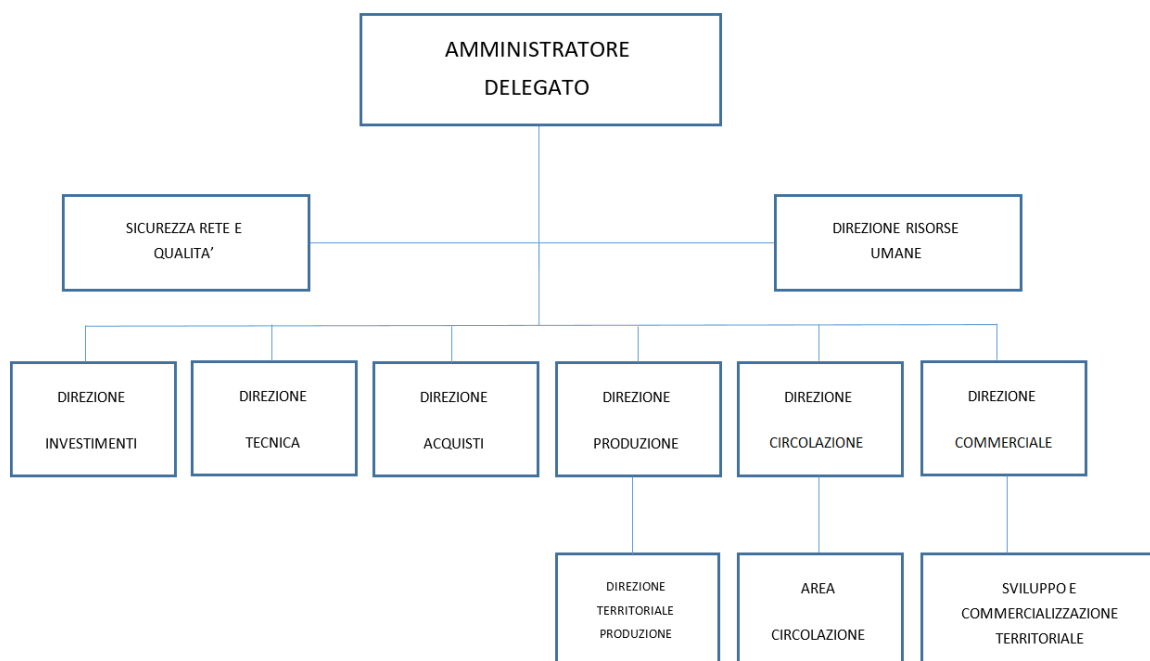


FIGURA 1 PARTE DELL'ORGANIGRAMMA RFI COINVOLTO NEL SGS

Per la progettazione e l'implementazione del SGS RFI ha utilizzato come struttura di base le linee guida riportate nello standard UNI EN ISO 9001 ed. 2015 relativo ai requisiti dei sistemi di gestione della qualità. Le tre tematiche affrontate sono:

- SGS, per la gestione della Sicurezza dell'Esercizio;
- SGL, per la gestione della Sicurezza e Salute sul Lavoro;
- SGA, gestione della Tutela Ambientale.

Ogni tematica ha un manuale di riferimento e quello relativo al SGS è suddiviso in *cinque* parti.

PARTE I, in cui viene formalizzato il campo di applicazione definendo tutte le attività e i processi di RFI che hanno impatto sulla sicurezza della circolazione dei treni e dell'esercizio ferroviario, nonché l'organizzazione coinvolta rappresentata in *figura 1*.

PARTE II, che fornisce una descrizione del modello di funzionamento del SGS basato sul ciclo di Deming (PLAN-DO-CHECK-ACT). La fase **PLAN** definisce i processi necessari per perseguire gli obiettivi in conformità ai requisiti delle norme cogenti volontarie, alle esigenze dei portatori d'interesse e alla Politica nazionale e comunitaria. Nella fase **DO** si attuano i processi di sistema e operativi, dalla manutenzione alla circolazione ferroviaria, ossia quello che abitualmente viene definito ESERCIZIO FERROVIARIO. Il **CHECK** è necessario per monitorare le prestazioni di sicurezza e i processi svolgendo audit, riunioni periodiche dell'andamento della produzione, alle unità produttive nei quali si individuano punti forti, aree di miglioramento e carenze. La fase di **ACT**, forse la più importante, mira a intraprendere le azioni necessarie per perseguire il miglioramento delle prestazioni di sicurezza.

Lo scopo della presente tesi è il *miglioramento*, dimostrando come RFI punti attraverso il rinnovo tecnologico e di sistema non solo a progettare ma anche a migliorare gli impianti già esistenti.

PARTE III, nella quale vengono descritti i processi di sistema, ossia i principi e le modalità attraverso cui RFI tiene sotto controllo i rischi legati alla propria parte di sistema e attua, dove necessario, il miglioramento continuo delle prestazioni. Tali processi sono:

- Monitoraggio e miglioramento;
- Audit;
- Formazione tecnico-professionale del personale;
- Gestione della documentazione e delle informazioni di sicurezza;
- Valutazione e gestione dei rischi, gestione delle modifiche;
- Indagini;
- Gestione delle emergenze.

PARTE IV, nella quale viene descritta la modalità con cui RFI garantisce l'esercizio in sicurezza della circolazione ferroviaria, della manutenzione e del mantenimento in efficienza dell'infrastruttura di propria competenza.

PARTE V, dedicata agli allegati del manuale in cui vengono elencate le descrizioni dettagliate dei processi, i codici dei pericoli gestiti presenti nella Banca Dati Pericoli, i documenti normativi per la realizzazione dei processi, le figure professionali responsabili dei controlli, le competenze specifiche e gli indicatori utili al monitoraggio degli obiettivi.

Concludendo, il SGS adottato da RFI rappresenta un elemento aziendale ormai di consolidata affidabilità nella quale ogni singolo lavoratore ne è parte integrante.

1.2.3 IL PROCESSO DI MONITORAGGIO E MIGLIORAMENTO

Una delle missioni di RFI è il miglioramento continuo delle prestazioni e degli indicatori di sicurezza definiti nel SIGS. Esso viene perseguito attraverso:

- Costante attenzione alla gestione del controllo dei rischi;
- Continuo monitoraggio delle prestazioni di sicurezza;
- Individuazione e attuazione di interventi di miglioramento;
- Riesame del sistema.

RFI ha redatto dei documenti con lo scopo di attuare il processo di individuazione dei pericoli per l'esercizio ferroviario e dei rischi residui ad esso associati durante le attività di esercizio e manutenzione che aiutino a individuare delle azioni volte a perseguire il miglioramento delle prestazioni di sicurezza.

Per la determinazione degli indicatori, necessari all'individuazione delle azioni migliorative, è stato necessario avviare il processo di miglioramento delle prestazioni di sicurezza.

MONITORAGGIO ATTRAVERSO I DATI DI SICUREZZA: ELABORAZIONE ED ANALISI

Per consentire il monitoraggio e il miglioramento dei processi gestiti, le Direzioni Centrali dei processi operativi aventi un impatto sulla sicurezza individuano opportuni indicatori qualitativi e/o quantitativi o un mix di entrambi. L'analisi di tali indicatori permette a RFI di valutare l'efficacia dei propri processi nei riguardi della sicurezza dell'esercizio ferroviario.

In particolare, sono stati individuati dei valori di soglia che permettono di identificare quando i processi sono da ritenersi non soddisfacenti, per cui si rendono necessari degli interventi migliorativi.

INDICATORI PER LA SICUREZZA DELL'ESERCIZIO FERROVIARIO

RFI ha sviluppato una BANCA DATI PERICOLI (BDP nel seguito) nella quale vengono catalogati tutti i pericoli associati all'esercizio ferroviario e per ognuno di essi vengono registrati tutti gli accadimenti a prescindere dal verificarsi di un danno (a persone, cose o ambiente).

Nella BDP gli eventi che hanno provocato danni vengono classificati in accordo con la Direttiva 2014/88/UE, recepita dal DM 26/06/2015. Analogamente sono registrati tutti gli eventi che

vanno sotto il nome di inconvenienti nonché dei precursori di incidenti così come indicato dalla Direttiva.

Tutti gli incidenti per i quali si sono registrati danni alle persone sono valorizzati in termini di **FWSI**, acronimo di Fatality and Weight Serious Injures (Incidenti Mortali e Lesioni Gravi Ponderate), che rappresenta una misurazione delle conseguenze di incidenti gravi che comportano decessi e lesioni gravi, dove 1 lesione grave è considerata sotto il profilo statistico equivalente a 0.1 decessi (= $0,1 \times \text{FWSI}$), secondo la Decisione 2009/460/CE.

Tale valorizzazione consente di calcolare gli **indicatori prestazionali di sicurezza CSI (Common Safety Indicators)** necessari per valutare il raggiungimento degli **obiettivi di sicurezza CST (Common Safety Target)** fissati in sede comunitaria e aventi validità europea.

La decisione 2013/753/UE ha inoltre definito, per ciascun Stato Membro e per ciascun obiettivo europeo (CST) il corrispondente **valore obiettivo nazionale (NRV)**, ossia il livello massimo tollerabile di danno per anno e per quell'indicatore.

L'architettura degli indicatori prestazionali della sicurezza dell'esercizio ferroviario può essere rappresentata come indicato in *figura 2*.

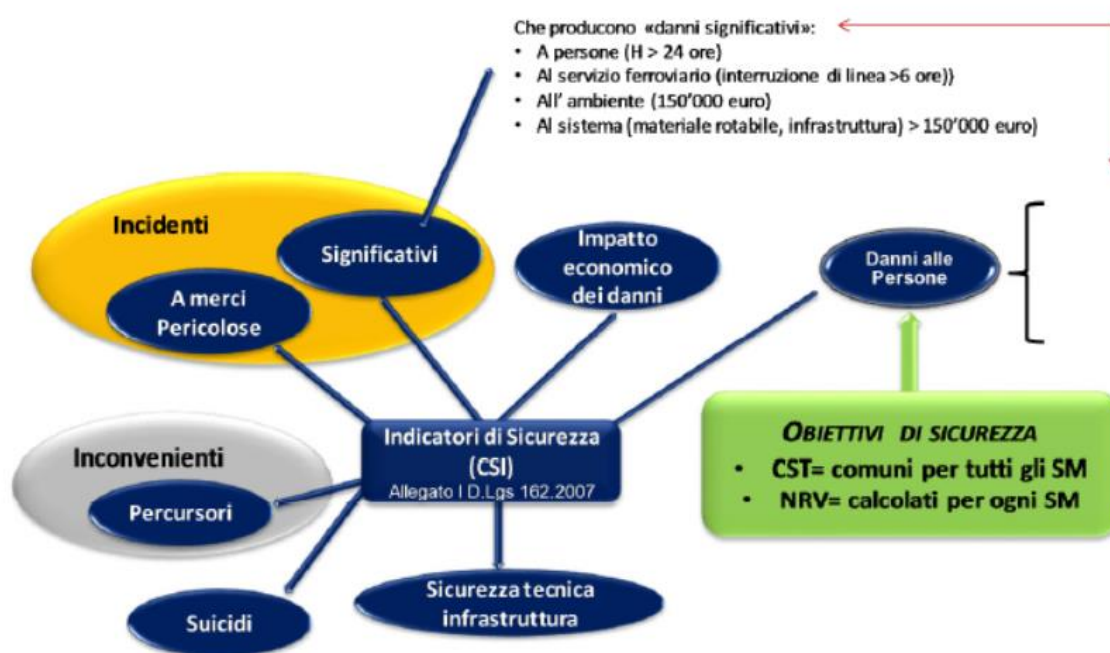


FIGURA 2 ARCHITETTURA DEGLI INDICATORI PRESTAZIONALI DI SICUREZZA

Il calcolo e il monitoraggio di tali indicatori è possibile con i dati presenti nell'applicativo BDP che prende in considerazione tutti e soli gli eventi che coinvolgono la parte di sistema ferroviario gestita da RFI che si sono verificati sull'infrastruttura ferroviaria nazionale.

Gli indicatori per gli incidenti sono:

- Indicatori per il monitoraggio degli incidenti significativi: calcolati per ogni DTP (Direzione Territoriale Produzione) in valore relativo rispetto ai milioni di treno*km (unità di misura che rappresenta lo spostamento di un treno passeggeri su un percorso di un chilometro);
- Indicatori per il monitoraggio degli incidenti complessivi: calcolati per ciascuna DTP in valore relativo rispetto ai milioni di treno*km. Per questo indicatore sono individuati anche:
 - Valore di previsione a fine anno;
 - Valore minimo registrato negli ultimi 4 anni;
 - Valore in media ponderata calcolato con l'algoritmo presentato in **Allegato 2** in accordo con la Decisione CE 460/2009: il periodo di riferimento è l'ultimo quadriennio.
- Indicatori per il monitoraggio degli inconvenienti: calcolati per ciascuna DTP in valore relativo rispetto ai milioni di treno*km con le integrazioni uguali all'indicatore per il monitoraggio degli incidenti complessivi.

I valori degli indicatori compresi fra il valore in media ponderata (ove previsto e calcolato) e il valore minimo degli ultimi 4 anni sono da considerarsi valori in attenzione e pertanto si rende necessaria un'analisi finalizzata all'adozione di misure correttive.

Nel seguito si dettagliano quelli che sono gli indicatori comuni di sicurezza definiti dalla Direttiva 2014/88/UE e utilizzati da RFI per raggiungere i CST e stare al di sotto degli NRV.

INDICATORI RELATIVI A INCIDENTI

1. Numero totale e relativo (per chilometro-treno) di incidenti significativi e suddivisione in base alle seguenti tipologie:
 - Collisione di treno con veicolo ferroviario;
 - Collisione di treno contro ostacolo che ingombra la sagoma libera dei binari;
 - Deragliamento di treno;
 - **Incidente al passaggio a livello, compresi gli incidenti che coinvolgono pedoni ai passaggi a livello, e un'ulteriore ripartizione per i cinque tipi di passaggi a livello (dettaglio nel seguito);**
 - Incidente alle persone che coinvolge materiale rotabile in movimento, eccetto suicidi e tentati suicidi;
 - Incendio a bordo del materiale rotabile;
 - Altro.

Ogni incidente significativo viene comunicato con riferimento al tipo di incidente primario anche nel caso in cui le conseguenze dell'incidente secondario siano più gravi (ad esempio un deragliamento seguito da un incendio).

2. Numero totale e relativo (per chilometro-treno) di persone gravemente ferite e decedute per tipologie di incidente, suddiviso in base alle seguenti categorie:

- Passeggero (anche in relazione al numero totale di passeggeri-chilometri e di passeggeri per chilometro-treno);
- Dipendente o impresa appaltatrice;
- Utilizzatore del passaggio a livello;
- Persona che attraversa indebitamente la sede ferroviaria;
- Altra persona che non si trova sul marciapiede;

INDICATORI RELATIVI A MERCI PERICOLOSE

Numero totale e relativo (per chilometro-treno) di incidenti che coinvolgono il trasporto di merci pericolose per ferrovia, suddiviso in base alle seguenti categorie:

- Incidente che coinvolge almeno un veicolo ferroviario che trasporta merci pericolose;
- Numero di detti incidenti nei quali vengono rilasciate merci pericolose.

INDICATORI RELATIVI AI SUICIDI

Numero totale e relativo (per chilometro-treno) di suicidi e tentati suicidi.

INDICATORI RELATIVI AI PRECURSORI DI INCIDENTI

Numero totale e relativo (per chilometro-treno) di precursori di incidenti e suddivisione in base alle seguenti tipologie di precursore:

- Rotaia rotta;
- Deformazione del binario e altro disallineamento del binario;
- Guasto all'apparato di segnalamento laterale;
- Superamento segnale disposto a via impedita con superamento del punto protetto;
- Superamento segnale disposto a via impedita senza superamento del punto protetto;
- Ruota rotta su materiale rotabile in servizio;
- Assale rotto su materiale rotabile in servizio.

Devono essere comunicati tutti i precursori, sia quelli che hanno dato luogo a incidenti, sia quelli senza conseguenze.

INDICATORI PER IL CALCOLO DELL'IMPATTO ECONOMICO DEGLI INCIDENTI

Costo totale e relativo (per chilometro-treno) in euro:

- Numero di decessi e lesioni gravi moltiplicato per il Valore di prevenzione delle vittime, attribuito dalla società alla prevenzione degli incidenti mortali;
- Costi dei danni all'ambiente;
- Costi dei danni al materiale rotabile o all'infrastruttura;
- Costo dei ritardi conseguenti agli incidenti.

INDICATORI RELATIVI ALLA SICUREZZA TECNICA DELL'INFRASTRUTTURA E DELLA SUA REALIZZAZIONE

1. Percentuali di binari dotati di sistemi di protezione dei treni (Train Protection Systems-TPSs) in funzione e percentuale di chilometri-treno che utilizzano sistemi di protezione dei treni a bordo, se tali sistemi prevedono:
 - Allarme;
 - Allarme e arresto automatico;
 - Allarme e arresto automatico e controllo discreto della velocità;
 - Allarme e arresto automatico e controllo continuo della velocità.

2. Numero di **passaggi a livello** (totale, per chilometro di linea e per chilometro di binari) dei seguenti cinque tipi:
 - Passaggio a livello con misure di sicurezza passiva:
 - Passaggio a livello con misure di sicurezza attiva:
 - Manuale;
 - Automatico con allarme lato utente;
 - Automatico con protezione lato utente;
 - Protetto lato ferrovia.

Per “incidente al passaggio a livello” si intende qualsiasi incidente ai PL che coinvolge almeno un veicolo ferroviario e uno o più veicoli che attraversano i binari, altri utilizzatori che attraversano i binari, quali i pedoni, oppure altri oggetti temporaneamente presenti sui binari o nelle loro vicinanze se smarriti da un veicolo o da un utilizzatore durante l’attraversamento ai binari.

Un **passaggio a livello viene detto passivo** quando non esiste alcuna forma di sistema di allarme o protezione che si attiva quando per l’utente stradale è pericoloso attraversare il passaggio.

Un **passaggio a livello viene detto attivo** quando all’arrivo del treno gli utenti stradali sono protetti o avvertiti mediante l’attivazione di dispositivi quando è pericoloso attraversare il passaggio.

La protezione mediante l’uso di dispositivi fisici comprende:

- Barriere complete o semibarriere;
- Cancelli.

La protezione mediante l’uso di attrezzature fisse comprende:

- Dispositivi visibili: luci;
- Dispositivi sonori: campane, trombe, claxon, etc.

I passaggi a livello sono classificati come segue:

- a) Manuale: quando la protezione o l'allarme lato utente sono attivati manualmente da un dipendente delle ferrovie (in disuso);
- b) Automatici con allarme lato utente: l'allarme è attivato dall'approssimarsi del treno;
- c) Automatici con protezione lato utente: la protezione lato utente è attivata con l'approssimarsi del treno; ciò comprende un PL dotato sia di protezione che di allarme lato utente;
- d) Protetto lato ferrovia: un segnale o un altro sistema di protezione del treno autorizza un treno a procedere se il passaggio a livello è completamente protetto lato utente ed è libero da ostacoli.

Nella Tabella 1 vengono indicati il numero di PL per tipologia e i dati degli indicatori relativi a incidenti avvenuti nel 2018 (Fonte RFI LG 01 1 3).

| SUDDIVISIONE DEI PASSAGGI A LIVELLO IN FUNZIONE DEL TIPO DI PROTEZIONE DEGLI STESSI E RELATIVI INCIDENTI | | | | | | | |
|---|---------------------------------------|------------------------------------|---|--|---------------|--|--|
| TIPO DI PASSAGGIO A LIVELLO | TIPI DI PROTEZIONE | NUM INCIDENTI SIGNIFICATIVI | NUM MORTI IN INCIDENTI SIGNIFICATIVI | NUM FERITI GRAVI IN INCIDENTI SIGNIFICATIVI | NUM PL | PL PER CHILOMETRO DI LINEA (valore/km di linea) | PL PER CHILOMETRO DI BINARIO (valore/km di binario) |
| PL CON MISURE DI SICUREZZA ATTIVE | MANUALE | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,00006 | 0,00004 |
| | AUTOMATICO CON ALLARME LATO UTENTE | 0 | 0 | 0 | 16 | 0,001 | 0,00068 |
| | AUTOMATICO CON PROTEZIONE LATO UTENTE | 1 | 2 | 21 | 3433 | 0,21542 | 0,14496 |
| | PROTETTO LATO FERROVIA | 2 | 2 | 0 | 253 | 0,01588 | 0,01068 |
| | TOTALI (SOMMA DELLE RIGHE PRECEDENTI) | 3 | 4 | 21 | 3703 | 0,23236 | 0,15636 |
| PL CON MISURE DI SICUREZZA PASSIVE | TOTALI | 0 | 0 | 0 | 724 | 0,04543 | 0,03057 |

TABELLA 1 SUDDIVISIONE DEI PL IN FUNZIONE DEL TIPO DI PROTEZIONE E RELATIVI INCIDENTI

Un PL protetto lato ferrovia può essere provvisto di sistemi integrativi quali PAI-PL o TV-PL (come richiesto dalla nota ANSF 5578/2017 del 18/05/2017).

Risulta interessante analizzare l'andamento sia degli Obiettivi Comuni di Sicurezza (CST) che dei Valori di Riferimento Nazionale (NRV) assegnati a RFI. Nella Tabella 2, pubblicata nella Relazione Annuale sulla Sicurezza da RFI per il 2018 e aggiornata al 14/06/2019 sono mostrati gli andamenti degli indici citati.

| Categoria di rischio | Unità di misura | Basi di graduazione | OBIETTIVI | | VALORI REGISTRATI |
|--|---|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| | | | CST Europa ($\times 10^3$) | NRV Italia ($\times 10^3$) | Confronto 2018 RFI ($\times 10^3$) |
| 1.Passeggeri | 1.1 Numero di passeggeri FWSI per anno derivante da incidenti gravi/numero di km-treno passeggeri per anno. | Km-treno passeggeri per anno | 170,00 | 38,10 | 31,33 |
| | 1.2 Numero di passeggeri FWSI per anno derivante incidenti gravi/numero di km-passeggeri per anno | Km-passeggeri per anno | 1,65 | 0,257 | N.D. |
| 2.Dipendenti o Imprese appaltatrici | Numero di dipendenti FWSI per anno derivante da incidenti gravi/numero di km-treno per anno | Km-treno per anno | 77,90 | 18,90 | 11,00 |
| 3.Utilizzatori dei PL | Numero di utilizzatori di PLFWSI per anno derivante da incidenti gravi/numero di km-treno per anno | km-treno per anno | 710,00 | 42,90 | 8,25 |
| 4a.Altra persona sul marciapiede | Numero annuale di FWSI a persone appartenenti alla categoria "altri" derivante da incidenti gravi/numero di km-treno per anno | Km-treno per anno | 14,50 | 6,70 | 0,28 |
| 4b.Altra persona che non si trova sul marciapiede | | | | | |
| Persona che attraversa indebitamente la sede ferroviaria | Numero di FWSI a persone per anno derivante da incidenti gravi/numero di km-treno per anno | Km-treno per anno | 2050,00 | 119,00 | 174,70 |

TABELLA 2 ANDAMENTO DEGLI INDICI PRESTAZIONALI DI SICUREZZA

La Tabella 2 è redatta per cinque categorie di rischio ed è espressa in termini di FWSI. Si noti che l'unica categoria che non ha rispettato gli NRV è "*persona che attraversa indebitamente la sede ferroviaria*" essendo stato superato il valore obiettivo del +46,6%. Nel 2017 tale valore era al $129,13 \times 10^{-9}$ (FWSI/treni-km per anno), con un peggioramento percentuale del +35%. Tali risultati sono tutti riconducibili a investimenti di persone lungo linea che si sono verificati a causa di volontarie infrazioni delle norme comportamentali dettate nel DPR 753/80.

L'ANALISI DELLE CAUSE E LE AZIONI DI MIGLIORAMENTO

Il miglioramento delle prestazioni viene raggiunto attraverso delle AZIONI che in base alla loro tempistica di attuazione si possono suddividere in *immediate e non immediate*.

Le **azioni immediate** sono quelle che devono essere messe in atto subito a valle della manifestazione del pericolo o della non conformità rilevata che crea o può creare pregiudizio alla sicurezza dell'esercizio (anche a quella del personale e dell'ambiente in un'ottica di *sicurezza integrata*). Per la sicurezza dell'esercizio ferroviario dette azioni vengono attuate direttamente dai responsabili dell'esecuzione delle attività di sicurezza (regolatori della circolazione, manutentori, etc).

Le **azioni non immediate** sono quelle che devono essere adottate allorché si manifesta una situazione che potrebbe arrecare pregiudizio alla sicurezza dell'esercizio (e del personale/ambiente) per la quale si rende necessaria un'analisi tesa a rimuoverne la causa nel più breve tempo possibile. Tali azioni vengono normalmente dette correttive e possono essere gestite nell'ambito dei *Piani di Sicurezza*.

Nell'ambito del processo di miglioramento si collocano anche le ANALISI PREVENTIVE, tese a valutare o meno l'esistenza di eventuali rischi derivanti da un aspetto ovvero dalle opportunità derivanti dalla sua gestione.

Nel processo di miglioramento ha rilevanza fondamentale l'ANALISI DELLE CAUSE che hanno portato a eventi indesiderati quali incidenti, inconvenienti, non conformità e near miss.

Nella *figura 3* è rappresentato uno schema logico di accadimento degli eventi indesiderati. In generale nel campo dell'analisi del rischio lo scopo è individuare delle barriere di sicurezza in maniera da ridurre la frequenza di accadimento o l'entità del danno, portando quindi il livello di rischio ad accettabile. Nel campo della sicurezza ferroviaria le misure di sicurezza si distinguono in:

- a) TECNICHE, per le quali occorre sempre fare riferimento alle specifiche tecniche di progettazione e di costruzione;
- b) OPERATIVE, definite dall'insieme di norme e procedure aziendali;
- c) ORGANIZZATIVE, che definiscono l'organizzazione necessaria ad attuare le misure di sicurezza: sono rappresentate dalle politiche aziendali decise dal management.

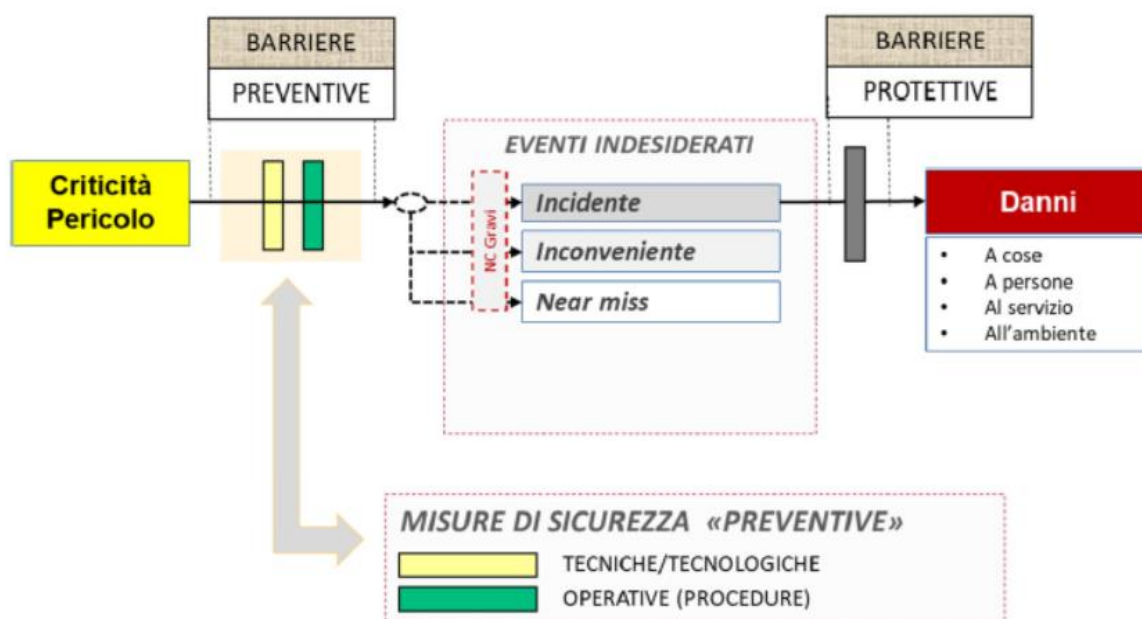


FIGURA 3 ACCADIMENTO EVENTI INDESIDERATI E MISURE DI SICUREZZA

La *figura 3* indica che esistono due tipi di misure: preventive che vanno a diminuire la frequenza di accadimento e protettive diminuendo l'entità dei danni. Nel campo della SICUREZZA LAVORO e TUTELA AMBIENTALE le misure sono generalmente sia protettive che preventive, mentre nel campo della SICUREZZA dell'ESERCIZIO FERROVIARIO le misure sono quasi sempre di tipo preventivo.

Quando si verifica un evento indesiderato è generalmente sempre possibile risalire alle cause che l'hanno generato, ossia a quali misure hanno "fallito". A tale scopo è necessario distinguere tra causa diretta, indiretta e causa a monte:

- CAUSA DIRETTA, fenomeno fisico indesiderato che genera un incidente, inconveniente o near miss;
- CAUSA INDIRETTA, il fenomeno fisico innescante l'evento generalmente è sotteso da misure operative di sicurezza carenti o da inadeguata preparazione degli operatori;
- CAUSA A MONTE, il fenomeno innescante può essere dovuto a disapplicazione totale o parziale delle misure di prevenzione, oppure da misure tecniche presenti ma inefficaci.

Una volta individuate le cause si gestiscono le NON CONFORMITA' attraverso la registrazione e la proposta di correzione; tali attività sono normate dalle procedure SGS di RFI.

1.3 DEFINIZIONE DI UNA GRADUATORIA DI PRIORITA' D'INTERVENTO SUI PL PUBBLICI

In collaborazione con l'Università La Sapienza di Roma RFI ha sviluppato una metodologia per la costruzione di una graduatoria indicante le priorità d'intervento sui PL pubblici. La metodologia aiuta quindi nelle decisioni aziendali come previsto dal SGS con lo scopo di aumentare le prestazioni di sicurezza.

La costruzione della metodologia si è articolata nelle seguenti fasi:

1. Studio preliminare nelle norme di costruzione dei PL volta a individuare le tecnologie disponibili;
2. Raccolta dei dati d'incidentalità rispetto ai pericoli indicati al punto 7 mediante l'utilizzo della Banca Dati Pericoli;
3. Individuazione dei parametri da considerarsi fattori causali in relazione ai pericoli investigati;
4. Raccolta dei dati e analisi degli stessi;
5. Determinazioni dei confini dell'analisi, delle ipotesi, delle assunzioni anche in relazione all'intera popolazione di PL;
6. Analisi di significatività dei fattori causali al variare delle conseguenze degli eventi occorsi in relazione allo specifico pericolo;
7. Sviluppo di indici di rischio per i pericoli "INDEBITA APERTURA DI BARRIERE (PE 32)", "INDEBITO ATTRAVERSAMENTO DI PL DA PARTE DI VEICOLI (PE 43.2)", **"INDEBITO TALLONAMENTO DI PL DA PARTE DI VEICOLI (PE 43.2)"**, "INDEBITO ATTRAVERSAMENTO DI PL DA PARTE DI PEDONI E CICLISTI (PE 44)";

8. Definizione delle graduatorie d'intervento in relazione ai singoli pericoli tipici.

I parametri che vanno a influenzare il livello di rischio sono riportati nella Tabella 3.

| PARAMETRO | DESCRIZIONE |
|------------------------------------|---|
| DISTANZA ROTAIA/BARRIERA VICINA | Minimo valore tra la rotaia e la barriera più vicina espresso in metri |
| DISTANZA TRA LE BARRIERE | Distanza tra le barriere espressa in metri |
| INTENSITÀ TRAFFICO STRADALE | Valore qualitativo dell'intensità del traffico stradale in corrispondenza del PL (intenso, elevato, medio, scarso, inconsistente) |
| N. BINARI PROTETTI | N. binari protetti dalle barriere |
| VELOCITÀ MASSIMA DELLA LINEA | Vel. Max della linea in cui è inserito il PL |
| TIPO DI SISTEMA | Tipologia di sistema di comando e manovra del PL |
| TEMPO DI CHIUSURA | Quantità di tempo per cui il PL resta mediamente chiuso |
| NUMERO DI TRENI GIORNALIERI | Stima del n. di treni interessanti il PL |
| TIPOLOGIA PERICOLO | Codifica come da procedura RFI PSE 01 "Individuazione dei pericoli e valutazione dei rischi" |
| SUB-TIPOLOGIA PERICOLO | Codifica come da procedura RFI PSE 01 "Individuazione dei pericoli e valutazione dei rischi" |
| N. EVENTI ANOMALI | Incidenti o inconvenienti d'esercizio registrati per il PL |
| FWSI | Calcolato in base ai dati delle conseguenze degli eventi |
| DENSITÀ ABITATIVA | Valore in ab/km ² ottenuta da elaborazione cartografica |
| ANGOLO INTERSEZIONE | Misura in gradi dell'angolo di intersezione tra asse stradale e asse ferroviario compresa tra 0° e 90° |
| PRESENZA INTERSEZIONE STRADALE | Presenza o meno di incrocio in prossimità del PL |

TABELLA 3 PARAMETRI DI INFLUENZA DEL LIVELLO DI RISCHIO NELL'ESERCIZIO DI UN PL

Per la determinazione dei dati densità abitativa, angolo d'intersezione e presenza d'incrocio è stato utilizzato un file cartografico importato poi all'interno del software QGIS in maniera da analizzare i PL su più layer cartografici. I dati sulla densità abitativa sono stati ottenuti tramite l'utilizzo dei database ISTAT che forniscono informazioni sui censimenti con aggiornamento al 2011.

Per il parametro densità abitativa si sono suddivisi i PL in quattro categorie di Momento di Traffico (inconsistente, scarso, medio, elevato/intenso) che va a condizionare la priorità d'intervento. In Tabella 4 ne viene indicata la suddivisione.

| DENSITA' ABITATIVA [ab/km ²] | MOMENTO DI TRAFFICO |
|--|---------------------|
| 13521,40 - 7704,25 | INTENSO/ELEVATO |
| 7704,25 - 5964,36 | MEDIO |
| 5964,36 - 550,44 | SCARSO |
| 550,44 – 0,00 | INCONSISTENTE |

TABELLA 4 CATEGORIZZAZIONE DEL MOMENTO DI TRAFFICO

L'angolo d'intersezione strada/ferrovia è proposto secondo due differenti modalità; uno è quello indicato da RFI che lo suddivide in due classi:

- $0^\circ \leq \text{angolo} \leq 80^\circ$;
- $80^\circ < \text{angolo} \leq 110^\circ$, comprendente il parallelismo tra strada e ferrovia.

L'altra modalità tiene conto del reale angolo d'intersezione tra strada e ferrovia considerando la strada con la più scarsa visibilità del PL: si prende in considerazione quindi non solo la parte di attraversamento ma anche la provenienza dei veicoli stradali. Nella *figura 4* è proposta un'intersezione in cui la strada corre parallelamente alla sede ferroviaria per cambiare direzione proprio sul PL: di conseguenza questa risulta essere una condizione svantaggiosa per l'utente stradale aumentando quindi il rischio di indebito attraversamento o tallonamento.



FIGURA 4 PARTICOLARE DI PL CON STRADE PARALLELE INTERSECANTI SULL'ATTRAVERSAMENTO

Per completare l'analisi sono stati raccolti i dati delle anomalie nel periodo 2011-2016 dei singoli PL ed è stato possibile caratterizzare ogni singolo PL con un valore di FWSI (Fatalities and Weighted Serious Injuries) con le seguenti tipologie e sub-tipologie di eventi anomali:

1. Indebita apertura di barriere (PE32);

2. Indebito attraversamento di PL da parte di veicoli (PE43.1);
3. Indebito tallonamento di PL da parte di veicoli (PE43.2);
4. Indebito attraversamento di PL da parte di pedoni e ciclisti (PE44).

Si sono così ottenuti per ogni PL il suo FWSI totale e il numero di eventi anomali, suddivisi per tipologia e sub-tipologia.

Nella Tabella 5 vengono presentati il numero di PL interessati da eventi anomali suddivisi per tipologia.

| Tipologia PL | Numero PL interessati da Situazioni Anomale |
|---|--|
| <i>Passaggio a livello automatico a barriere intere</i> | 312 |
| <i>Passaggio a livello manovrato da AC</i> | 243 |
| <i>Passaggio a livello automatico semibarriere</i> | 34 |
| <i>Passaggio a livello manovrato da posto di guardia</i> | 2 |
| <i>Passaggio a livello semaforizzato</i> | 4 |
| <i>Passaggio a livello senza dispositivi di sicurezza o privato</i> | 7 |

TABELLA 5 NUMERO DI PL INTERESSATI DA EVENTI ANOMALI NEL PERIODO 2011-2016

Nella Tabella 6 vengono proposti il numero di situazioni anomale correlate con i tempi di chiusura dei PL.

| Tempo di chiusura PL | Numero PL interessati da Situazioni Anomale |
|-----------------------------|--|
| <i>0 minuti</i> | 11 |
| <i>2 minuti</i> | 45 |
| <i>3,5 minuti</i> | 223 |
| <i>4,5 minuti</i> | 47 |
| <i>5 minuti</i> | 274 |
| <i>5,5 minuti</i> | 1 |

TABELLA 6 NUMERO DI SITUAZIONI ANOMALE CORRELATE CON I TEMPI DI CHIUSURA

Nella Tabella 7 vengono indicati i tempi di chiusura dei PL nell'arco temporale di osservazione e la correlazione con le situazioni anomale verificatesi.

| Tempo di chiusura Passaggio a livello | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | Media | Rapporto SA e PL |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------------------|
| <i>0 minuti</i> | 1187 | 1161 | 1225 | 1272 | 1256 | 1183 | 1078 | 1194 | 0,01 |
| <i>2 minuti</i> | 129 | 120 | 114 | 120 | 119 | 120 | 114 | 119 | 0,38 |
| <i>3,5 minuti</i> | 1957 | 1954 | 1940 | 1846 | 1641 | 1517 | 1504 | 1765 | 0,13 |
| <i>4,5 minuti</i> | 731 | 721 | 708 | 680 | 633 | 621 | 611 | 672 | 0,07 |
| <i>5 minuti</i> | 1729 | 1715 | 1677 | 1635 | 1579 | 1520 | 1482 | 1619 | 0,17 |
| <i>5,5 minuti</i> | 7 | 12 | 6 | 5 | 3 | 3 | 3 | 5 | 0,20 |
| Totale | 5740 | 5683 | 5673 | 5558 | 5231 | 4964 | 4792 | | |

TABELLA 7 TEMPI DI CHIUSURA DEI PL CORRELATI A SITUAZIONI ANOMALE (SA)

1.3.1 SVILUPPO DELLA METODOLOGIA DI ANALISI

L'analisi ha lo scopo di mettere in correlazione i parametri elencati in Tabella 8 con le situazioni anomale in maniera da identificare i fattori causali di accadimento delle stesse.

Si costruisce poi un indice che serve a stilare la graduatoria determinante la priorità d'intervento sui PL pubblici che va a condizionare il Piano delle Attività Aziendale.

I parametri selezionati caratterizzanti in PL sono stati divisi in diverse classi per dettagliare le correlazioni successive; la Tabella8 propone la suddivisione scelta.

| PARAMETRI SELEZIONATI | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------|---------------|---------|
| Tipologia di passaggio a livello | Automatico barriere intere | Manovrato da AC | Automatico semibarriere | Posto di guardia | Semaforizzato | Privato |
| Velocità massima della linea (km/h) | 0-50 | 51-100 | 101-150 | 151-200 | - | - |
| Numero di treni giornalieri (Treni/giorno) | 0-60 | 61-120 | 121-180 | 181-240 | - | - |
| Tempo di chiusura dei PL (minuti) | 0 | 2 | 3,5 | >3,5 | - | - |
| Velocità in corrispondenza dei PL (km/h) | 0-60 | 61-120 | 121-180 | - | - | - |
| Momento di traffico | Inconsistente | Scarso | Medio | Elevato/intenso | - | - |
| Numero di binari protetto (n) | 1 | 2 | >2 | - | - | - |
| Distanza minima tra la rotaia protetta e la barriera (metri) | 0-5 | 5-15 | >15 | - | - | - |
| Distanza tra le barriere (metri) | 0-15 | 15-35 | >35 | - | - | - |
| Angolo di intersezione più sfavorevole strada/ferrovia (Gradi) | >0 e ≤80 | >80 e <110 | - | - | - | - |
| Posizionamento di incrocio in prossimità (<30 m) del PL (metri) | SI | NO | - | - | - | - |
| Angolo di intersezione più sfavorevole strada/ferrovia (Gradi) | >0 e ≤15 | >15 e ≤40 | >40 e ≤80 | >80 e ≤90 | - | - |
| Densità abitativa in prossimità del PL (ab/km ²) | >0 e ≤200 | >200 e ≤600 | >600 e ≤2000 | >2000 | - | - |

TABELLA 8 SUDDIVISIONE IN CLASSI DEI PARAMETRI CARATTERIZZANTI I PL

La suddivisione in classi aiuta a definire i livelli di rischio e a differenziare le correlazioni successive.

Per valutare la significatività dei parametri utilizzati sono state effettuate le correlazioni tra gli stessi e i pericoli in tre differenti scenari espressi in termini di FWSI, secondo la modalità seguente:

1. Tutti gli eventi anomali associati a uno specifico PE (FWSI ≥0);
2. Numero di eventi anomali con feriti (0 < FWSI < 1);
3. Numero di eventi anomali con morti (FWSI > 1).

La figura 5 propone schematicamente la modalità di correlazione.

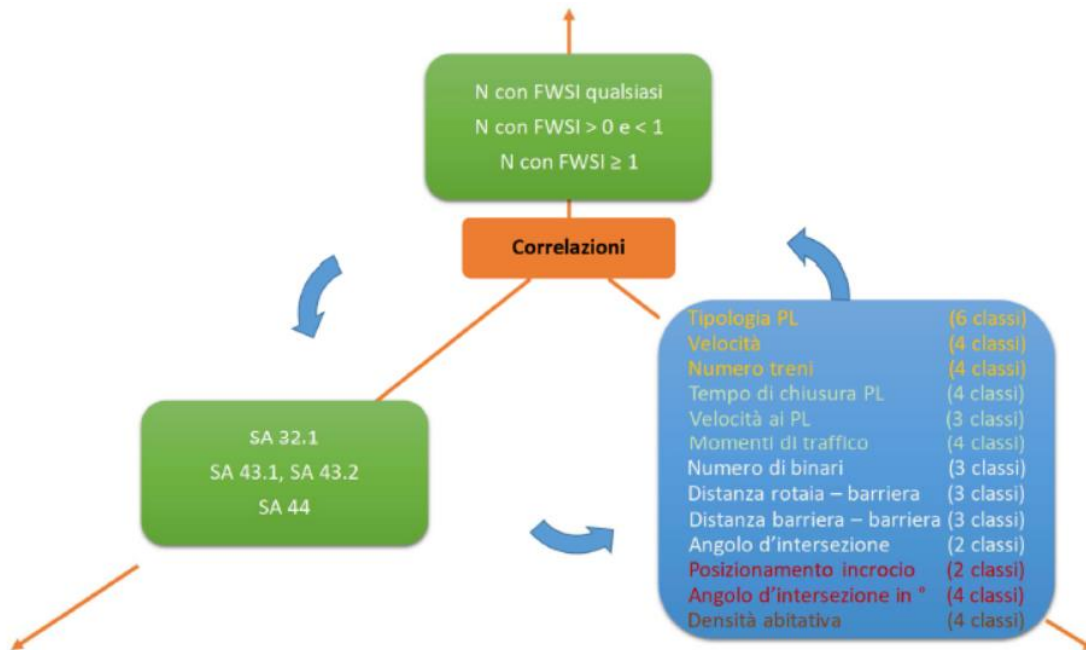


FIGURA 5 MODALITÀ DI CORRELAZIONE TRA I PARAMETRI CARATTERISTICI DEI PL

L'elemento di riferimento con il quale i parametri vengono analizzati è la frequenza di accadimento (su un'osservazione di otto anni) dei PE per ciascuna classe del parametro in questione. La frequenza è stata così calcolata:

$$f = \frac{\text{numero EA associati al PE (in 8 anni)}}{\text{numero totale passaggi treni (in 8 anni)}}$$

Si parte dall'ipotesi che a ogni passaggio treno corrisponda una chiusura e un'apertura del PL, anche se è noto che il PL può rimanere chiuso per più treni.

Relativamente al PE43.2 (indebito tallonamento da parte di veicolo, d'interesse specifico per lo svolgimento della tesi), il gruppo di ricerca dell'Università La Sapienza di Roma ha ottenuto i risultati rappresentati nelle figure 6, 7 e 8.

In *figura 6* nelle ordinate di sinistra si trovano le frequenze di accadimento in relazione alla tipologia di PL, N. treni/giorno e velocità massima della linea (km/h) con **FWSI > 0** (conseguenza qualsiasi); nelle ascisse di destra il numero di EA associati al PE43.2.

In *figura 7* nelle ordinate di sinistra si trovano le frequenze di accadimento in relazione ai tempi di chiusura, velocità ai PL (km/h) e momento di traffico con **FWSI > 0** (conseguenza qualsiasi); nelle ascisse di destra il numero di EA associati al PE43.2.

In *figura 8* nelle ordinate di sinistra si trovano le frequenze di accadimento in relazione a N. binari, distanza rotaia-barriera, distanza barriera-barriera e angolo di intersezione con **FWSI > 0** (conseguenza qualsiasi); nelle ascisse di destra il numero di EA associati al PE43.2.

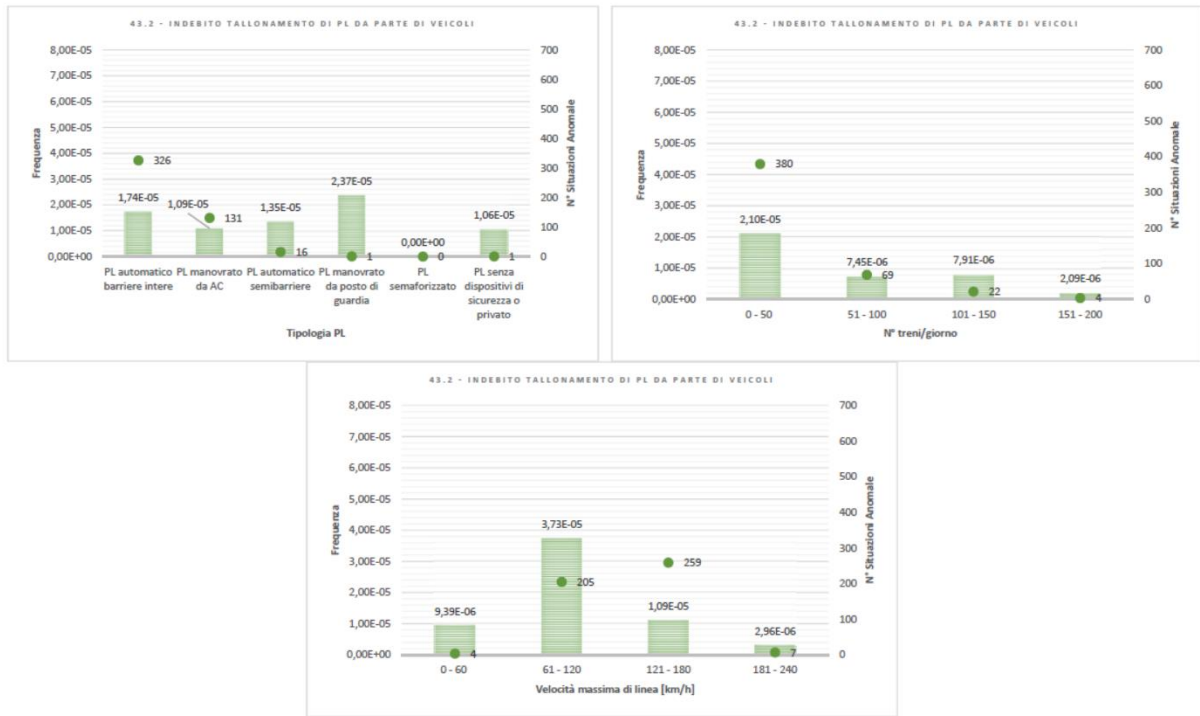


FIGURA 6 FREQUENZE DI ACCADIMENTO RELATIVE AL PE 43.2 CORRELATE A TIPOLOGIA PL, N. TRENI GIORNO E VEL. MASSIMA

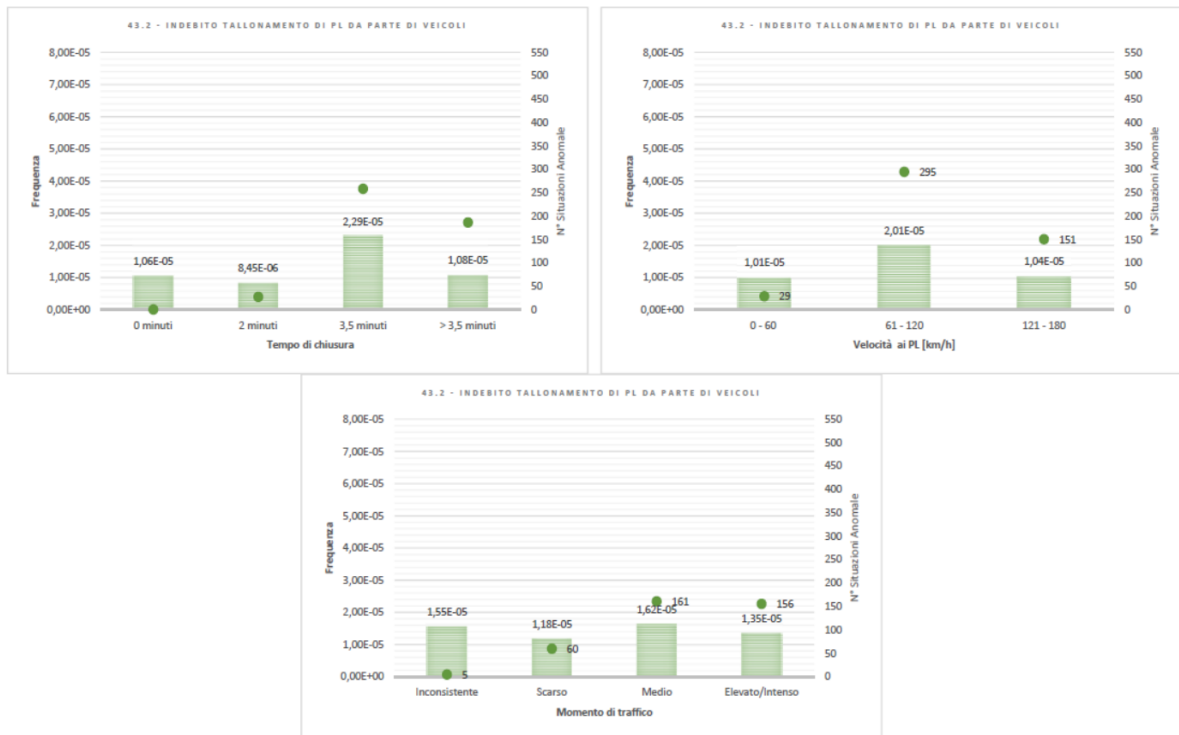


FIGURA 7 FREQUENZE DI ACCADIMENTO RELATIVE AL PE 43.2 CORRELATE A TEMPO DI CHIUSURA, VELOCITÀ AL PL E MOMENTO DI TRAFFICO

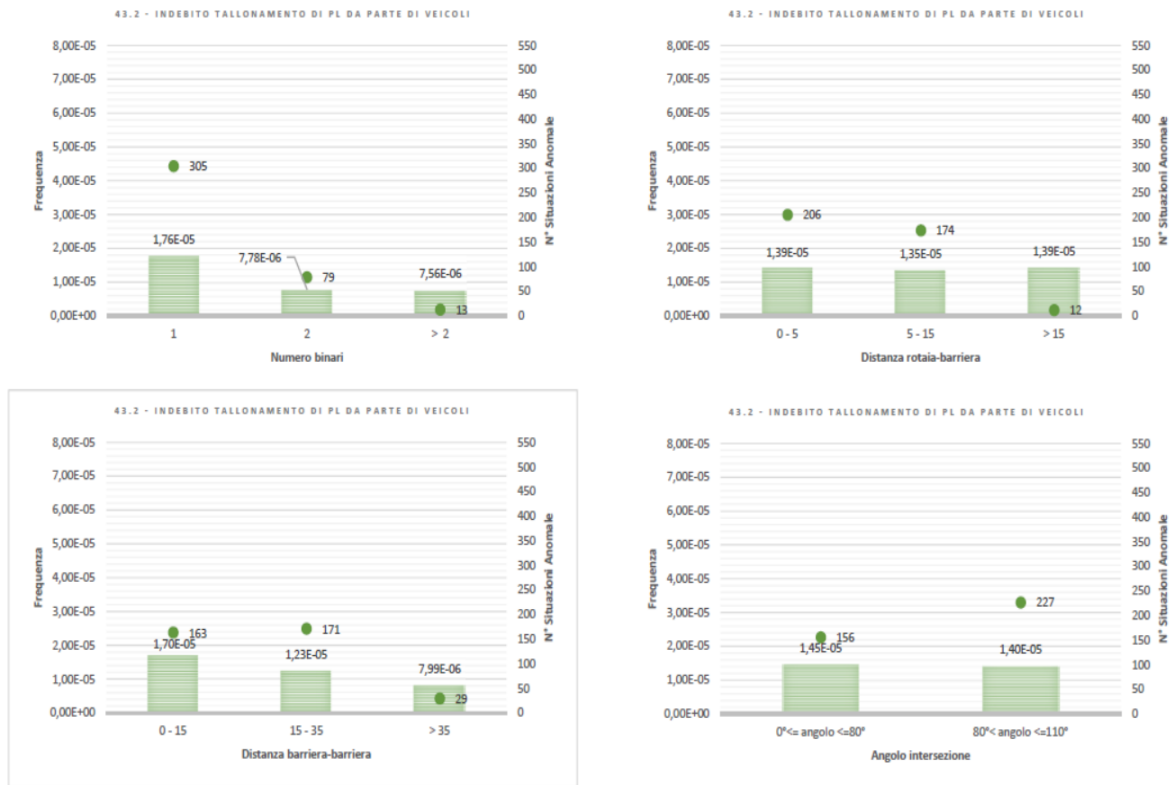


FIGURA 8 FREQUENZE DI ACCADIMENTO RELATIVE AL PE 43.2 CORRELATE A NUM BINARI, DISTANZA ROTAIA-BARRIERA, DISTANZA BARRIERA-BARRIERA E ANGOLO INTERSEZIONE

In *figura 9* nelle ordinate di sinistra si trovano le frequenze di accadimento in funzione del posizionamento in corrispondenza di incrocio stradale (15-20 m) e angolo intersezione in gradi (modalità sviluppata dal gruppo di ricerca de La Sapienza) con **FWSI > 0** (conseguenza qualsiasi); nelle ascisse di destra il numero di EA associati al PE43.2.

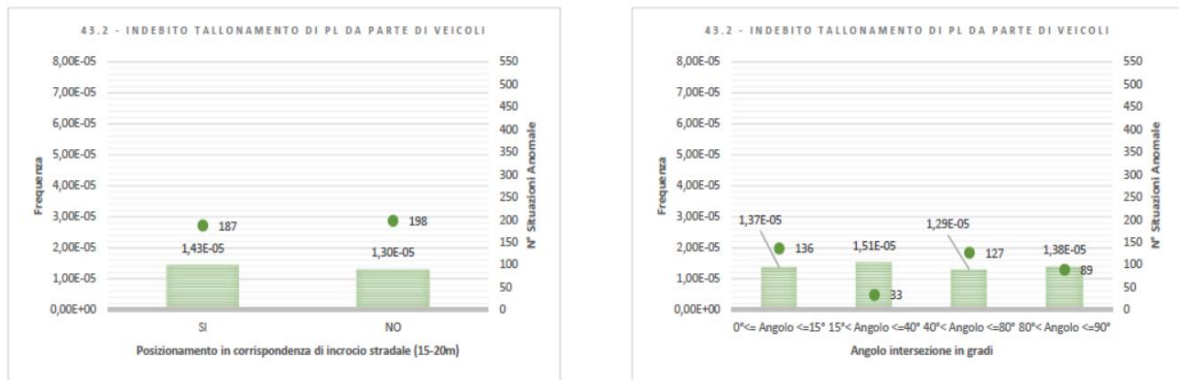


FIGURA 9 FREQUENZE DI ACCADIMENTO IN FUNZIONE DEL POSIZIONAMENTO IN CORRISPONDENZA DI INCROCIO STRADALE E ANGOLO DI INTERSEZIONE

In *figura 10* nelle ordinate di sinistra si trovano le frequenze di accadimento in relazione alla densità abitativa (ab/km^2) con **FWSI > 0** (conseguenza qualsiasi); nelle ascisse di destra il numero di EA associati al PE43.2.

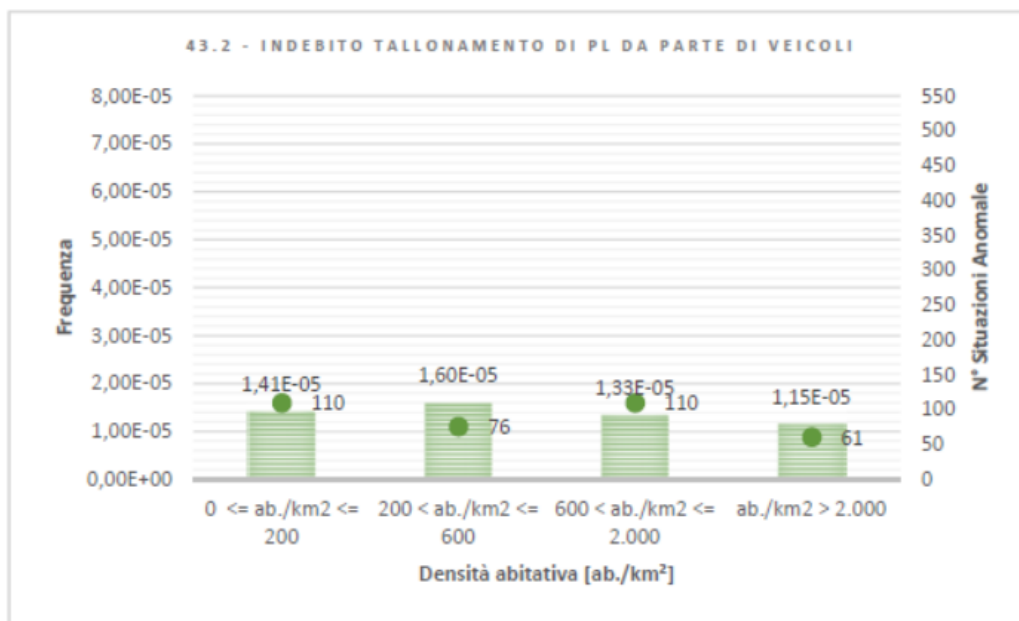


FIGURA 10 FREQUENZE DI ACCADIMENTO IN RELAZIONE ALLA DENSITÀ ABITATIVA CON FWSI > 0

Non vengono riportati i grafici parametrizzati da $0 < \text{FWSI} < 1$ e $\text{FWSI} > 1$, rimandando per completezza al documento *RFI DTC LGSE 02 1 0* e suoi allegati.

L'analisi delle correlazioni ha permesso di indentificare i parametri significativi, sia propri della funzionalità del PL (tipologia e tempo di chiusura) che esogeni, ossia propri del contesto in cui sono inseriti (numero treni/giorno, velocità linea, densità abitativa, momento di traffico).

La Tabella 9 propone le correlazioni più significative utili a individuare le priorità d'intervento.

| PERICOLO | FATTORI CAUSALI IN BASE ALLE FREQUENZE (E-06) |
|---|---|
| PE 32 INDEBITA APERTURA DELLE BARRIERE | I. FWSI ≥ 0 N.° treni/giorno: 0+50 (f=14,5) |
| PE 43.1 INDEBITO ATTRAVERSAMENTO DI PL DA PARTE DI VEICOLI | I. FWSI ≥ 1 densità abitativa: 200+600(f=60,8) II. FWSI ≥ 0 tempo di chiusura: 3,5 (f=30,5) III. FWSI ≥ 0 intensità di traffico stradale: elevato/intenso (f=30,1) IV. FWSI ≥ 0 tipologia di PL: barriere intere (f=29,6) V. $0 < \text{FWSI} < 1$ densità abitativa: 0+200 (f=15,3) VI. FWSI ≥ 0 velocità massima linea: 121+180 (f=7,9) |
| PE 43.2 INDEBITO TALLONAMENTO DI PL DA PARTE DI VEICOLI | I. FWSI ≥ 0 velocità massima linea: 31+120 (f=37,3) II. FWSI ≥ 0 N.° treni/giorno: 0+50 (f=21,0) |
| PE 44 INDEBITO ATTRAVERSAMENTO DI CICLISTI E PEDONI | 1. FWSI ≥ 0 N.° treni/giorno: 0+50 (f=11,7) |

TABELLA 9 CORRELAZIONI SIGNIFICATIVE TRA PERICOLI E PARAMETRI CARATTERISTICI DEI PL

L'analisi dei risultati aiuta a capire che l'indebito tallonamento è riconducibile principalmente al momento di traffico, alla velocità al PL e ai tempi di chiusura. La variazione di densità abitativa

sembra non avere influenza sulla frequenza di accadimento. Gli eventi anomali associati al PE43.2 sono in gran parte dovuti a infrazioni volontarie del codice della strada, causa la fretta e la distrazione degli utenti stradali. È ipotizzabile che il tempo di chiusura medio di un PL influisca sulla decisione di rispettare le segnalazioni ottico/luminose che si attivano prima della chiusura delle barriere: tale problema può essere affrontato con un programma di diffusione della cultura della sicurezza nell'attraversamento dei passaggi a livello.

1.3.2 DEFINIZIONE DEGLI INDICI DI PRIORITA'

Sulla base delle analisi effettuate sono stati definiti degli indici di priorità che sono in grado di soddisfare le esigenze di classificazione dei PL in graduatoria di priorità d'intervento.

La classificazione prioritaria è basata sulla sequenza di parametri discriminanti applicati, per ciascun PL come segue:

$$I_{R(PEi)} = I_{1(PEi)} \rightarrow I_{2(PEi)} \rightarrow IP_{(PEi)k}$$

$$I_{R(PL)} = \sum_{i=1}^4 [N^{\circ}EA(PEi)] \rightarrow \sum_{i=1}^4 [FWSI(PEi)] \rightarrow \sum_{i=1}^4 [I_{2(PEi)}]$$

In cui:

- $I_{1(PEi)}$ → indice primario o indice di incidentalità per ogni singolo PL;
- $I_{2(PEi)}$ → indice secondario o indice di fattore causale per singolo PE;
- $IP_{(PEi)k}$ → indice di prossimità per singolo PE in relazione alla k-esima variabile significativa numerica;
- $I_{R(PEi)}$ → indice di ranking per singolo PL;
- $I_{R(PL)}$ → indice globale di ranking per PL.

L'indice $I_{1(PEi)}$ primario viene calcolato sulla base dei dati estratti dalla BDP considerando a un livello di priorità più alto un PL che ha registrato il maggior numero di eventi incidentali e, a parità di eventi occorsi per ciascun pericolo, si tiene conto del maggior numero di conseguenze valutate in FWSI.

L'indice secondario $I_{2(PEi)}$ viene creato per ogni PL sommando le **FREQUENZE ATTESE** di eventi anomali associate al valore dei parametri individuati nella Tabella 9 e calcolati in fase di analisi delle correlazioni descritte in 1.3.1.

In Tabella 10 vengono riportate le *frequenze attese* per ogni tipologia di pericolo e classe del parametro significativo.

| TIPO PE | PARAMETRI SELEZIONATI | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------|--|------------------------------|-----------------|-------------------------|------------------|---------------|--|
| PE 43 | NUM.TRENI GIORNALIERI (treni/giorno) FWSI > 0 | 0-50 | 51-100 | 101-50 | 151-200 | - | - |
| | FREQUENZA ATTESA | 1,45e-05 | 4,82e-06 | 0 | 0 | - | - |
| PE 43 | DENS ABIT PROSSIMITÀ (ab/km ²) FWSI > 1 | 0< X <= 200 | 200<X<=600 | 600<X<=2000 | >2000 | - | - |
| | FREQUENZA ATTESA | 7,19e-06 | 6,08e-05 | 3.14E-060 | 9,47e-0.6 | - | - |
| PE 43 | T CHIUSURA PL (minuti) FWSI > 0 | 0 | 2 | 3,5 | > 3,5 | - | - |
| | FREQUENZA ATTESA | 9,01e-06 | 1,95e-05 | 3,05e-05 | 2,16e-05 | - | - |
| PE 43 | INTENSITÀ TRAFFICO STRADALE FWSI > 0 | INCONSISTENTE | SCARSO | MEDIO | ELEVATO/INTENSO | - | - |
| | FREQUENZA ATTESA | 1,31e-05 | 9,96e-06 | 1,54e-05 | 3,01e-05 | - | - |
| PE 43.1 | TIPOLOGIA PL FWSI > 0 | AUTOMATICO O BARRIERE INTERE | MANOVRATO DA AC | AUTOMATICO SEMIBARRIERE | POSTO DI GUARDIA | SEMAFORIZZATO | PRIVATO/SENZA DISPOSITIVI DI SICUREZZA |
| | FREQUENZA ATTESA | 1,53e-05 | 1,51e-05 | 4,28E_06 | 0 | - | - |
| | DENS ABIT PROSSIMITÀ DEL PL (ab/km ²) 0<FWSI < 1 | 0< X <= 200 | 200<X<=600 | 600<X<=2000 | >2000 | - | - |
| | FREQUENZA ATTESA | 1,53e-05 | 1,51e-05 | 4,25e-06 | 0 | - | - |
| | VELOCITÀ MASSIMA (km/h) FWSI => 0 | 0-60 | 61-120 | 121-180 | 181-240 | - | - |
| | FREQUENZA ATTESA | 1,01e-05 | 7,07e-06 | 7,86e-06 | 1,61E-06 | - | - |
| PE 43.2 | VELOCITÀ MASSIMA (km/h) FWSI => 0 | 0-60 | 61-120 | 121-180 | 181-240 | - | - |
| | FREQUENZA ATTESA | 9,39e-06 | 3,73e-05 | 1,09e-05 | 2,96e-06 | - | - |
| | TRENI GIOR (treni/giorno) FWSI > 0 | 0-50 | 51-100 | 101-50 | 151-200 | - | - |
| | FREQUENZA ATTESA | 2,10e-05 | 7,45e-06 | 7,91e-06 | 2,09e-06 | - | - |
| PE 44 | TRENI GIOR (treni/giorno) FWSI > 0 | 0-50 | 51-100 | 101-50 | 151-200 | - | - |
| | FREQUENZA ATTESA | 1,17e-05 | 6,02e-06 | 4,23e-06 | 3,30e-06 | - | - |

TABELLA 10 FREQUENZE ATTESE PER PERICOLO E CLASSE DI PARAMETRO SIGNIFICATIVO

L'indice di prossimità $IP_{(PEi)k}$ viene calcolato per ogni PL considerando la differenza in valore assoluto tra il valore della variabile significativa per quel pericolo e per quel PL e il valore medio della classe significativo (per esempio il parametro Num. treni/giorno per i PE32, PE 43.2 e PE 44 risulta significativo nella classe 0-50 treni giorno e il valore medio è 25 treni/giorno).

L'indice di ranking è calcolato per specifico PE e per singolo PL ed è frutto dell'ordinamento progressivo dei singoli PL nella graduatoria, in base ai valori ordinatamente assunti dagli indici $I_{1(PEi)}$, $I_{2(PEi)}$ e $IP_{(PEi)k}$.

Quindi, nel caso due PL abbiano lo stesso valore di indice primario e secondario, il PL con valore più basso di indice di prossimità, a partire dalla variabile più significativa ovvero con frequenza attesa più elevata, lo pone in priorità rispetto all'altro.

L'indice globale di ranking contiene i differenti ordinamenti dello specifico PL ed è calcolato come somma degli indici I_1 e I_2 che quel PL assume in ciascuna graduatoria. Tale modello è quindi soggetto a variazioni derivanti dalle modifiche infrastrutturali della rete RFI.

Si è quindi riusciti a costruire una graduatoria d'intervento per ogni tipo di pericolo che aiuta RFI a pianificare le attività di miglioramento della sicurezza di tali sistemi.

1.3.3 MISURE DI MITIGAZIONE PREVISTE PER IL MIGLIORAMENTO DELLA SICUREZZA DEI SISTEMI PL

La Relazione sulla Sicurezza 2018 edita da RFI pubblica e consegnata all'ANSF, individua le azioni da intraprendere per il miglioramento della sicurezza dei sistemi PL. In particolar modo i progetti perseguiti in attuazione nel Piano di Sicurezza 2019 sono:

- Interventi infrastrutturali per PL (sottopassi o cavalcavia);
- Verifiche ai PL (Manutenzione Ordinaria);
- Interventi mitigativi per la sicurezza dei PL in consegna agli utenti (PRIVATI);
- Rilascio abilitazioni MI.IS.PL (interventi formativi sulla manutenzione dei PL);
- Monitoraggio degli interventi di mitigazione previsti per i rischi di attraversamento PL in consegna agli utenti;
- Installazione di sistemi sperimentali PAI-PL;
- Attrezzaggi PL con tecnologie atte a mitigare specifici rischi (grembiali, PEPL, PR-PLP, PAI-PL, etc);
- Trasformazione dei PL a semibarriere in PL a barriere complete e relativi attrezzaggi tecnologici.

Gli interventi finalizzati all'incremento della sicurezza dei sistemi PL sono:

1. CARTELLO PER CONSENTIRE IL TALLONAMENTO DELLE BARRIERE IN CASO DI INTRAPPOLAMENTO: RFI ha definito un apposito segnale atto a consentire il

tallonamento delle barriere in caso di intrappolamento; tale soluzione è attualmente al vaglio del MIT e del DIGIFEMA per l'autorizzazione all'installazione.

2. **PROVVEDIMENTI DI MITIGAZIONE PER INDEBITA APERTURA PL:** è stato progettato e sperimentato un Pedale Elettronico per Passaggio a Livello per assicurare per alcuni tipi di PL che la liberazione non avvenga dopo un tempo prefissato dal rilevamento assi del pedale di liberazione, ma solo quando il treno è uscito da un apposito circuito di binario.
3. **BARRIERE NON AGGIRABILI DAI PEDONI:** attraverso l'installazione di un grembiale, ossia una struttura modulare in materiale non ferroso che viene ancorata alle barriere del PL si riducono notevolmente gli attraversamenti indebiti di pedoni e ciclisti, essendo questo un ottimo deterrente.

In *figura 11* vi è un esempio di grembiale installato su una barriera per passaggio a livello.



FIGURA 11 BARRIERE DI UN PL CON APPLICATI I GREMBIALI

4. **DISPOSITIVI PAI-PL:** già menzionati in precedenza, sono sistemi che hanno lo scopo di rilevare la presenza di autoveicoli, immobili o in movimento all'interno dell'area delimitata dalle barriere chiuse.
5. **APPLICAZIONE DELLA FUNZIONE INFILL/Vri10 SU SPECIFICI PL ED EVENTUALE APPLICAZIONE CODICE INFILL:** detto sistema è diretta applicazione nella soluzione proposta dalla seguente tesi e se ne darà spiegazione in seguito.

CAPITOLO 2

METODOLOGIE DI ANALISI DEL RISCHIO PER L'ESERCIZIO FERROVIARIO

In questo capitolo vengono illustrate le modalità di analisi del rischio adottate da RFI utili a portare a un livello accettabile i rischi, partendo dalla classificazione data dalla Banca Dati Pericoli. Verranno illustrate le metodologie denominate Fault Tree Analysis (FTA) ed Event Tree Analysis (ETA) necessarie a valutare le frequenze di accadimento dei Top Event (Scenari Incidentali) e delle conseguenze associate.

2.1 IL PROCESSO DI ANALISI DEL RISCHIO

Il processo di Analisi del Rischio in genere, sia che si tratti di processi chimici, industriali, impianti elettrici o sistemi ferroviari, può essere schematicamente rappresentato come in figura 12.

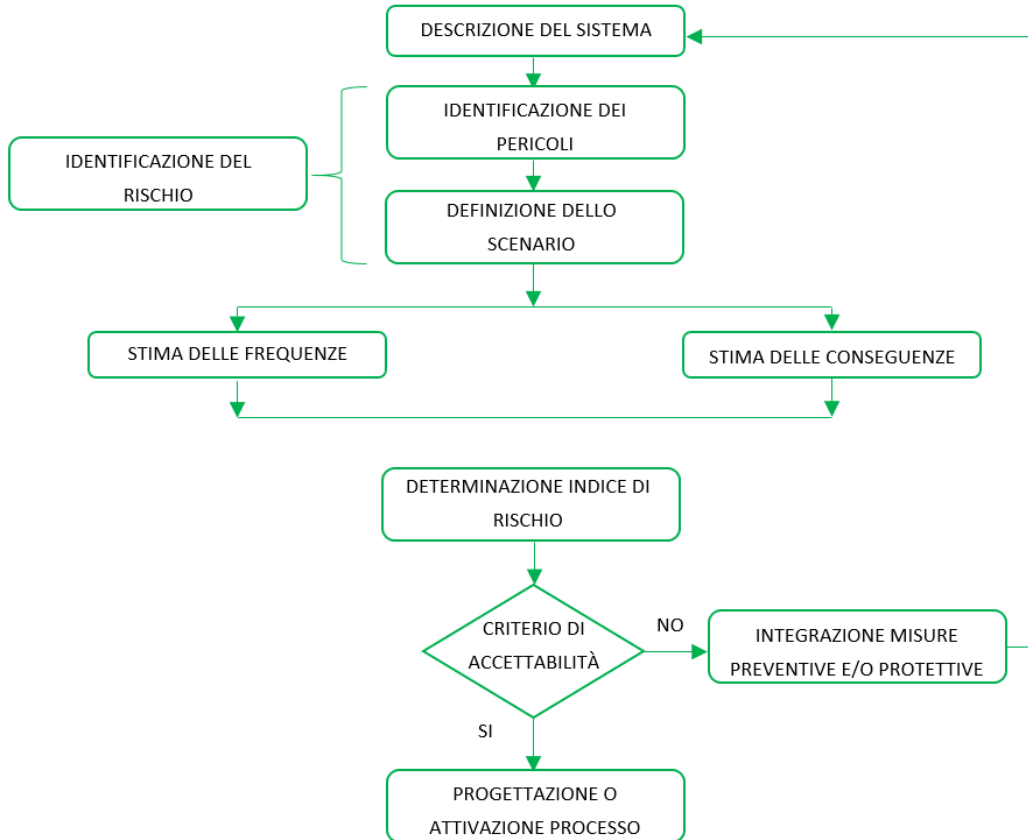


FIGURA 12 PROCESSO DI ANALISI DEL RISCHIO

La DESCRIZIONE del sistema comprende lo studio dettagliato del processo attraverso l'analisi dei dati, degli schemi di principio, delle attività manutentive e dell'organizzazione del lavoro. Nel caso dell'esercizio di un sistema PL si andranno a rilevare i dati statistici già esistenti come trattato nel capitolo precedente, si studierà a fondo la tipologia di PL e le modalità di comando e controllo utilizzandone gli schemi di riferimento.

L'IDENTIFICAZIONE DEI PERICOLI è uno stadio fondamentale del processo e necessita di una accurata conoscenza del sistema produttivo e delle caratteristiche dei componenti (anche umani se previsti). Tale attività, per quanto concerne i processi RFI, è già disponibile nella Banca Dati Pericoli in quanto messa in servizio dal 01/01/2001 (allora denominata Banca Dati Sicurezza e Banca Dati Incidentalità) e implementata secondo gli standard forniti dall'Union International des Chemins de Fer (UIC) e successivamente dall'Union Europea (UE).

La DEFINIZIONE DELLO SCENARIO mira a rappresentare quale evento (Top Event) si può verificare in seguito a errori, malfunzionamenti, mancata gestione, cattiva organizzazione del sistema in esame.

Identificazione dei pericoli e definizione dello scenario incidentale rappresentano la fase d'IDENTIFICAZIONE DEL RISCHIO che, in particolar modo nell'industria di processo, si sviluppa attraverso le seguenti metodologie:

- **ANALISI INCIDENTALE STORICA**, metodo qualitativo che si basa sulla raccolta di incidenti simili a quello ipotizzato avvenuti su impianti uguali, luoghi uguali, condizioni climatiche simili etc. Le banche dati sono essenziali per questo metodo e devono essere dettagliate al punto giusto, con un numero significativo di eventi raccolti, contenendo anche i quasi incidenti;
- **HAZOP (Hazard and Operability Study)**, metodo sistematico che consente di identificare le sequenze di guasti e malfunzionamenti che conducono a un Top Event, permettendo di isolare gli elementi critici di un sistema. Se ne darà una descrizione dettagliata in seguito essendo una delle metodologie utilizzate da RFI per lo sviluppo e la realizzazione degli impianti di segnalamento ferroviario;
- **FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)** e **FMECA (Failure Mode, Effect and Criticality Analysis)**, sono metodologie quanti-qualitative sistematiche come la precedente che suddividono il sistema in celle elementari e permettono di raggiungere direttamente la frequenza di guasto. Sono particolarmente indicate per la parte elettriche dei sistemi di controllo e per gli impianti elettrici in genere;
- **WHAT IF?**, metodologia qualitativa che consiste nella risposta a domande che riguardano l'effetto di eventi indesiderati sul sistema (es: che accade se il segnale stradale di un PL non si accende al rosso?). Attraverso la schematizzazione del sistema si fanno le ipotesi incidentali sulla base dell'esperienza del gruppo di lavoro: ne risulta un'analisi meno dettagliata ma sicuramente meno costosa delle precedenti, per tale motivo è spesso integrata da altre metodologie;

- **FTA (Fault Tree Analysis)**, analisi quanti-qualitativa presentata come un procedimento logico basato sull'algebra booleana. Partendo dal top-event ci si chiede cosa può averlo causato e per ognuno dei possibili n eventi causa del TOP è a sua volta causato da m eventi ottenendo un Albero dei Guasti in cui i singoli elementi sono collegati tra di loro da porte logiche (AND, OR, NOT, etc). Tale metodologia sarà dettagliata nel prosieguo del testo;
- **ETA (Event Tree Analysis)**, analisi quanti-qualitativa simile alla precedente ma si parte dall'evento iniziatore (Top Event) per valutare quali eventi conseguenti possono da esso scaturire. Tale tecnica verrà ripresa nel seguito.

La STIMA DELLE FREQUENZE è un'analisi quantitativa che può essere dedotta da letteratura e banche dati, o sviluppando modello analitico-probabilistici (come nel caso visto in 1.3 "Metodologia per la definizione di una graduatoria di priorità d'intervento sui PL pubblici"). Attraverso la costruzione dell'albero dei guasti e l'utilizzo delle regole dell'algebra booleana si possono dettagliare le frequenze di accadimento per i Top Event emersi.

La Tabella 11 illustra le definizioni e gli intervalli di probabilità/frequenza tipici dell'analisi del rischio con la quantificazione associata.

| F | DEFINIZIONE E INTERVALLI PROBABILITÀ FREQUENZA | |
|---|--|--|
| 1 | INVEROSIMILE | Estremamente improbabile che accada. Si può assumere che la situazione pericolosa possa non verificarsi. |
| 2 | IMPROBABILE | Improbabile che accada ma possibile. Si può assumere che la situazione pericolosa possa presentarsi eccezionalmente. |
| 3 | REMOTO | Probabile che accada qualche volta nella vita del sistema. Ci si può ragionevolmente aspettare che la situazione pericolosa si presenti. |
| 4 | OCCASIONALE | Probabile che accada parecchie volte.ci si può aspettare che la situazione pericolosa si presenti parecchie volte. |
| 5 | PROBABILE | Accadrà parecchie volte. Ci si può aspettare che a situazione pericolosa si presenti spesso. |
| 6 | FREQUENTE | Probabile che accada frequentemente. La situazione pericolosa si presenterà continuamente. |

TABELLA 11 FREQUENZE DI ACCADIMENTO TIPICHE

La STIMA DELLE CONSEGUENZE mira alla determinazione e alla quantificazione degli effetti di un evento incidentale in termini di danni a persone, cose e ambiente.

In Tabella 12 vengono illustrate le scale di classificazione del danno tipiche dell'analisi del rischio.

| D | DESCRIZIONE DANNO/CONSEGUENZA | |
|---|-------------------------------|---|
| 1 | INSIGNIFICANTE | Danno leggero al sistema |
| 2 | MARGINALE | Ferimento leggero di una o più persone e/o un'importante minaccia per l'ambiente e un danno grave a uno o più sistemi |
| 3 | CRITICO | Lesione grave di una persona e/o importante danno all'ambiente e/o perdita di un sistema principale |
| 4 | CATASTROFICO | Morte di una o più persone, ferimento grave di una persona o danni ingenti all'ambiente |

TABELLA 12 DANNI/CONSEGUENZE TIPICI

Una volta definito per ogni evento la classe di frequenza o probabilità (F/P) e la gravità potenziale del danno (D), è possibile definire tramite il prodotto di queste due quantità l'entità del rischio relativo all'evento in esame: tale fase prende il nome di DETERMINAZIONE DELL'INDICE DI RISCHIO.

$$R = P \times D$$

La formulazione matematica permette di comprendere che all'aumentare della probabilità di accadimento di un evento e all'aumentare della classe di danno il rischio aumenta: si tratta dunque di una grandezza di natura probabilistica.

Dalle fasi precedenti si possono costruire delle matrici di rischio che aiutano nella valutazione dell'accettabilità o meno del rischio, applicando i criteri stabiliti dal management. Un esempio di matrice di rischio è riportato in Tabella 13

| MATRICE DI RISCHIO | | CONSEGUENZE | | | |
|--------------------|------------------|--------------------|---------------|--------------|-------------------|
| | | Insignificanti (1) | Marginali (2) | Critiche (3) | Catastrofiche (4) |
| FREQUENZE | Frequente (6) | 6 | 12 | 18 | 24 |
| | Probabile (5) | 5 | 10 | 15 | 20 |
| | Occasionale (4) | 4 | 8 | 12 | 16 |
| | Remoto (3) | 3 | 6 | 9 | 12 |
| | Improbabile (2) | 2 | 4 | 6 | 8 |
| | Inverosimile (1) | 1 | 2 | 3 | 4 |

TABELLA 13 MATRICE DI RISCHIO TIPICA

La cella color *verde* comprende il range numerico [1-3] e corrisponde a eventi trascurabili, che non richiedono interventi mitigativi. I sistemi e le modalità di gestione presenti durante l'analisi sono sufficienti a garantire un controllo ottimale dei rischi.

La cella color *gialla* comprendente il range numerico [4-8] corrisponde a eventi tollerabili ma sono richiesti interventi migliorativi: sono necessari in questa situazione controlli adeguati.

La cella color *rosso* comprende il range numerico [9-24] e corrisponde a un evento non accettabile, è quindi necessario attuare delle modifiche al sistema o inserire misure per l'eliminazione dei rischi.

2.2 CRITERI ADOTTATI DA RFI PER L'IDENTIFICAZIONE DEI PERICOLI E LA VALUTAZIONE DEI RISCHI

Di seguito vengono descritte le modalità con cui RFI effettua le analisi del rischio sui sistemi e processi di propria competenza, con un focus sulle metodologie di analisi specifiche per i sistemi di sicurezza e segnalamento.

2.1.1 INDIVIDUAZIONE DEI PERICOLI E BDP

Nel capitolo 1 si sono menzionati gli strumenti con i quali RFI garantisce un esercizio sicuro dell'infrastruttura ferroviaria di competenza. Tra questi troviamo la Banca Dati Pericoli (BDP) e il Sistema di Gestione della Sicurezza (SGS). In particolare modo nella banca dati pericoli vengono registrati informazioni quali *danni* (a persone, ambiente, materiale rotabile, terzi, al servizio), esatta *localizzazione* di ogni singolo evento, *codice* della norma eventualmente disattesa, *codice dell'errore umano* eventualmente individuato nonché *descrizione dettagliata* del singolo evento verificatosi.

Per ogni singolo pericolo viene individuato un Responsabile della Gestione dei Pericoli (RGP) che progetta, adotta e attua tutte le misure necessarie per evitare il verificarsi di un evento indesiderato (barriere o misure di sicurezza preventive) e nel caso di danni anche tutte le misure tese a limitare i danni (barriere protettive).

I sistemi oggetto dell'identificazione dei pericoli sono individuati nel D.Lgs 191/2010 di recepimento della Direttiva CE/2008/57 relativa *all'interoperabilità del sistema ferroviario comunitario*, essi sono:

- I. SOTTOSISTEMI TECNICI quali infrastrutture (sede, opere d'arte, binario, marciapiedi e pensiline, etc), energia (sistemi per la trazione elettrica), controllo-comando e segnalamento, applicazioni telematiche per i passeggeri e il trasporto merci, materiale rotabile;
- II. SOTTOSISTEMI FUNZIONALI, quali esercizio e gestione del traffico (quadro normativo di riferimento) e manutenzione (procedure di manutenzione, attività standard, etc).

Per ognuno dei sottosistemi è definita una Specifica Tecnica d'Interoperabilità (STI) che costituisce un riferimento tecnico per gli operatori e i fabbricanti in quanto contiene i Requisiti Essenziali di Sicurezza costituenti uno standard tecnico-normativo di riferimento.

L'individuazione dei pericoli richiede, quindi, un'accurata conoscenza dei processi costituenti i sottosistemi elencati. L'aggiornamento della BDP si richiede ogni qualvolta:

- Durante l'attività di esercizio ferroviario si individua un nuovo pericolo non già incluso;
- A seguito dei processi di monitoraggio delle prestazioni di sicurezza si evidenzia la necessità di integrare le misure preventive e/o protettive già previste;
- A seguito di indagini su inconvenienti e incidenti o di segnalazioni da parte degli organi di vigilanza (MIT-DIGIFEMA, ANSF) viene individuata la necessità di misure di sicurezza integrative o emergono nuovi pericoli non ancora individuati;
- Vengono introdotte modifiche (operative, tecniche e organizzative) al sistema ferroviario che introducono nuovi pericoli.

2.1.2 LA VALUTAZIONE DEI RISCHI

I rischi ferroviari son classificati in:

1. RISCHI DERIVANTI DA ATTIVITÀ PROPRIE DI RFI, ossia indotti da attività eseguite utilizzando proprio personale o a mezzo di propri fornitori/appaltatori. Tali attività hanno un impatto diretto o indiretto sulla circolazione ed esercizio ferroviario e vanno considerate anche quelle eseguite per conto di RFI da costruttori, ditte appaltatrici, fornitori di servizi (per esempio la manovra) etc;
2. RISCHI DERIVANTI DA ATTIVITÀ DI TERZI come, ad esempio, quelle effettuate da Imprese Ferroviarie, gestori infrastruttura di reti estere confinanti, gestori dei raccordi e da altre parti esterne al sistema ferroviario in genere.

Nel caso di pericoli già esistenti e monitorati in BDP, il Responsabile della Gestione del Pericolo procede al monitoraggio del livello di rischio con periodicità:

- ANNUALE, (cadenza minima) e preventivamente alla formulazione del Piano Annuale della Sicurezza;
- OGNI QUALVOLTA il monitoraggio mette in evidenza il superamento di uno degli obiettivi di sicurezza nazionali (NRV);
- TUTTE LE VOLTE che il processo di monitoraggio evidenzia prestazioni di sicurezza insoddisfacenti dovute alla carenza delle misure di sicurezza in essere e in occasione di incidenti responsabilità di RFI.

In generale va osservato che il processo di valutazione del rischio è effettuato a differenti livelli di approfondimento coinvolgendo personale dotato di una grande bagaglio tecnico ed esperienziale per considerare nel dettaglio il funzionamento del sistema in esame.

Il criterio adottato è definito "**CRITERIO DELLA MATRICE DI CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO**" rispondente alle linee dello standard *CENELEC – CEI EN 50126 ed. 2000* ed è di tipo semi-quantitativo comprendendo la stima separata delle frequenze di accadimento e della magnitudo dei danni e nella successiva assegnazione del livello di rischio attraverso l'uso della matrice di classificazione già menzionata.

La **STIMA DELLA FREQUENZA** si basa sulla Linea Guida CEI CLC/TR 50126-2 del 2007, con valori espressi in *eventi/anno*. Per ogni pericolo oggetto di valutazione, sulla scorta dei dati presenti in BDP, il valore F è calcolato come valore medio del numero di eventi che si sono verificati negli ultimi otto anni, a partire dall'anno precedente di osservazione: per tale calcolo vanno presi in considerazione solo gli eventi che hanno prodotto un danno alle persone e/o all'ambiente.

In Tabella 14 sono indicate le categorie di frequenza utilizzate da RFI.

| CATEGORIE DI FREQUENZA | DESCRIZIONE QUALITATIVA | F (numero/anno) |
|------------------------|---|------------------------|
| Frequente | Probabile che accada frequentemente. La situazione si presenterà continuamente. | $F \geq 4$ |
| Probabile | Accadrà parecchie volte. Ci si può aspettare che la situazione pericolosa si presenti spesso. | $0,8 \leq F < 4$ |
| Occasionale | Probabile che accada parecchie volte. Ci si può aspettare che la situazione pericolosa si presenti parecchie volte. | $0,143 \leq F < 0,8$ |
| Remoto | Probabile che accada qualche volta nella vita del sistema. Ci si può ragionevolmente aspettare che la situazione pericolosa si presenti. | $0,029 < F \leq 0,143$ |
| Improbabile | Improbabile che accada ma possibile. Si può assumere la situazione pericolosa possa presentarsi eccezionalmente. | $0 \leq F < 0,029$ |
| Inverosimile | Estremamente improbabile che accada. Si assume che esso non possa verificarsi. Ciò implica che un pericolo possa essere considerato inverosimile solo qualora non si sia verificato nel sistema e nel contesto presi in considerazione o in altri assimilabili. | $F = 0$ |

TABELLA 14 MATRICE DELLE FREQUENZE TIPICA

La categoria di frequenza da assegnare all'evento pericoloso oggetto di valutazione sarà assegnata mediante confronto con i valori degli intervalli riportati nella terza colonna della Tabella 14.

La **STIMA DEL DANNO O MAGNITUDO** è di tipo numerico e dev'essere espressa in FWSI (Fatalities and Weighted Serious Injures) e rappresenta l'unità di misura di 1 decesso verificatosi in seguito a un incidente. La Decisione 2009/460/CE pone 1 lesione/ferimento grave pari a 0,1 decesso ($1 \text{ lesione/ferimento grave} = 0,1 \times \text{FWSI}$). In relazioni alle principali convenzioni internazionali RFI ha assegnato un valore alle *lesioni minori pari a 0,01 × FWSI*.

Infine, in virtù della definizione di "incidente significativo", un danno all'ambiente stimabile economicamente in 150000 € è considerato da RFI equivalente a $0,1 \times \text{FWSI}$.

In base a tali definizioni è possibile effettuare una classificazione anche quantitativa dell'impatto associato agli incidenti, che viene schematizzata in Tabella 15.

| IMPATTO | FWSI | CONSEGUENZE A PERSONE E ALL'AMBIENTE |
|----------------|---------------|---|
| Catastrofico | $G > 0,1$ | Decesso di una o più persone, e/o più di un ferito grave e/o danni ingenti all'ambiente. |
| Critico | $G = 0,1$ | Almeno un ferito grave e/o importante danno all'ambiente. |
| Marginale | $0 < G < 0,1$ | Uno o più feriti lievi (FL e/o importante minaccia per l'ambiente e danno grave a uno o più sistemi). |
| Insignificante | $G = 0$ | Danno leggero al sistema. |

TABELLA 15 MATRICE DELLE CONSEGUENZE TIPICA

Per ogni pericolo presente in BDP, considerando un intervallo temporale di otto anni a partire dall'anno precedente all'anno di osservazione, il livello di gravità associato al pericolo i-esimo (I_{Gi}) è calcolato come valore medio dei danni alle persone e/o all'ambiente registrati nella BDP ed espressi in FWSI equivalenti. Esso è dato dal rapporto:

$$I_{Gi} = I_{Ti} / N_{Ti}$$

In cui:

- I_{Ti} è la somma degli FWSI equivalenti associati al pericolo i-esimo nel periodo in esame, considerando i danni alle persone e all'ambiente;
- N_{Ti} è il numero totale degli incidenti che nel periodo in esame li hanno causati.

L'Impatto o Gravità "G" è assegnato mediante confronto di I_{Gi} con i valori degli intervalli riportati nella terza colonna della Tabella 15.

Una volta stimati i valori di frequenza F e magnitudo G, la matrice di classificazione del rischio permette di individuare il Livello di Rischio (LdR) associati al pericolo in esame, in funzione del quale vengono decise le azioni da attuare. In Tabella16 è rappresentata la matrice di classificazione del rischio utilizzata da RFI rispondente alla norma CEI-EN-50126 ed. 2000.

| CLASSE DI FREQUENZA | | | | |
|---------------------|-----------------------|------------------|----------------|---------------------|
| Frequente | Indesiderabile | Intollerabile | Intollerabile | Intollerabile |
| Probabile | Indesiderabile | Indesiderabile | Intollerabile | Intollerabile |
| Occasionale | Indesiderabile | Indesiderabile | Indesiderabile | Indesiderabile |
| Remoto | Tollerabile | Indesiderabile | Indesiderabile | Indesiderabile |
| Improbabile | Trascurabile | Tollerabile | Tollerabile | Indesiderabile |
| Inverosimile | Trascurabile | Trascurabile | Trascurabile | Tollerabile |
| | Insignificante | Marginale | Critico | Catastrofico |
| | MAGNITUDO | | | |

TABELLA 16 MATRICE DI CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO UTILIZZATA IN RFI

Le azioni da adottare sono indicativamente le seguenti:

RISCHIO TRASCURABILE: accettabile, non occorrono ulteriori azioni.

RISCHIO TOLLERABILE: occorre verificare attraverso monitoraggio e/o audit se non sono state attuate correttamente tutte le misure di sicurezza previste. In caso di esito negativo si rende necessario individuare ulteriori misure anche suggerite dalla tecnica e dalla pratica per portare il livello di rischio residuo allo stato trascurabile. In caso di esito positivo occorre verificare se è possibile adottare ulteriori misure di sicurezza anche in relazione al progresso scientifico-tecnologico sino a rendere il livello di rischio residuo trascurabile.

RISCHIO INDESIDERABILE/INTOLLERABILE: nell'immediato occorre analizzare tutti gli eventi indesiderati e le cause che li hanno determinati e, ove possibile, identificare misure di sicurezza aggiuntive per ridurre la frequenza e/o gravità a valori almeno tollerabili. Qualora venga dimostrato che non è possibile individuare ulteriori misure di sicurezza aggiuntive, si rende necessario introdurre transitoriamente opportune e immediate misure operative tali da

rendere accettabile il rischio che verranno successivamente rimosse. In parallelo deve essere avviato un nuovo e più approfondito procedimento di valutazione del rischio con metodologie più idonee (parere di esperti, analisi dati di benchmark, albero degli eventi, etc.) teso a identificare le necessarie misure di sicurezza che rendano il rischio accettabile.

Concludendo va osservato che qualsiasi analisi del rischio è di natura probabilistica e affetta, quindi, da incertezze inevitabili ma l'esperienza insegna che più si analizza e si entra nel dettaglio, più sicuri si rendono i sistemi e i processi. RFI dispone di un bagaglio professionale e personale altamente addestrato e qualificato tali da effettuare analisi del rischio dettagliate e solide in maniera da garantire un'infrastruttura efficiente e sicura in tutte le sue parti.

2.1.3 METODOLOGIA DI ANALISI DEL RISCHIO APPLICABILE NELLO SVILUPPO E REALIZZAZIONE DEI SISTEMI DI SEGNALAMENTO FERROVIARIO: L'ANALISI HAZOP

Il sistema Passaggio a Livello, per quanto concerne il comando e controllo, fa parte del settore "Segnalamento Ferroviario". Di seguito viene illustrata la metodologia di analisi del rischio denominata Hazop applicabile ai sistemi di segnalamento ferroviario e quindi, nel particolare, ai passaggi a livello.

La Hazop (Hazard and Operability Study) è una metodologia che prevede un approccio sistematico tesa a individuare le situazioni di pericolo e i problemi di operabilità che possono avere origine da **deviazioni** delle specifiche di esercizio e che potrebbero dare conseguenze non desiderate (anomale), fornendo elementi utili per ridurre i rischi.

Si compone essenzialmente di tre fasi:

1. Analisi preliminare degli Hazard;
2. Identificazione degli Hazard (Analisi Hazop);
3. Definizione delle possibili contromisure e scelta di quelle da applicare;
4. Classificazione del rischio residuo per definirne l'accettabilità.

Nell'ANALISI PRELIMINARE DEGLI HAZARD si attua lo studio sistematico del sistema, considerando anche operatori, norme e procedure di esercizio e soluzioni tecniche praticabili, con riferimento alla perimetrazione funzionale definita del sistema (i limiti), al fine di stabilire i modi, gli stati e i comportamenti che possono essere causa di incidenti ai quali vengono associate tipologie e gravità delle conseguenze prevedibili. Il sistema viene quindi suddiviso in sottosistemi e apparati interni che lo costituiscono mentre con la perimetrazione si identificano le interfacce con il contesto dove viene impiegato. Si individuano altresì gli *ELEMENTI DI INFLUENZA ESTERNI* che, per un sistema di segnalamento ferroviario, possono essere:

- OPERATORI (Dirigenti Movimento, Manutentori, etc): possono creare situazioni di funzionamento non conformi o produrre modificazioni nelle caratteristiche fisiche dei sistemi;
- TRENO: può presentare caratteristiche non idonee al servizio per guasto o carenze progettuali;
- INFRASTRUTTURA: può presentare caratteristiche non idonee al servizio per guasto o carenze progettuali;
- SEGNALAMENTO: in presenza di determinati malfunzionamenti può comportare il degrado delle caratteristiche di sicurezza dell'esercizio;
- PROGETTISTI: possono portare alla realizzazione di apparecchiature e sistemi non completamente idonei alle funzioni per le quali sono stati prodotti;
- AMBIENTE E FENOMENI METEO/SISMICI: possono causare pericoli per i quali il sistema potrebbe fornire mitigazione;
- EVENTI ECCEZIONALI (scioperi, sabotaggi, calamità, vandalismo): possono provocare danni degradando le caratteristiche strutturali, con degrado delle prestazioni di sicurezza.

Si individuano anche gli *ELEMENTI DI INFLUENZA INTERNI* che sono Malfunzionamenti ed Errori di Progettazione.

L'ANALISI HAZOP utilizza un formato tabellare per dettagliare lo studio, del quale se ne è un esempio in Tabella 17.

| TABELLA HAZOP | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-----------------------|-----------|---------------|--------|-------|-------------|-----------------|--------------------|-------------|------------------|--------------|------|
| ID | ELEMENTI DI INFLUENZA | ATTRIBUTO | PAROLA CHIAVE | HAZARD | CAUSA | CONSEGUENZA | PRE-MITIGAZIONI | CATEGORIA INIZIALE | MITIGAZIONI | CATEGORIA FINALE | STATO HAZARD | NOTE |
| | | | | | | | | | | | | |

TABELLA 17 MODELLO PER L'ANALISI HAZOP UTILIZZATO IN RFI

Nel dettaglio gli elementi da inserire sono:

ID: numero identificativo alfanumerico (es. HZ0101, HZ0201, in cui le prime due cifre indicano un gruppo omogeneo di elementi di influenza, mentre le ultime due cifre indicano la progressione).

ELEMENTO DI INFLUENZA: denominazione dell'elemento preso in considerazione nell'ambito della modellizzazione funzionale per considerazioni di sicurezza.

ATTRIBUTO E PAROLA CHIAVE: identificatori della deviazione dal normale funzionamento del sistema.

HAZARD: descrizione testuale dell'hazard.

CAUSA: descrizione testuale della causa dell'hazard, in maniera che risulti chiaro che cosa lo generi.

CONSEGUENZA: descrizione sintetica dello scenario risultante all'occorrenza dell'hazard.

PRE-MITIGAZIONI: elementi di riduzione del rischio già presenti nel corpo dei requisiti del sistema ferroviario complessivo o nelle disposizioni procedurali esistenti.

CATEGORIA DI RISCHIO INIZIALE: attribuzione del livello di rischio iniziale avendo considerato le eventuali mitigazioni già presenti nel sistema e non ancora considerato l'applicazione delle contromisure.

CONTROMISURA: ulteriori elementi di riduzione del rischio da attuare (attraverso requisiti di specifica, procedure, etc).

CATEGORIA DI RISCHIO FINALE: livello di rischio residuo a seguito delle pre-mitigazioni e delle contromisure.

STATO DELL'HAZARD: descrive lo stato, ossia se l'hazard è aperto, risolto, cancellato, trasferito o chiuso.

La **forza di questo metodo** sta nell'utilizzo delle **PAROLE CHIAVE** che **GUIDANO** direttamente alle cause del malfunzionamento (**DEVIAZIONE**). La *figura 13* da un'esemplificazione del processo logico che sta alla base della metodologia Hazop.

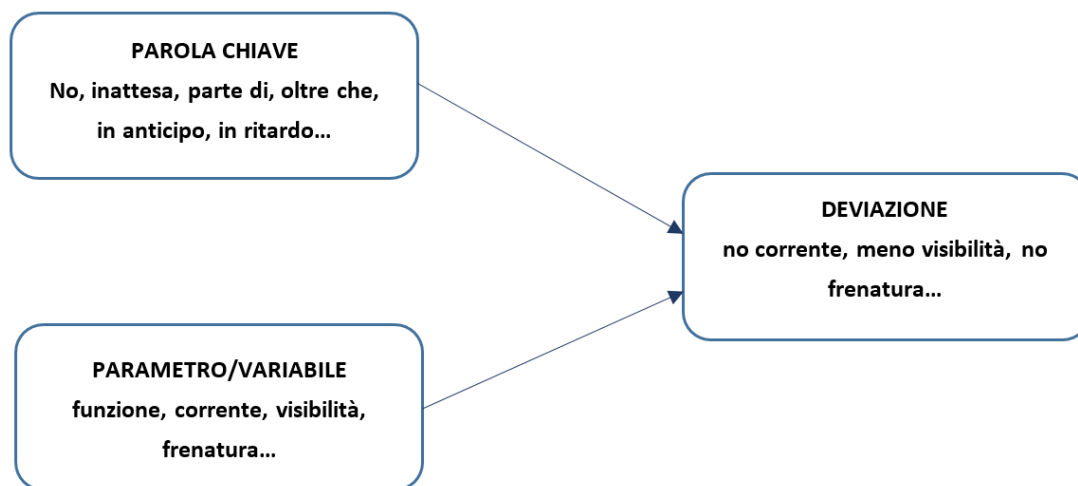


FIGURA 13 PROCESSO LOGICO HAZOP

La lista delle parole chiave utilizzate per gli impianti di segnalamento sono riassunte in Tabella 18.

| TIPO | ATTRIBUTO | PAROLA CHIAVE | SIGNIFICATO |
|----------------------|------------------|---|---|
| FUNZIONE | MALFUNZIONAMENTO | NO | Perdita della funzione. La funzione non viene eseguita dal sistema quando richiesto. |
| | | INATTESA | La funzione viene eseguita quando non richiesto. |
| | | PARTE DI | La funzione viene eseguita dal sistema solo in parte. |
| | | OLTRE CHE | Funzione incorretta. La funzione fornisce dei risultati non corretti. |
| | | IN ANTICIPO | Funzione eseguita in anticipo rispetto al previsto. |
| | | IN RITARDO | Funzione ritardata rispetto al previsto. |
| FLUSSO DEI CONTROLLI | FLUSSO | NO | Il flusso o segnale è indebitamente assente. |
| | | DI PIÙ | Sono trasmessi più dati di quelli necessari. |
| PARTE DI | | L'informazione afferente al flusso dati è incompleta. | |
| INVERSO | | Il flusso si muove nella direzione inversa a quella prevista. | |
| FLUSSO DEI DATI | | OLTRE CHE | Informazione completa ma con contenuto differente rispetto a quella attesa (es. a causa di corto circuito tra le linee) |
| | | IN ANTICIPO | Funzione anticipata rispetto al previsto. |
| | IN RITARDO | Funzione ritardata rispetto al previsto. | |
| | FLUSSO DATI | VALORE | DI PIÙ |
| DI MENO | | | Il valore del dato è al di fuori dell'intervallo consentito (es. segnale con parametri elettrici minori dei limiti consentiti). |
| FLUSSO DATI | CADENZA | DI PIÙ | Il dato è trasmesso con frequenza superiore a quella attesa. |
| | | DI MENO | Il dato è trasmesso con frequenza minore a quella attesa. |

TABELLA 18 LISTA PAROLE CHIAVE HAZOP

2.3 FAULT TREE ANALYSIS

Nel Capitolo 1 è stata descritta una metodologia che mediante la costruzione di un modello probabilistico mira a ottenere le frequenze di accadimento relativamente a dei pericoli associabili all'esercizio dei passaggi a livello. Tale modello risulta essere affidabile, con una base di dati solida ed è scientificamente valido.

La Fault Tree Analysis attraverso la costruzione del Fault Tree mira a ottenere le frequenze di accadimento dei Top Event (eventualmente identificati tramite un'analisi Hazop) partendo da quelli che sono i modi elementari di guasto del sistema, anch'essi di natura probabilistica. L'approccio è di natura DEDUTTIVA e si basa sulle combinazioni di guasti e di malfunzionamenti (failures) di componenti base del sistema, sistemi di sicurezza, fattori legati all'intervento umano e a circostanze ambientali.

Un approccio di tipo deduttivo presuppone un percorso logico che, partendo dal generale, tende a rilevare il particolare, da un punto di vista temporale degli eventi si dice che "guarda indietro".

I risultati di una FTA sono raccolti e rappresentati sotto forma di rappresentazione grafica che mostra le diverse combinazioni che possono portare al Top Event. Per connettere tra di loro i

modi elementari di guasto e gli eventi intermedi si utilizzano gli operatori logici tipici dell'algebra booleana.

In *figura 14* è schematizzato il processo logico di costruzione del Fault Tree.

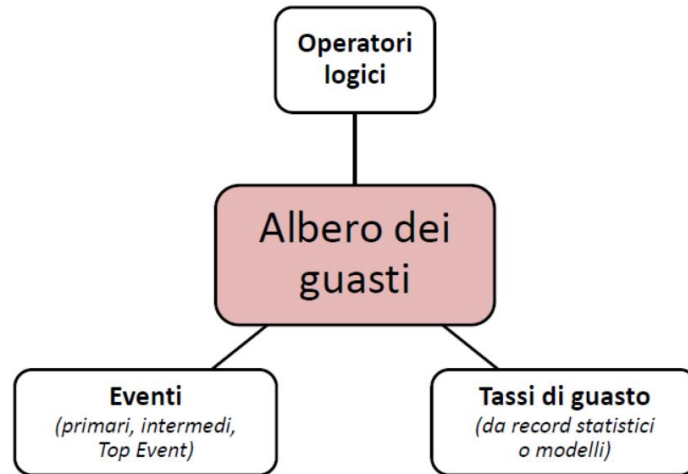


FIGURA 14 PROCESSO LOGICO FTA

I connettori logici sono tipici dell'algebra booleana e quelli più comunemente usati sono:

1. PORTA AND: l'evento di output si verifica solo quando si verificano tutti gli eventi di input che lo riguardano; nella logica degli insiemi corrisponde a un'intersezione.
2. PORTA OR: l'evento di output si verifica se si verifica almeno uno degli eventi di input; nella logica degli insiemi corrisponde all'unione di insiemi.
3. PORTA NOT: l'output è la negazione dell'input.

Le rappresentazioni grafiche sono in *figura 15*.



FIGURA 15 CONNETTORI LOGICI UTILIZZATI NELLA FTA

Gli eventi nella FTA vengono classificati in:

- EVENTI BASE, o modi elementari di guasto non scomponibili in sottoeventi;
- EVENTI INTERMEDI, è l'evento successivo a quello base e può essere di due tipi, ossia migliorativo se determina un miglioramento della sequenza incidentale o, nel caso contrario, peggiorativo;
- TOP EVENT, ossia l'evento che si vuole analizzare, detto anche scenario incidentale.

Gli eventi di guasto sono generati dall'interazione tra diversi componenti che costituiscono un determinato sistema complesso. Analisi statistiche e specifici modelli predittivi, consentono di disporre di dati relativi ai **tassi di guasto** di un determinato componente del sistema.

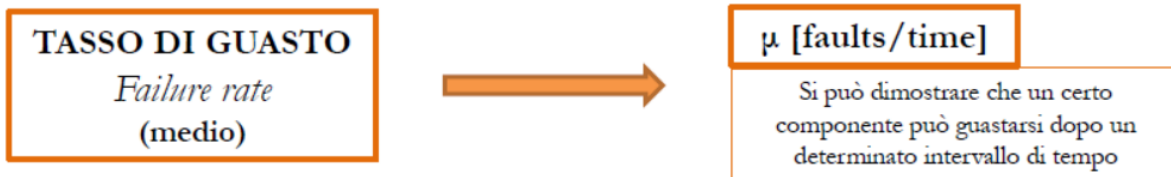


FIGURA 16 SIGNIFICATO DEL TASSO DI GUASTO

Il tasso di guasto non è costante durante la vita utile del componente ma è bensì tempo-dipendente e la sua frequenza di guasto può essere descritta da una distribuzione di **Weibull a due parametri**:

$$f(t) = \beta \cdot \mu \cdot (\mu \cdot t)^{\beta-1} \cdot e^{-(\mu t)^\beta}$$

Durante la vita utile del componente $\beta = 1$ pertanto:

$$f(t) = \mu \cdot e^{-\mu t}$$

Il tasso di guasto di un componente segue un andamento che viene definito “a vasca da bagno” (bathtub curve) ed è rappresentato in figura 17.

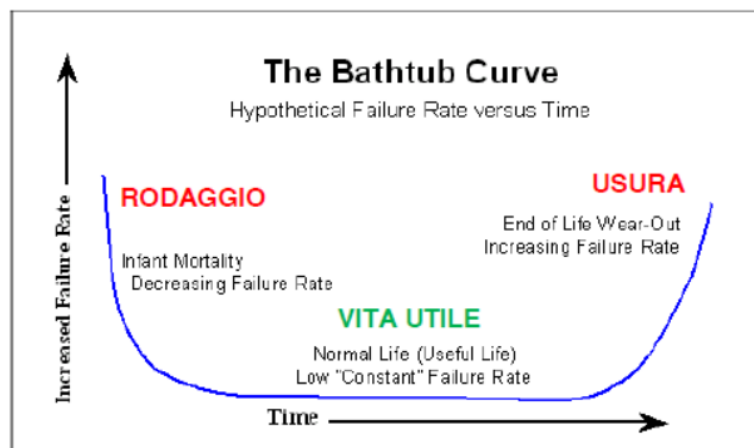


FIGURA 17 BATHTUBE CURVE PER COMPONENTI INDUSTRIALI

Dalla frequenza di guasto si può risalire alla **probabilità di guasto P(t)**, che esprime la *probabilità che un certo componente **si guasti** nell'intervallo (0,t)*:

$$P(t) = 1 - e^{-\mu t}$$

Il complemento a 1 di P(t) è detto **affidabilità R(t)** ed esprime la *probabilità che un certo componente **non si guasti** nell'intervallo (0,t)*:

$$R(t) = e^{-\mu t}$$

Da queste due grandezze viene definito l'intervallo di tempo che intercorre tra due successivi guasti di un certo componente **MTBF** (Mean Time Between Failures)

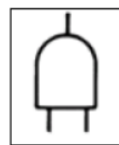
$$MTBF = \frac{1}{\mu_{tot}}$$

μ_{tot} è valutato dal grado di affidabilità R_{tot} calcolato dall'albero dei guasti attraverso la relazione:

$$\mu_{tot} = -\ln R_{tot}$$

La probabilità di guasto di un processo complesso (interattivo) è ottenuta a partite da quella di ogni singolo componente che interagiscono principalmente secondo due modalità:

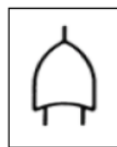
1. PARALLELO, il guasto del sistema complesso è determinato da quello simultaneo di più componenti: l'operatore logico rappresentativo è l'AND.



$$P = \prod_n P_i$$

$$R = 1 - \prod_n (1 - R_i)$$

2. SERIE, il guasto del sistema complesso è determinato da un guasto del sistema annesso qualsiasi: l'operatore logico rappresentativo è l'OR.



$$R = \prod_n R_i$$

$$P = 1 - \prod_n (1 - P_i) \approx \sum_n P_i$$

Riassumendo, le operazioni preliminari per la costruzione del Fault Tree sono:

1. Individuare con precisione il **Top Event**;
2. Definire con ordine gli **eventi esistenti** (le condizioni esistenti quando il top event si verifica);
3. Definire gli eventi **non permessi** (estremamente improbabili e/o deliberatamente trascurati);
4. Definire i **confini fisici** del sistema e scegliere i componenti da inserire nell'albero;
5. Definire le **configurazioni adottate** dai componenti (stato relè, grandezze caratteristiche, etc);
6. Definire la **risoluzione** dello studio (relè o contatto del relè) in questa fase si sceglie quanto dettagliare la scomposizione del sistema.
7. COSTRUZIONE DEL FAULT TREE attraverso le connessioni logiche.

La costruzione dell'albero dei guasti presuppone che *tutti gli eventi base riportati siano indipendenti*. Nella realtà ciò non è sempre vero (es. componenti la cui probabilità di guasto dipende dallo stato di guasto o di funzionamento di un altro componente, oppure dipendenze causate dalla manutenzione).

Le CAUSE COMUNI DI GUASTO sono eventi in grado di indurre un malfunzionamento in tutti i componenti o sistemi interessati. Ad esempio:

- **Dipendenza funzionale**, ossia perdita di input comune a più componenti (es. alimentazione elettrica, segnale di controllo, etc.). Questo tipo di dipendenza può essere rilevata dall'analisi logica del Fault Tree mediante la quale si esplicitano tutti gli eventi comuni all'albero dei guasti;
- **Evento esterno**, quando tutti i sistemi sono soggetti a uno stesso evento anomalo esterno (es. allagamento, incendio, etc), in grado di metterli contemporaneamente fuori servizio;
- **Cause legate al fornitore**, quando vi sono difetti comuni a più apparecchiature dello stesso lotto provenienti dallo stesso fornitore;
- **Cause legate a fattori operativi**, dove tutti i componenti sono soggetti a vibrazioni, alte temperature, etc., ovvero sono soggetti a manutenzione da parte della stessa squadra con le stesse procedure (quindi potenzialmente soggetti agli stessi errori).

Relativamente alla modalità di guasto di un'apparecchiatura o sistema di sicurezza si può fare la seguente distinzione:

GUASTI IN FAVORE DELLA SICUREZZA (FAIL SAFE), che comportano l'intervento delle unità in assenza di una situazione di pericolo. Conseguentemente a un intervento fail safe cambia lo stato del sistema dal normale esercizio a una situazione di maggiore sicurezza, rilevando automaticamente il guasto del sistema. Un esempio tipico è il funzionamento del Freno Continuo Automatico dei treni che, funzionando per depressione, in caso di rottura di una condotta o sgancio intempestivo di una parte del materiale frena automaticamente in quanto la condotta stessa si porta alla pressione atmosferica.

GUASTO A SFAVORE DELLA SICUREZZA (FAIL TO DANGER), che comporta la non disponibilità dell'unità nel caso venisse chiamata ad operare in conseguenza a un guasto al sistema di processo. Analizzando un caso concreto, se il sistema di controllo della pressione di una tubazione si guasta in uno dei suoi componenti e il fluido continua a fluire, venendo meno il controllo stesso il sistema, esso non è più considerabile in sicurezza.

Chiaramente, poiché il rischio di incidenti deriva essenzialmente dal verificarsi di guasti fail to danger, il progettista pone una certa cura nel ridurre al minimo il relativo rateo di guasto.

2.4 EVENT TREE ANALYSIS

La Event Tree Analysis (ETA) è una metodologia di analisi del rischio avente un approccio di tipo INDUTTIVO che presuppone un approccio logico che dal particolare arriva al generale: da un punto di vista temporale si dice che la ETA “guarda in avanti”.

Tale metodologia viene utilizzata per **determinare e quantificare** le possibili conseguenze generabili da un evento iniziatore mettendo in luce, così, le sequenze incidentali. L'albero ha quindi origine dall'evento iniziatore e procede per eventi successivi fino a raggiungere tutte le possibili conseguenze. Nella costruzione dell'albero vanno considerati anche tutti i sistemi di sicurezza e le barriere che contribuiscono a evitare o limitare le conseguenze.

Generalmente gli eventi iniziatori vengono determinati da una FTA preceduta da un'analisi Hazop, che risulta di supporto in via preliminare all'analisi del rischio.

Gli step principali nell'esecuzione di un'analisi ETA prevedono:

1. Identificazione dell'evento iniziatore d'interesse;
2. Identificazione delle funzioni di protezione previste per l'evento iniziatore;
3. Costruzione dell'albero degli eventi;
4. Descrizione e analisi delle sequenze incidentali risultanti.

La procedura segue l'evoluzione temporale dei fenomeni a partire da quello iniziatore ed è possibile, nel caso si disponga di dati numerici, calcolare frequenze di accadimento e probabilità, in maniera da decidere le migliori misure di riduzione del rischio.

La misura di protezione è uno strumento, un'azione o una barriera che può interrompere la sequenza incidentale o limitare i danni. Generalmente si tratta di sistemi automatici di sicurezza, allarmi per allertare l'operatore, barriere o sistemi di contenimento per mitigare gli effetti dell'incidente.

L'Event Tree Analysis richiede la conoscenza di **potenziali eventi iniziatori** (guasti alle apparecchiature, configurazioni che possono dare luogo a incidenti), **funzioni di sicurezza e procedure di emergenza** che possono mitigare gli effetti di ciascun evento iniziatore.

In *figura 18* si riporta un esempio di Event Tree generico in cui vengono individuate anche le probabilità di accadimento.

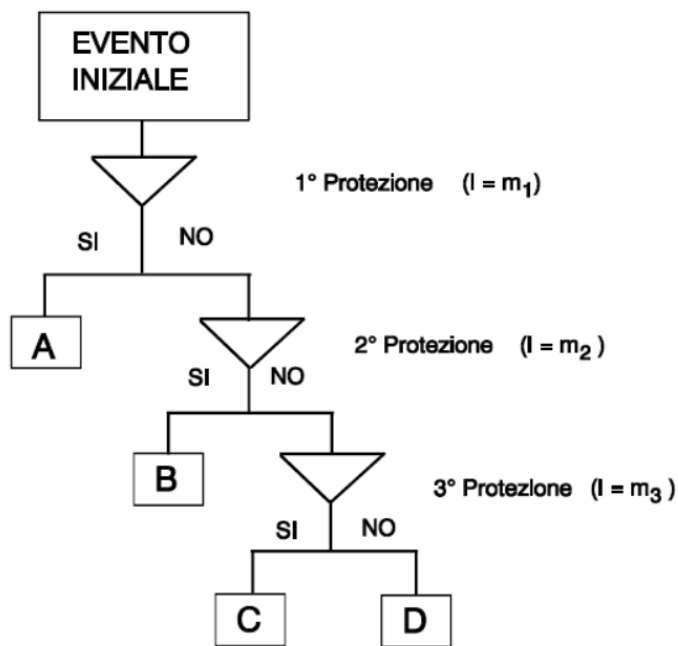


FIGURA 18 COSTRUZIONE ETA

In cui:

$$P_A = P_e \cdot (1 - m_1) \approx P_e$$

$$P_B = P_e \cdot m_1 \cdot (1 - m_2) \approx P_e \cdot m_1$$

$$P_C = P_e \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot (1 - m_3) \approx P_e \cdot m_1 \cdot m_2$$

$$P_D = P_e \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot m_3$$

Essendo:

- P_e = probabilità evento iniziale;
- m_i = probabilità di non intervento del sistema di protezione i-esimo.

Contrariamente alla determinazione delle frequenze attese/probabilità dell'Event Tree, in questo caso le probabilità dei singoli scenari discendono da un'operazione unicamente di produttoria, mai di sommatoria.

Le barriere di protezione o funzioni di sicurezza possono essere:

- Tecnologiche, in cui apparecchiature di controllo pongono il sistema in uno stato sicuro o tendono a limitare i danni conseguenti;
- Procedurali, quando viene attivata la gestione di un'emergenza attraverso l'intervento umano;
- Organizzative, quando prevedono esperienza del personale, informazione, formazione e addestramento per far fronte alle anomalie.

2.5 LA MANUTENZIONE DEI SISTEMI: EFFETTI SULL’AFFIDABILITÀ

Dall’analisi della curva di Weibull si può notare che la natura del guasto di apparati o sistemi complessi, oppure di una famiglia composta da un numero elevato di elementi dello stesso tipo, nel corso della vita operativa è associabile a GUASTI INFANTILI, GUASTI CASUALI e GUASTI DOVUTI ALL’USURA.

In **guasti infantili** sono caratteristici del primo periodo di vita del sistema e sono generalmente dovuti a difetti occulti di fabbricazione, errori di assemblaggio o aggiustaggio. In campo meccanico essi vengono eliminati con un opportuno rodaggio con la tendenza a diminuire all’aumentare dell’utilizzo. In campo elettrico-elettronico, i produttori di componenti di alta qualità eseguono dei burn-in test, nei quali vengono sottoposti a cicli ad alto regime termico, prove in condizione di stress dielettrico, opportune prove di tensione, etc. Una corretta progettazione e gestione della qualità dei processi produttivi può ridurre drasticamente il numero di guasti infantili.

I **guasti casuali** si verificano durante la vita utile del componente (utilizzo ordinario) e sono dovuti a cause aleatorie che provocano l’applicazione all’elemento soggetto al guasto di sollecitazioni che superano la resistenza di progetto. Un esempio sono i guasti dovuti ad ossidazione dei contatti elettrici immersi in ambienti ad umidità elevata: essendo il processo di ossidazione in atmosfera umida generalmente lungo il momento di guasto avviene durante la vita utile. Quest’ultima può essere espressa:

- In ore di funzionamento, per i dispositivi ai quali è applicata una sollecitazione in modo continuo (es. una lampada);
- In numero di cicli, per i dispositivi soggetti a sollecitazioni di tipo ciclico, come avviene per molti elementi elettromeccanici o pneumatici (contattori, relè, interruttori, valvole, etc). I costruttori spesso forniscono la vita utile mediante il parametro B10 che rappresenta il numero di cicli dopo il quale il 10% dei componenti si è guastato: dal numero di cicli orari si può risalire per equivalenza alla vita utile in ore.

I guasti d’usura avvengono a causa del progressivo invecchiamento dei componenti determinato dai processi di naturale degradazione chimico-fisica dei materiali. In questa fase le anomalie tendono a diventare più frequenti soprattutto in caso di manutenzione scarsa o assente.

È evidente che la **manutenzione influisce sull’affidabilità** dei sistemi e dei suoi componenti e, quindi, direttamente sul **livello di sicurezza**. Nei sistemi di segnalamento ferroviario gran parte dei componenti rivestono un ruolo direttamente connesso alla sicurezza ferroviaria, di conseguenza la loro affidabilità dev’essere elevata non solo all’atto della fabbricazione e prima installazione ma anche durante tutta la vita utile. Per questi fondamentali motivi RFI ha avviato un programma di manutenzione ciclica a tutti i componenti dell’infrastruttura ferroviaria che si

articola attraverso manutenzioni cicliche, verifiche di legge, verifiche con strategia a data vincolata, etc.

La manutenzione ha un effetto diretto non solo sull'affidabilità connessa al sicuro esercizio dell'infrastruttura ferroviaria ma anche sulla **regolarità**: essendo tutti gli impianti di segnalamento fail-safe pongono il sistema in stato sicuro in maniera da arrestare la marcia dei treni se anche una sola condizione di sicurezza viene a mancare.

In campo manutentivo RFI è dunque impegnata su due fronti: il **primo** della sicurezza e **contestualmente** della regolarità dell'esercizio ferroviario.

La manutenzione, in prima classificazione, può essere suddivisa in ORDINARIA e STRAORDINARIA.

MANUTENZIONE ORDINARIA: ha lo scopo di mantenere o ripristinare l'integrità originale dell'ente, contenere il normale degrado d'uso e far fronte a eventi accidentali.

MANUTENZIONE STRAORDINARIA: comprende interventi non ricorrenti e di elevato costo in confronto al valore di rimpiazzo del componente e ai costi annuali di manutenzione della stessa.

I criteri con i quali effettuare gli interventi manutentivi vanno dal riparare i guasti dopo che sono avvenuti, a impedire l'insorgenza di guasti, a migliorare l'entità soggetta a manutenzione tramite piccole modifiche con lo scopo di aumentarne l'affidabilità: in questa categoria rientrano anche gli interventi tesi a eliminare cause accertate di guasto di tipo sistematico.

I criteri cui sopra definiscono le politiche manutentive, che si possono suddividere in:

- **Manutenzione correttiva (o a guasto)**: quando si interviene in seguito a un'avaria. Applicando questo tipo di manutenzione si lascia funzionare il componente sino a quando non si verifica l'interruzione dell'anormalità: il vantaggio è che non si hanno sospensioni del funzionamento sino al momento del guasto, per contro quest'ultimo avviene in un momento imprecisato comportando costi di riparazione elevati.
- **Manutenzione preventiva**: è eseguita a intervallo di tempo prefissati o in base a opportuni criteri sulla base di ridurre le possibilità di guasto o avaria di un'entità. Di conseguenza la manutenzione preventiva può essere suddivisa in CICLICA, SU CONDIZIONE o PREDITTIVA. Nella manutenzione ciclica gli interventi sono effettuati a tempi prefissati (manutenzione clock-based) o a valori fissati di età o utilizzo dell'entità (manutenzione age-based). La manutenzione su condizione ha lo scopo di raggiungere un valore limite di una grandezza, di un parametro, etc. che segnala l'avvicinarsi della condizione di guasto (guasto potenziale). Nella manutenzione predittiva si procede comunque al monitoraggio del segnale debole ma la necessità d'intervento non è determinata dal raggiungimento di un valore di soglia, bensì sulla base di una previsione applicando un modello di valutazione. Tra le tecniche utilizzate in campo elettrico e meccanico vi è la termografia infrarossa, la quale permette di

visualizzare, attraverso la captazione delle onde IR, eventuali punti “caldi” che possono essere possibili sorgenti di guasto.

- **Manutenzione migliorativa:** generalmente si tratta di richiami effettuati dal costruttore per porre rimedio e difetti di progettazione, fabbricazione o assemblaggio. Oppure si basa sull'utilizzo di attrezzature e strumenti maggiormente idonei alla manutenzione rispetto a quelli indicati inizialmente (es. sostituzione del lubrificante di un motore con uno più adeguato).

RFI, ovviamente, non applica la politica di tipo correttivo se non in caso di estrema necessità, basando i propri obiettivi su una solida politica preventiva certificata e controllata dall'Agenzia Nazionale per la Sicurezza Ferroviaria, riuscendo a garantire in questa maniera degli standard elevati di sicurezza e regolarità dell'esercizio ferroviario.

2.6 SAFETY INTEGRATED LEVEL

L'automazione ha permesso di abbattere notevolmente la componente di rischio associata al fattore umano, incrementando di conseguenza la sicurezza del trasporto ferroviario.

Nel settore degli impianti di segnalamento, dove l'automazione ha raggiunto livelli molto elevati, è necessario che i rischi derivanti da un possibile malfunzionamento del sistema siano ridotti a rischi classificati come accettabili.

In ambito ferroviario la sicurezza funzionale dei sistemi di sicurezza a livello internazionale è governata dalle norme CENELEC EN5012X o IEC del tipo:

1. EN50126 (IEC 62278) – RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety);
2. EN 50128 (IEC 62279) – Software;
3. EN50129 (IEC62425) – Sistemi di sicurezza.

L'ingegneria della sicurezza funzionale si occupa di studiare le frequenze di accadimento dei potenziali eventi che possono generare un guasto/top event. L'obiettivo che ci si propone è quello di fronteggiare la presenza di errori sistematici.

Si introduce il concetto di livello di integrità, definito con l'acronimo SIL (Safety Integrated Level) che rappresenta non solo un valore numerico, ma soprattutto esprime il tasso di guasto massimo tollerabile prefissato in fase di progettazione di un sistema tecnologico.

Esistono quattro livelli di SIL associati a un valore numerico che definisce la probabilità che un sistema non sia in grado di garantire la sicurezza per cui è stato progettato (PFD/PHD). A questo range numerico si associa un livello SIL, espresso sotto forma di numero intero che va da un minimo di 1 a un massimo di 4. I valori SIL esprimono il livello di integrità del sistema in oggetto. Un sistema che può generare un danno molto alto richiede un elevato valore di SIL, ossia SIL4.

In Tabella 19 viene indicata la classificazione dei livelli SIL correlati a:

- PFD_{avg} : Average Probability of failure on Demand;
- PFH: Probability of Failure per Hour;
- RRF: Risk Reduction Factor.

| Safety Integrated Level (SIL) | Average Probability of Failure on Demand (PFD_{avg}) | Probability of Failure per Hour (PFH) | Risk Reduction Factor (RRF) |
|-------------------------------|--|---------------------------------------|------------------------------|
| SIL 4 | $10^{-5} \leq PFD_{avg} < 10^{-4}$ | $10^{-9} \leq PFH < 10^{-8}$ | $10000 \leq RRF \leq 100000$ |
| SIL 3 | $10^{-4} \leq PFD_{avg} < 10^{-3}$ | $10^{-8} \leq PFH < 10^{-7}$ | $1000 \leq RRF \leq 10000$ |
| SIL 2 | $10^{-3} \leq PFD_{avg} < 10^{-2}$ | $10^{-7} \leq PFH < 10^{-6}$ | $100 \leq RRF \leq 1000$ |
| SIL 1 | $10^{-2} \leq PFD_{avg} < 10^{-1}$ | $10^{-6} \leq PFH < 10^{-5}$ | $10 \leq RRF \leq 100$ |

TABELLA 19 CORRELAZIONE TRA SIL, PFD_{avg} , PFH E RRF

In sintesi, se si desidera avere un livello di SIL elevato, la probabilità di avere un guasto del sistema deve essere molto bassa e, se i guasti sono presenti, essi devono essere rilevati e contenuti. Uno dei modi per raggiungere un livello SIL elevato è la ridondanza del sistema: attuazione dei controlli in serie per verificare le condizioni di sicurezza.

A tutti gli impianti di segnalamento ferroviario viene richiesto un SIL4, il massimo in assoluto. RFI nel definire le specifiche tecniche di fornitura e i requisiti essenziali di sicurezza richiede sempre un SIL4 per gli impianti di sicurezza e segnalamento, in particolar modo per elementi dell'infrastruttura ferroviaria sensibili quali:

1. Manovra elettrica dei deviatori;
2. Sistema di comando e controllo di un PL;
3. Sistemi di rilevazione dei rotabili (Blocco Conta Assi, Circuiti di Binario);
4. Protezioni automatiche integrative Passaggi a Livello.

Si ha, quindi, il massimo livello di sicurezza che l'attuale automazione ferroviaria permette, garantendo un sicuro esercizio ferroviario, che è una delle missioni di Rete Ferroviaria Italiana SpA.

CAPITOLO 3

I SISTEMI PASSAGGIO A LIVELLO

Scopo del presente capitolo è dare una descrizione dei tipi di passaggio a livello presenti sull'infrastruttura gestita da Rete Ferroviaria Italiana dettagliandone la classificazione, la composizione, le modalità di comando e controllo e le tipologie di verifiche di sicurezza ai quali sono sottoposti.



3.1 CLASSIFICAZIONE DEI PL

Il passaggio a livello può formalmente essere così definito:

“INTERSEZIONE A RASO TRA UNA O PIÙ STRADE E TRA UNA O PIÙ LINEE FERROVIARIE E DEVE ESSERE MUNITO DI DISPOSITIVI CHE, QUANDO ATTIVI, INIBISCONO IL TRANSITO LATO STRADA (BARRIERE, SEMIBARRIERE, SEGNALI LUMINOSI E ACUSTICI, ETC) PREVENTIVAMENTE AL TRANSITO DEI TRENI”. (cit. IEPL ed. 2003, ristampa 2017 art.1).

Tale definizione è direttamente tratta dall'istruzione che regola l'esercizio dei PL ed evidenzia il fatto che essi DEVONO essere dotati di dispositivi atti a evitare le interferenze tra il transito ferroviario e stradale.

I PL possono essere suddivisi per:

- Ubicazione;
- Tipologia di protezione;
- Modalità di esercizio;
- Regimi di chiusura;
- Accorgimenti protettivi accessori;
- Apparecchiature di chiusura e manovra.

UBICAZIONE

In questo caso si parla di passaggi a livello di stazione (posti all'interno dei segnali di protezione della stazione) e di linea (posti all'esterno dei segnali di protezione della stazione).

TIPOLOGIA DI PROTEZIONE

La protezione di un passaggio a livello si realizza LATO TRENO (con segnali di 1^a categoria o altri segnali di linea e cartelli segnaletici) e LATO STRADA attraverso cancelli, catene, sbarre o aste girevoli, cavalletti, coppia di sbarre levatoie, doppia coppia di sbarre levatoie, coppia di semibarriere ad aste levatoie, segnaletica verticale e orizzontale, segnali luminosi e acustici.

REGIME DI CHIUSURA

Il regime di chiusura (modalità per cui le barriere sono abbassate e proteggono l'attraversamento dal transito del treno) può essere AD ORARIO (in disuso), regolata in base all'effettiva marcia dei treni e disposta automaticamente dal passaggio dei treni.

MODALITÀ DI ESERCIZIO

I PL in base alla normativa possono essere aperti e incustoditi, in consegna agli utenti, normalmente aperti e chiusi al transito dei treni, normalmente chiusi e aperti su richiesta degli utenti (PL in consegna agli utenti).

ACCORGIMENTI PROTETTIVI ACCESSORI

Si tratta di protezioni integrative a quelle normalmente in uso quali aree di ricovero (piazzole per i mezzi stradali ubicate tra le barriere), dispositivi di visualizzazione nei posti presenziati (TVCC), garitta di presenziamento (in disuso) e trefoli di guardia su linee elettrificate.

Per gli scopi della presente tesi si analizzeranno solamente PL protetti lato treno da segnali di 1^a categoria o altri segnali di linea e cartelli segnaletici, ubicati in linea, regolati e chiusi automaticamente dal passaggio dei treni.

3.2 I COMPONENTI DI UN SISTEMA PL

Considerando un sistema PL comandato in chiusura automaticamente dai treni, da un punto di vista degli impianti di segnalamento esso è costituito dai seguenti componenti:

1. PEDALE DI COMANDO (O ITINERARIO DI PARTENZA);
2. ORGANI DI MANOVRA DELLE BARRIERE;
3. BARRIERE (ASTE);
4. SEGNALE STRADALE LUMINOSO;
5. SUONERIA;
6. DISPOSITIVI DI LIBERAZIONE;
7. APPARATO DI COMANDO E CONTROLLO.

PEDALE DI COMANDO

RFI utilizza per il comando in chiusura dei PL dei pedali elettromeccanici DIREZIONALI TIPO SILEC FORFEX rappresentato in *figura 19*.



FIGURA 19 PEDALE DIREZIONALE TIPO SILEC FORFEX

Il bordino delle ruote del treno aziona i braccetti e ognuno di essi all'estremità del proprio albero di torsione è munito di una levetta a squadra che agisce su un asse flessibile; quest'ultimo sotto l'azione della levetta può spostarsi solo in due direzioni determinate che sono definite da due scanalature a "V".

Contiene due gruppi di contatti elettrici: i due contatti mobili centrali sono provvisti di una lamina e le due lamine sono orientate tra di loro in modo da formare una V analoga a quella delle due scanalature citate. Tale tipo di costruzione permette di rilevare il passaggio di un veicolo solo in un determinato senso: infatti se questo viene da destra verso sinistra, sarà azionato prima il braccio di destra e quindi solo la relativa levetta sarà attiva per commutare il contatto del gruppo di destra che consentirà appunto di rilevare il passaggio di un veicolo da destra a sinistra. In caso contrario, da sinistra a destra, sarà attiva solo la levetta di sinistra essendo questa impegnata per prima.

Questi pedali vengono applicati all'interno del binario e la posa deve essere accurata, specie per quanto riguarda la quota dei bracci rispetto al piano di rotolamento della rotaia e la distanza della faccia laterale dal fungo, in modo da garantire con sicurezza l'azionamento da parte dei bordini delle ruote, entro i limiti di tolleranza ammessi per le loro dimensioni.

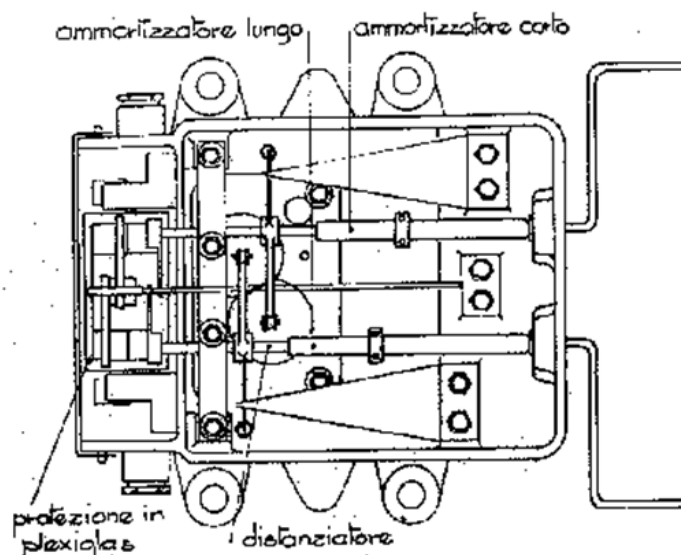


FIGURA 20 DETTAGLIO DEL PEDALE DIREZIONALE TIPO SILEC FORFEX

COMANDO DI CHIUSURA TRAMITE ITINERARIO DI PARTENZA

Nei posti di servizio quali stazioni, bivi, diramazioni etc. è ammesso (vedi Allegato 1) che i PL ubicati in linea siano protetti da segnali di 1^a categoria. Nel caso quest'ultimi siano di partenza di una stazione, perché possano disporsi a via libera deve esistere anche il collegamento di sicurezza con (o coi) PL di linea protetti. Di conseguenza il comando avviene in fase di formazione dell'itinerario, sia che si tratti di apparati a relè (ACEI, Apparati Centrali Elettrici a pulsanti d'itinerario) che computerizzati (ACC). Gli **schemi V308** citati nel titolo della tesi prevedono la protezione dei PL tramite segnale di partenza delle stazioni limitrofe (ossia che delimitano un tratto di linea).

ORGANI DI MANOVRA DELLE BARRIERE

Le barriere (o aste) per passaggio a livello sono (eccezion fatta per quelle in consegna agli utenti che non sono oggetto della tesi) manovrate elettricamente, ossia esiste una "cassa di manovra" alimentata elettricamente con il compito di abbassare le barriere in caso di passaggio del treno o alzarle quando quest'ultimo è transitato.

Le principali tipologie sono:

- **MANOVRA ELETTRICA PER PL TIPO FS64:** tale tipologia di casse sono utilizzate da diversi decenni lungo tutta l'infrastruttura RFI e, nonostante abbiano raggiunto una grande affidabilità sia in termini di sicurezza che regolarità, stanno venendo sostituite da attuatori di tipo oleodinamico che richiedono una minor manutenzione. Infatti la

FS64 è dotata di un circuito di trasmissione del moto interamente meccanico costituiti da albero a camme, ruote dentate, frizione elettrica a disco, freno meccanico a ceppi, etc che richiede una manutenzione articolata e dettagliata. Le casse di manovra FS64 stanno ormai lasciando il posto a quelle di tipo oleodinamico.

- MANOVRA OLEODINAMICA TIPO TD 96/2: tale cassa è in uso sull'infrastruttura RFI da almeno 15 anni e col tempo si è dimostrata molto affidabile ed efficiente. Essa è composta principalmente da:
 - - Robusta struttura metallica a base rettangolare (incastellatura) provvista di sportelli per permettere le regolazioni idrauliche ed elettriche e gli interventi manutentivi. All'esterno sono applicati i cartelli monitori indicanti i rischi residui se si lavora sui componenti interni alla cassa;
 - Un motore elettrico funzionante alla tensione nominale di 120 Vcc (quindi al di sotto del limite di sicurezza U_L in corrente continua) e reostati di regolazione della tensione per l'apertura e la chiusura;
 - Due bracci di sollevamento dell'asta posti lateralmente all'incastellatura collegati all'asse di movimentazione che vanno a congiungersi con il collare tubolare per il collegamento all'asta;
 - Braccio di trasmissione collegato meccanicamente al pistone (asse) che permette la movimentazione dell'asta;
 - Pannello elettrico contenente un dispositivo di protezione a massima corrente (*gli impianti di segnalamento sono eserciti con sistema IT*), dispositivi di temporizzazione, contattori elettrici di interfaccia tra i relè di apparato e l'attuatore, suoneria di tipo elettronico.

Il punto di forza di questo tipo di casse di manovra per passaggio a livello è la ridotta manutenzione di cui necessitano, infatti il circuito idraulico essendo costituito da condotte stagne richiede solo un controllo visivo per evidenziare eventuali perdite di olio. I contatti elettrici del circuito controllo sono del tipo micro-switch anch'essi stagni e scarsamente soggetti agli effetti ossidativi dell'umidità. Per contrastare il fenomeno è installata all'interno un riscaldatore a resistenza elettrica alimentato a 150 Vca . L'unico ingranaggio di trasmissione è quello dalla ruota dentata calettata sull'albero alla cinghia di trasmissione del compressore idraulico. In *figura 21* è rappresentata schematicamente la parte interna della cassa di manovra per PL TD96.

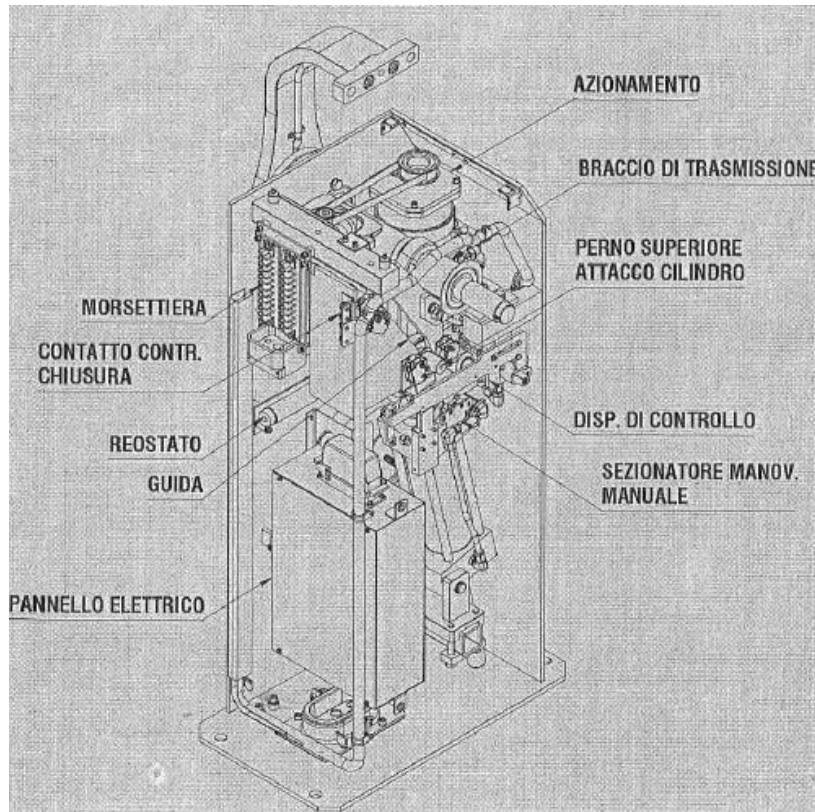


FIGURA 21 DETTAGLIO DELLA CASSA DI MANOVRA OLEODINAMICA TIPO TD96/2

- MANOVRA OLEODINAMICA TIPO TM2000: similmente alla precedente cassa di manovra il circuito di attuazione è idraulico ad alimentazione elettrica. Presenta un ingombro maggiore ma le caratteristiche e la componentistica sono assimilabili. Ai fini della presente tesi non è necessario addentrarsi nei particolari costruttivi e di funzionamento. La *figura 22* presenta una schematizzazione dei componenti interni della cassa TM2000.

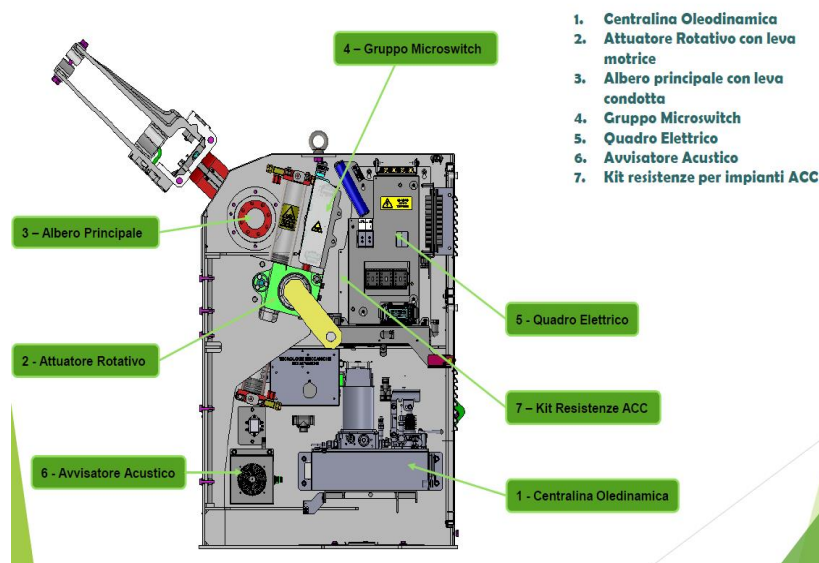


FIGURA 22 DETTAGLIO DELLA CASSA DI MANOVRA OLEODINAMICA TIPO TM2000

Al pari della TD96 tale cassa presenta una ridotta manutenzione rispetto alle FS64 e un elevato livello di affidabilità sia in termini di sicurezza che di regolarità.

È importante precisare che il sistema di certificazione di qualità e di sicurezza dei componenti in uso sull'infrastruttura proprietà di RFI è molto rigido e selettivo. Nonostante possano esserci delle avarie a tali sistemi il loro livello di sicurezza è comunque elevato: per le apparecchiature viene sempre richiesto un livello SIL non inferiore 4 e un'evoluzione dei guasti di tipo FAIL SAFE.

BARRIERE (ASTE)

Le barriere sono l'elemento fisico che impedisce agli utenti stradali di ingombrare impropriamente l'attraversamento stradale. Ne esistono di quattro tipi, in base alla loro lunghezza: 4,03 m, 5,03 m, 6,03 m, 7,03 m e 8,03 m. Dipendentemente dalla lunghezza è necessario applicare dei contrappesi alla forcella del braccio di collegamento asta-cassa di manovra per ridurre lo sforzo dell'attuatore in fase di movimento. Le barriere intere sono almeno 2, ma esistono PL a più barriere a seconda della larghezza dell'attraversamento e della morfologia dello stesso.

Le aste da PL sono sottoposte a diverse prove per ottenere la certificazione e poter essere utilizzate in ambito ferroviario; alcune sono: prove di flessione con carico all'estremità, prove di flessione su spinta del vento, prove di schiacciamento, determinazione del momento dell'asta. Tali prove sono necessarie per evitare che cadano per effetto del loro peso specialmente quando sono in apertura, dal momento che potrebbero danneggiare veicoli e procurare lesioni a persone.

Si è già accennato nel capitolo 1 che per determinati PL che presentano un rischio significativo relativamente al pericolo PE44 (indebito attraversamento di PL da parte di pedoni e ciclisti) è prevista l'installazione di grembiali atti a ostacolare il passaggio al di sotto della barriera stessa.

SEGNALE STRADALE LUMINOSO

Rappresenta lo STOP, ossia l'indicazione luminosa che gli utenti stradali devono rispettare in quanto segnala l'avvicinarsi del treno o comunque un'anomalia. Tradizionalmente erano segnali composti da una lampadina alimentata a 95 Vca (o 12 Vcc negli impianti ACC) a incandescenza proiettante una luce su un vetrino rosso. Nei sistemi moderni viene utilizzata una matrice a led rossi ad alta affidabilità e resistenza nel tempo: infatti le lampade a incandescenza necessitavano di noiose sostituzioni preventive. Il segnale costituisce un elemento fondamentale in quanto rappresenta l'interfaccia tra l'utenza stradale e ferroviaria. I manutentori di RFI prestano particolare attenzione al funzionamento e alla visibilità di questo componente. Nel capitolo 1 si è accennato al fatto che strade parallele incrocianti su un PL aumentino la correlazione tra eventi anomali associati all'indebito tallonamento. Per mitigare questo inconveniente vengono installati più segnali stradali (non nelle sole due direzioni di marcia) in maniera da essere visibili da tutte le direzioni.

In *figura 23* è rappresentato un segnale luminoso per la protezione lato strada con le relative tabelle distanziometriche.

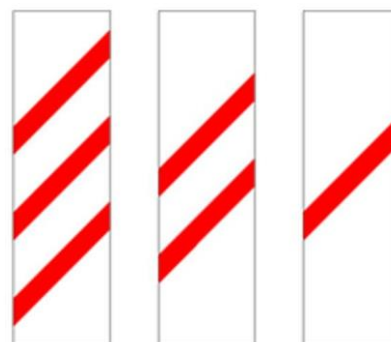


FIGURA 23 SEGNALE LUMINOSO STRADALE E TABELLE DISTANZIOMETRICHE

SEGNALAZIONE ACUSTICA

Ulteriore elemento previsto dal codice della strada che serve a notificare agli utenti stradali l'approssimarsi del treno e quindi il divieto di attraversamento. Per le casse di manovra tipo FS64 è costituita da una campana ad alto timbro il cui batacchio è collegato meccanicamente agli organi di trasmissione: come conseguenza ogni qualvolta la barriera scende la campana suona. Vista la semplicità e robustezza essa presenta caratteristiche di affidabilità elevata e l'unica attività manutentiva prevista è la verifica dell'integrità del collegamento meccanico e che non vi siano elementi tra il batacchio e la campana che possano attutire il suono (alveari, nidi, etc).

Le casse di manovra di tipo oleodinamico TD96 e TM2000, su specifica tecnica di fornitura di RFI, hanno installato delle suonerie elettroniche che si attivano al momento del lancio di tensione all'apparato di manovra (si vedrà in seguito che il comando e l'inizio della movimentazione dell'asta non sono immediatamente successivi) alimentate a 144 Vcc. La segnalazione acustica è generata da un sistema elettromagnete/batacchio/campana che emette una vibrazione sonora a una frequenza compresa tra i 60 e i 90 colpi al minuto.

In *figura 24* è rappresentato l'avvisatore acustico di una FS64 e di una TM2000.

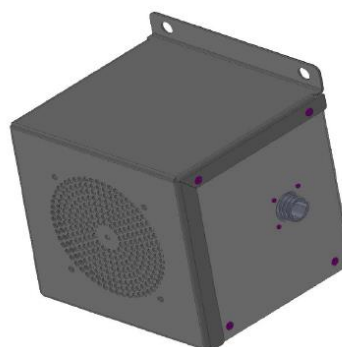


FIGURA 24 AVVISATORE ACUSTICO FS64 E TM2000

DISPOSITIVI DI LIBERAZIONE

Sono quei componenti atti a “liberare” il passaggio a livello in quanto rilevano in sicurezza il passaggio dello stesso e il superamento dell’attraversamento. Nel sistema PL sono sicuramente i dispositivi più importanti dal punto di vista della sicurezza ferroviaria perché un’intempestiva liberazione del PL potrebbe portare a collisioni treno/utente stradale. Generalmente la liberazione avviene con due **dispositivi ridondati**: *se entrambi rilevano il passaggio del treno allora viene comandata l’apertura delle barriere e infine lo spegnimento del segnale stradale*. Nei PL di linea (oggetto della presente tesi) i dispositivi utilizzati sono:

- **PEDALE FLUIDOELETTRICO TIPO P70**: di tipo idraulico in quanto l’attuazione è completamente meccanica e l’unica parte elettrica è costituita dai contatti che trasmettono l’informazione all’apparato di controllo **PEDALE ALTO** e **PEDALE BASSO**. È il più antico pedale atto a rilevare il passaggio di un treno ma nonostante necessiti di una manutenzione ciclica perlomeno bimestrale ha un elevato livello di affidabilità in termini di sicurezza. Le sue parti costituenti sono: gli ZATTERONI, il RIVELATORE, l’AMPLIFICATORE, il TUBO di COLLEGAMENTO.

Gli zatteroni sono due ferri robusti applicati alla rotaia alle quali estremità sono installati due lamierini che insieme alla chiavarda di collegamento con la rotaia formano due punti fissi: la ruota del treno passando tra i due punti fissi distanti tra di loro 1220 mm fa flettere verso il centro la rotaia: la flessione costituisce il passaggio del treno che viene poi trasdotto in una compressione dell’olio idraulico. Nella mezzera dei due punti fissi, al di sotto della suola della rotaia, è applicato il rivelatore costituito da un vasto tronco conico contenente olio idraulico e una membrana di ottone. Fra la suola della rotaia e la membrana è interposto un blocchetto di compressione che spingendo la membrana mette in moto l’olio idraulico. Il tubo di collegamento contenente l’olio è a sua volta collegato all’amplificatore il quale ha lo scopo di amplificare, sommare e trasmettere gli impulsi (idraulici) inviati dal rivelatore.

L’intero complesso è rappresentato in *figura 25*.

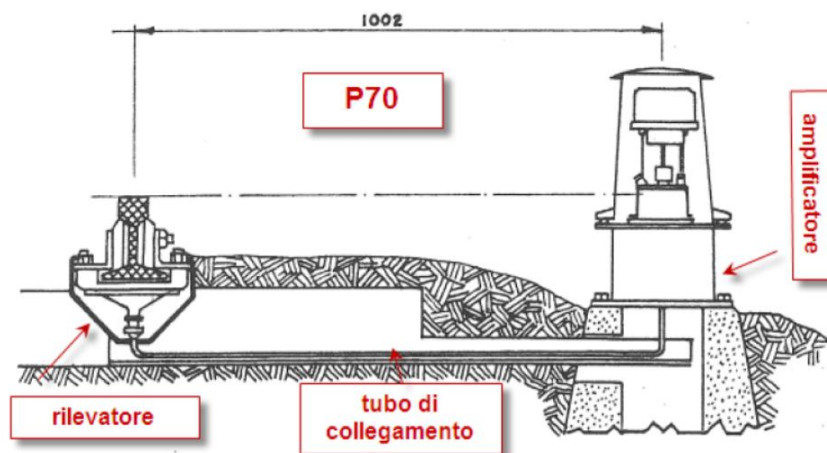


FIGURA 25 PEDALE DI LIBERAZIONE TIPO P70

- **PEDALE NON DIREZIONALE TIPO SILEC CAUTOR:** sono simili ai pedali tipo Forflex ma hanno un solo braccio che viene spinto verso il basso rilevando il passaggio del treno. Il braccio trascina un bilanciere il quale agisce da un lato su due contatti a deviatore e dall'altro su di una molla: questa ha lo scopo di portare il braccio in posizione di riposo (in alto). Ciò avviene con un ritardo opportuno ottenuto tramite un freno a olio con grado di viscosità pressoché insensibile alla temperatura esterna. L'azione del freno ha la duplice funzione di mantenere i contatti alti per un tempo sufficiente agli apparati di cabina di rilevare il passaggio del treno e impedire che il braccio possa essere impegnato da tutte le ruote del convoglio, evitando sollecitazioni meccaniche intollerabili.

In *figura 26* vi è una schematizzazione del pedale Silec Cautor.

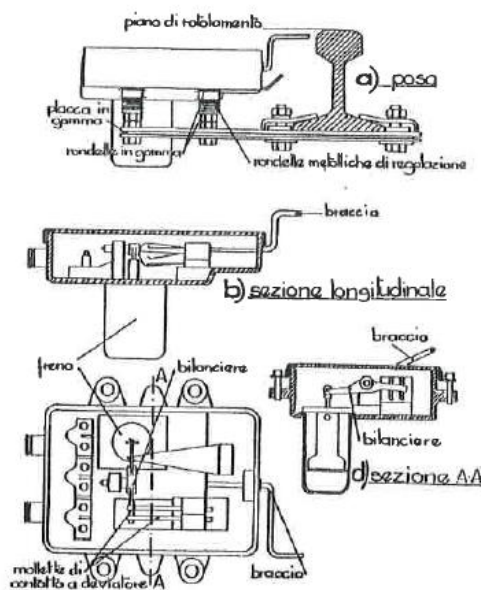


FIGURA 26 PEDALE NON DIREZIONALE TIPO SILEC CAUTOR

Vista l'importanza per la sicurezza del sistema PL questi pedali vengono installati ridondati e allocati affiancati sulle due rotaie costituenti il binario a una distanza opportuna per evitare indebite manipolazioni o azionamenti del braccetto: i contatti così facendo sono in serie ed è necessario che ambedue i pedali siano azionati per rilevare il passaggio del treno.

- **CIRCUITI DI BINARIO (CDB):** applicando una differenza di potenziale tra le due rotaie è possibile rilevare la presenza del treno il quale, col suo primo asse, cortocircuita la maglia provocando la diseccitazione di un relè. Schematicamente e senza entrare nel dettaglio, può essere rappresentato come in *figura 27*.

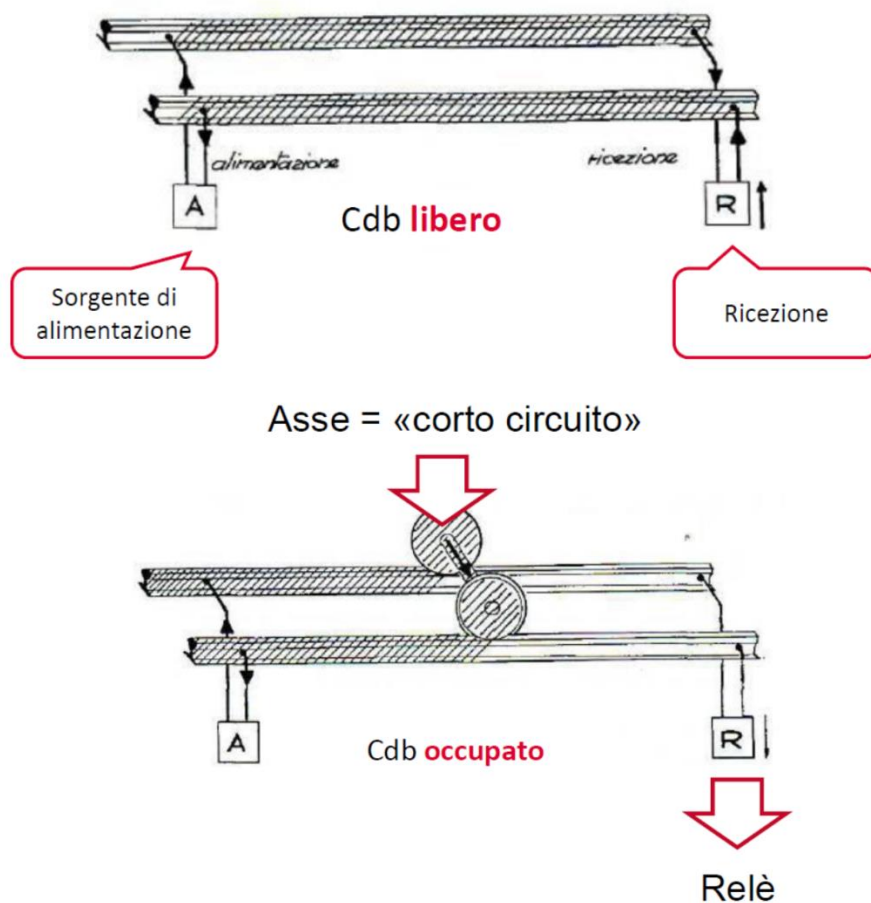


FIGURA 27 RAPPRESENTAZIONE CDB LIBERO E OCCUPATO DA ASSE TRENO

I CDB contigui sono separati tra di loro da due Giunti Isolati Incollati (GII) che permettono di suddividere i binari in più circuiti aventi funzioni diverse. I CDB possono essere a una fuga di rotaia o a due fughe di rotaia: nel primo caso in una delle due rotaie scorre la corrente del circuito di trazione mentre l'altra è interessata unicamente dalla corrente del circuito di binario in alternata. Nel secondo caso ambedue le rotaie sono interessate sia dalla corrente di ritorno del circuito di trazione che da quella del CDB; in questo caso per dividere due circuiti si utilizza il complesso GII e CASSA INDUTTIVA (CI) la quale è costituita da due semibobine avvolgenti un nucleo ferromagnetico con lo scopo di disaccoppiare il circuito per il segnalamento in alternata dalla corrente di ritorno (che si sa essere in continua negli impianti di trazione a 3 kVcc). I CDB sono uno degli elementi più importanti dal punto di vista della sicurezza in quanto rilevano la presenza o meno di materiale rotabile sui binari: sono l'occhio di chi gestisce la circolazione dei treni.

APPARATO DI COMANDO E CONTROLLO

I PL di linea oggetto della presente trattazione hanno gli apparati di comando e controllo in dei locali tecnologici denominati Posti di Linea. Essendo la logica di tipo cablato, l'interlocking è costituito da una sala in cui sono presente relè, cavi con conduttori in rame, apparecchiature di alimentazione e protezione (quadri di distribuzione, interruttori di protezione, etc). Le

informazioni circa lo stato degli enti di piazzale (PL, circuiti, segnali, etc) vengono acquisite tramite RELÈ di tipo FS58, come quello rappresentato in *figura 28*.



FIGURA 28 RELÈ FS58 UTILIZZATI NELL'IMPIANTISTICA RFI

Nonostante la tecnologia a logica cablata possa sembrare datata, ingombrante e complessa essa è ancora molto utilizzata in ambito ferroviario soprattutto per la gestione di Posti di Linea e posti di Servizio di limitate dimensioni (bivi, raccordi, Posti di Blocco Intermedi, etc). In particolare il relè FS58 a cui viene “chiesto” di dare informazioni molto importanti dal punto di vista della sicurezza (quali stato di un PL - aperto o chiuso -, posizione di un deviatoio -normale o rovescio oppure, analogamente, istradante per la destra o per la sinistra-, aspetto di un segnale di 1^a categoria, stato di un circuito di binario - libero o occupato-, etc.) presenta un elevato grado di affidabilità (SIL4) e semplicità di realizzazione. *(È parere del tesista che tale tecnologia non sia da abbandonare visto il livello di sicurezza offerto, forte anche dell'esperienza dei ferrovieri che sono in grado di progettare e implementare un apparato a logica cablata in completa autonomia, senza dipendere dalle aziende private che si occupano di segnalamento).*

Gli apparati di comando e controllo sono progettati avendo come riferimento gli schemi di principio, di cui si darà descrizione dettagliata in seguito.

3.3 VERIFICHE DI SICUREZZA DA ESEGUIRE SU UN PL

Di seguito si riportano alcune delle verifiche di sicurezza (le più significative) da eseguire su un passaggio a livello qualsiasi, indipendentemente dalla tipologia. Tali verifiche non sono di carattere manutentivo ma strettamente correlate alla sicurezza dell'esercizio ferroviario quindi rientrano in quelle che RFI definisce **VERIFICHE A DATA VINCOLATA**: hanno validità di legge e sono eseguite ciclicamente dagli addetti alla manutenzione dei passaggi a livello in possesso dei relativi titolo abilitativi.

1. **CONTROLLO DEL TEMPO DI PREAVVISO**, definito come il tempo che intercorre tra l'entrata in funzione del dispositivo di segnalazione acustica e luminoso (segnale stradale) e l'inizio della discesa delle barriere. Esso deve essere calcolato in modo da permettere, in dipendenza della distensione della zona di attraversamento e delle caratteristiche del traffico stradale, il disimpegno dei veicoli che transitano generalmente sul PL. Esso deve essere in ogni caso non maggiore di 25 s e minore di 5 s. A titolo orientativo ai 5 secondi minimi si aggiunge 1 secondo ogni 3 metri di attraversamento. Il tempo di preavviso influenza anche la distanza del pedale di comando nel caso di PL comandato automaticamente dal treno, questo per permettere all'agente di condotta di "vedere" tutti i segnali disposti a via libera e non rallentare la marcia (qualora esistano, ovviamente, i collegamenti di sicurezza). In taluni casi, dove il momento di traffico è particolarmente elevato, o in PL in vicinanza di incroci stradali, vengono previste delle piazzole di ricovero nel caso un autoveicolo resti intrappolato tra le due barriere: tale soluzione non autorizza, comunque, al superamento del segnale stradale disposto al rosso.
2. **CONTROLLO DELLE BARRIERE**: devono essere disposte, per quanto possibile, parallelamente al fondo stradale e in posizione di chiusura devono trovarsi con il bordo superiore compreso tra 0.90 m e 1.30 m dal culmine della carreggiata. La superficie delle barriere deve essere provvista di dispositivi a luce riflessa costituiti da catadiottri o da superfici di sostanza riflettente e non deve essere minore di 100 cm² per metro lineare. Qui è importante valutare l'efficienza e integrità di detta superficie.
3. **TALLONAMENTO**: il sistema Passaggio a Livello controlla l'integrità delle barriere e in particolar modo che esse non vengano tallonate, ossia abbattute impropriamente. L'asta è collegata ai bracci della cassa di manovra attraverso un bullone tranciabile che, se sottoposto a un determinato momento torcente, si rompe lasciando cadere la barriera a terra. Un circuito elettrico in sicurezza ha il compito di rilevare il tallonamento. Da qui si capisce l'importanza di detto sistema che viene controllato dai manutentori RFI ciclicamente con scrupolosità. Il controllo dell'integrità delle barriere è cumulativo a quello di posizione dell'asta e avviene in ambedue le posizioni (aperto e chiuso).
4. **SEGNALE LUMINOSO STRADALE**: oltre ai parametri elettrici variabili in funzione della tipologia di segnale, è importante controllare che sia integro e visibile da tutte le direzioni: nel caso occorre orientarlo correttamente. Esso deve essere posizionato, di regola, sul margine destro della carreggiata nell'immediata vicinanza di ciascuna barriera. Tuttavia per ottenere la massima visibilità possono essere posizionati o ripetuti sul lato sinistro. Il bordo inferiore deve trovarsi a 2-2,5 metri dal fondo stradale e il bordo laterale verso la strada a non meno di 0,5 metri dalla carreggiata.
5. **DISPOSITIVI DI LIBERAZIONE**: per i pedali P70 o Silec Cautor valgono le seguenti considerazioni. Risulta necessario verificare che al transito del treno una volta stabiliti i contatti alti del relè indicante lo stato "PEDALE ALTO" passi un tempo congruo al ritorno in posizione di riposo (indicato dal relè "PEDALE ALTO"): tale tempo deve essere indicativamente sui 10 secondi. Per i circuiti di binario è necessario verificare lo

SHUNT, ossia quel valore massimo di resistenza che applicata tra le due rotaie provoca la diseccitazione del relè di binario. Il valore di shunt così trovato simula l'asse del treno e garantisce che ogni passaggio sia rilevato. Per un cdb tradizionale, ossia a una fuga di rotaia il valore minimo di shunt è di 0,8 Ω .

3.4 SCHEMI DI PRINCIPIO PER LA GESTIONE DEI PL DI LINEA

Un'attenzione particolare merita il concetto di **collegamento di sicurezza**, perché sta alla base di tutti gli impianti di segnalamento e degli schemi di principio, che siano a logica cablata o computerizzata. La seguente definizione è tratta dall'ISTRUZIONE PER IL SERVIZIO DEI DEVIATORI art. 12 comma 1, il quale afferma: "il collegamento di sicurezza è un vincolo elettrico o meccanico, tra gli organi di manovra di un segnale ed eventuali altri meccanismi (chiusure di passaggi a livello, scarpe fermacarri, etc), interessati dal movimento comandato dal segnale stesso, tale da soddisfare le seguenti condizioni:

- Per disporre il segnale a via libera è necessario che i deviatori e gli altri meccanismi interessati siano disposti e assicurati nella posizione voluta;
- Per rimuovere i deviatori e gli altri meccanismi da questa posizione, occorre che il segnale sia disposto a via impedita."

Uno schema di principio viene utilizzato nell'ambito degli impianti di sicurezza e segnalamento ferroviario con lo scopo di tradurre la logica di sicurezza di gestione di un PL, una stazione, un blocco automatico, etc su carta, rappresentando le connessioni tra i relè, le alimentazioni, gli enti di piazzale. Per la progettazione si inizia sempre dal **PIANO SCHEMATICO** e dalla **TABELLA DELLE CONDIZIONI** di un apparato. Questi due documenti costituiscono non solo i documenti di base per lo sviluppo della progettazione costruttiva ma anche la documentazione ufficiale che attesta la corretta esecuzione di un impianto già in esercizio.

In particolare il *piano schematico* rappresenta schematicamente, e quindi senza il rispetto delle proporzioni, la topografia di una stazione o un posto di linea, e riporta con un'apposita simbologia tutti gli enti di piazzale, sia relativi all'armamento che all'impianto di segnalamento, questi ultimi opportunamente numerati. Contiene altresì altri elementi essenziali a caratterizzare la stazione per le esigenze della circolazione (fabbricato viaggiatori, marciapiedi, sottopassi pedonali, attraversamenti stradali, eventuali gallerie, etc.). il documento pone in evidenza, con una grafica abbastanza intuitiva, tutti gli elementi necessari per la compilazione delle tabelle delle condizioni.

La tabella delle condizioni costituisce il documento che riporta le condizioni di sicurezza (stati logici degli enti), delle quali la logica di un apparato deve verificare l'esistenza, provvedendo ai necessari comandi, purché ammessi dalle condizioni preesistenti, prima di giungere all'apertura del segnale (vedasi **collegamento di sicurezza**).

In figura 29 vi è un esempio di piano schematico di una stazione.

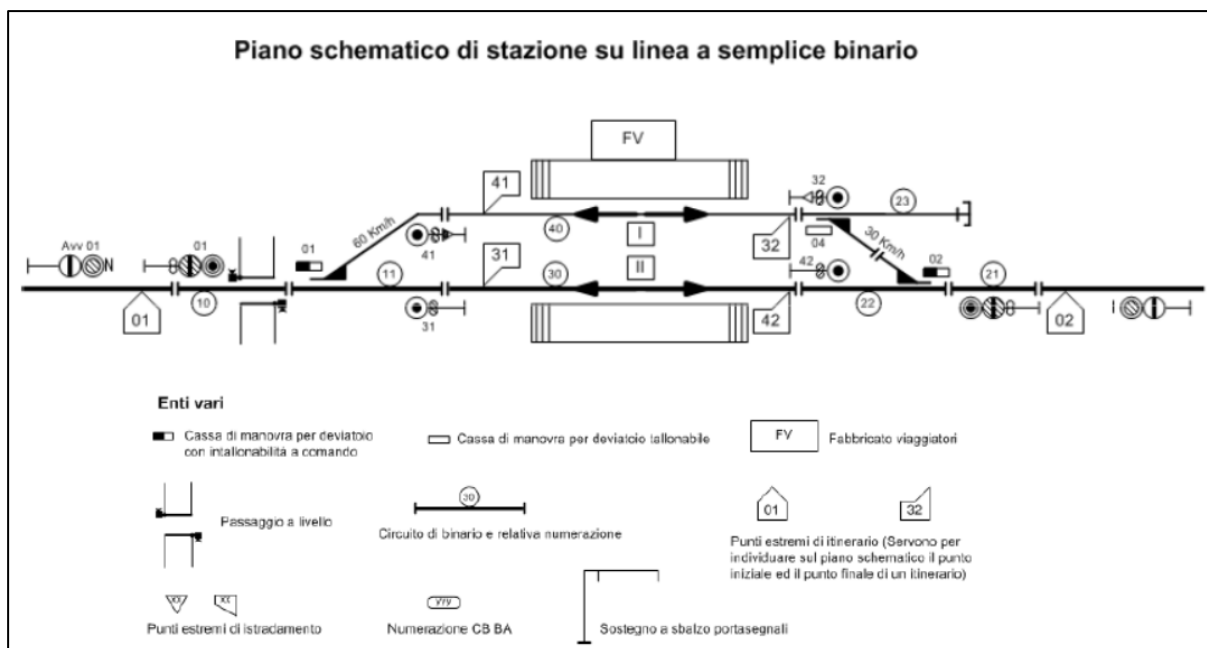


FIGURA 29 PIANO SCHEMATICO DI STAZIONE

3.4.1 SCHEMA DI PRINCIPIO V308

Il V308 è applicabile a Passaggi a Livello inseriti su linee a semplice binario nel quale il distanziamento treni avviene tramite Blocco Conta Assi (Bca) o Blocco Elettrico Manuale (BEM, ormai in disuso). In Tabella 20 vengono indicate le modalità di comando e controllo del PL.

| | |
|--|---|
| PROTEZIONE LATO STRADA | Segnale luminoso stradale, barriere intere. |
| PROTEZIONE LATO FERROVIA | Segnale di partenza delle stazioni limitrofe. |
| COMANDO | Itinerario di partenza delle stazioni limitrofe. |
| LIBERAZIONE | Serie pedale fluidoelettrico P70 e Circuito di Binario a una fuga di rotaia |
| SEGNALAZIONI DI CONTROLLO E ALLARME | Una delle stazioni limitrofe |

TABELLA 20 MODALITÀ DI COMANDO E CONTROLLO DI UN PL V308

È importante precisare che nelle linee gestite da Posto Centrale (CTC o SCC) le segnalazioni di allarme e controllo sono ricevute *anche* dal Dirigente Centrale Operativo (DCO).

PIANO SCHEMATICO V308

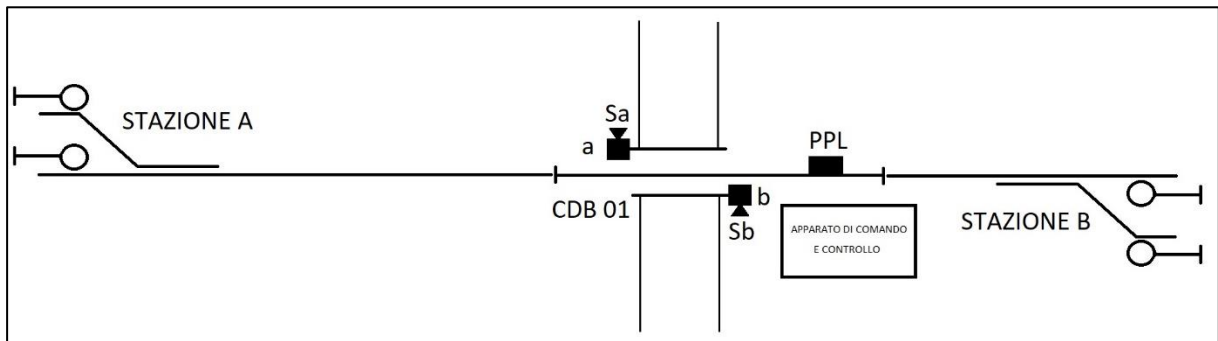


FIGURA 30 PIANO SCHEMATICO V308

In cui:

- STAZIONE A, STAZIONE B: stazioni limitrofe;
- a e b: casse di manovra da PL;
- Sa, Sb: segnali luminosi stradali;
- PPL: pedale di liberazione di fluidoelettrico tipo P70.

CIRCUITO PER LA RICHIESTA DI CHIUSURA DEL PL

A seconda che il treno muova da sinistra verso destra (partenza dalla stazione A) o da destra verso sinistra (partenza dalla stazione B) si parla, rispettivamente, di richiesta destra o richiesta sinistra. Di seguito si riporta il circuito per la richiesta destra.

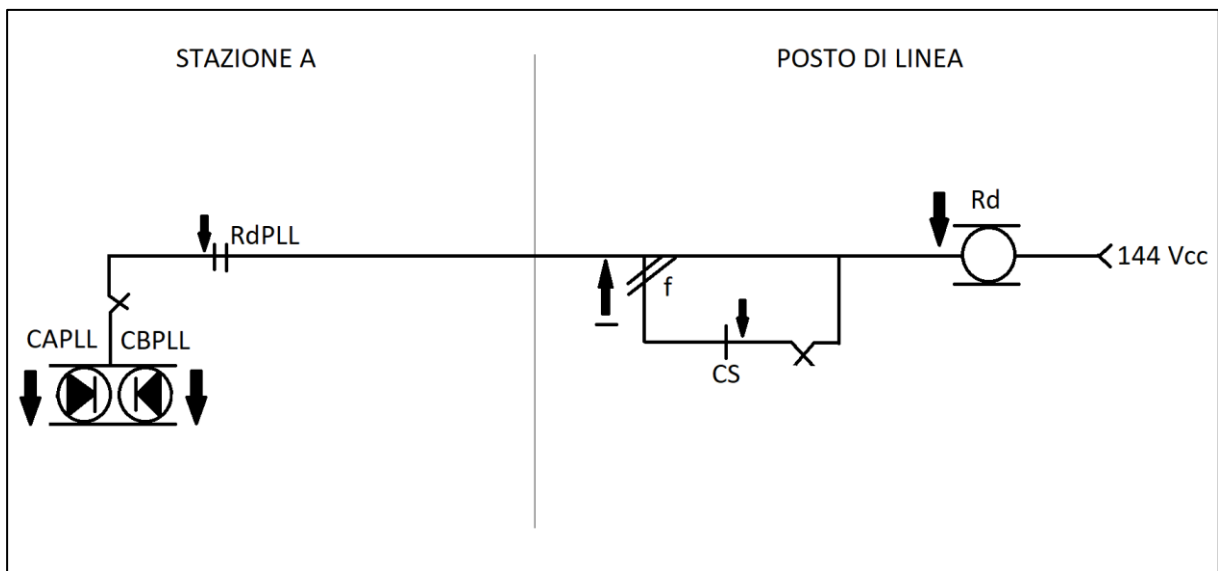


FIGURA 31 CIRCUITO DI RICHIESTA CHIUSURA V308

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Le apparecchiature rappresentate sono situate sia nella stazione limitrofa che nel PDL.

Si tratta di un circuito di relazione, ossia grazie al quale si trasmettono delle informazioni anche a chilometri di distanza, alimentato a 144 Vcc. Le frecce indicano lo stato del relè con impianto a riposo, ossia in assenza treni: in questo caso le barriere sono, quindi, aperte (nonostante il piano schematico le raffiguri chiuse). Quando dalla STAZIONE A si necessita mandare un treno verso la stazione B si eccita (ossia si pone nello stato ALTO) il relè RdPLL (richiesta destra passaggio a livello di linea). Questo permette ai relè CAPLL nella stazione A e Rd nel PDL di portarsi, per lancio di corrente, nello stato di eccitato. Il relè CAPLL assieme al CBPLL fa parte di una coppia polarizzata. I due relè non possono funzionare indipendentemente e assumo i seguenti stati:

- CAPLL ↓ CBPLL ↓ quando manca tensione in entrambe le bobine;
- CAPLL ↑ CBPLL ↓ quando le bobine sono polarizzate in un senso;
- CAPLL ↓ CBPLL ↑ quando le bobine sono polarizzate nell'altro senso.

Come si nota non esiste la configurazione con relè entrambi eccitati in quanto il dispositivo di polarizzazione non lo permette. I relè polarizzati vengono utilizzati anche quando c'è necessità di acquisire lo stato di un componente che assume due posizioni (segnale tipo elettromeccanico, deviatore, PL, etc).

Il relè CAPLL eccitato in stazione A trasmette l'informazione che la richiesta di chiusura è giunta all'apparato di linea.

Il relè Rd nel PDL riceve la richiesta e i suoi contatti vengono utilizzati per comandare in chiusura il passaggio a livello.

SINTESI DELLE VARIAZIONI DI STATO RISPETTO ALLO STATO DI RIPOSO IN FASE DI CHIUSURA

| UBICAZIONE | RELÈ | VARIAZIONE DI STATO |
|------------|-------|---------------------|
| STAZIONE A | CAPLL | ON |
| STAZIONE A | CBPLL | - |
| PDL | RD | ON |

CIRCUITO PER IL COMANDO IN CHIUSURA DEL PL

Nelle logiche cablate tipo FS per il comando di componenti quali casse di manovra da PL e deviatori si utilizzano dei particolari relè chiamati combinatori. Sono costituiti da due bobine che permettono di stabilire i contatti della fila destra o sinistra (**Normale o Rovescio** nel gergo FS). Per la manovra di un PL si utilizza una coppia di combinatori: M ed A; il primo riceve il comando di chiusura mentre il secondo ha il compito di lanciare la tensione all'esterno (verso la cassa di manovra) e assume due posizioni, in questo sono nominate **Riposo e Lavoro**.

In figura 32 è rappresentato lo schema elettrico unifilare esemplificativo.

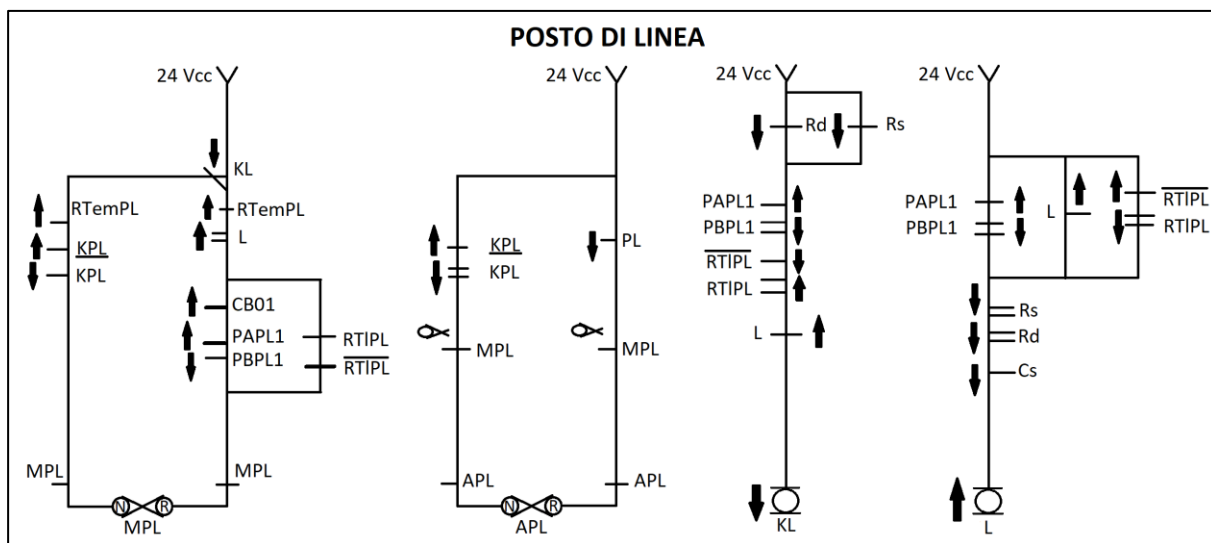


FIGURA 32 CIRCUITI DI COMANDO CHIUSURA PL V308

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Tutte le apparecchiature rappresentate sono situate nel PDL.

La richiesta di chiusura del PL da parte di una delle due stazioni limitrofe (eccitazione del relè Rd o Rs) genera le seguenti variazioni di stato:

- Diseccitazione relè L, che sarà poi responsabile dell'apertura del PL a treno transitato;
- Eccitazione del relè KL che permette di lanciare tensione alla bobina N del relè combinatore MPL;
- Il combinatore A non varia stato perché si trova già nella posizione di Lavoro, di conseguenza è sufficiente la variazione di stato del combinatore M perché siano alimentate le casse di manovra del PL.
- I relè KPL e KPL svolgono la funzione di controlli principali di cassa e il loro stato indica se le barriere sono aperte, chiuse o in posizione incerta secondo la seguente configurazione:
 - KPL ↑ KPL ↓: barriere aperte;
 - KPL ↓ KPL ↑: barriere chiuse;
 - KPL ↓ KPL ↓: posizione incerta (comprende la fase di apertura o chiusura).
- Una volta acquisito il controllo di chiusura il combinatore A torna nella posizione di riposo e i suoi contatti cortocircuitano il circuito di alimentazione delle case di manovra per impedire che degli indebiti lanci di tensione possano aprire le barriere. Questa soluzione è detta **circuito chiuso neutro** (ccn) e riveste carattere di sicurezza essendo utilizzata ogni qualvolta un componente cambia posizione (deviatoio, PL, segnale) ed è necessario che vi rimanga fin quando il treno non è transitato.

Il relè L si diseccita non appena vi è la richiesta di chiusura e con i suoi contatti va "subito" a impedire che il combinatore M possa portarsi nella posizione R: infatti i contatti in questa posizione comandano il PL in apertura. La funzione che esercita è quella di bloccamento,

concetto che si ripresenta spesso nell'impiantistica di segnalamento ferroviario secondo la seguente sequenza:

COMANDO → BLOCCAMENTO → ACQUISIZIONE STATO NUOVA POSIZIONE

Nello schema appaiono anche i contatti dei relè polarizzati RTIPL e RTIPL che hanno la funzione di aprire il PL qualora il sistema non abbia completato correttamente il ciclo di apertura (per esempio per un guasto ai pedali P70). Questa è una funzione di soccorso che va effettuata quando la tratta che comprende il PL è libera da treni. La procedura prevede che il Dirigente Movimento (o il Dirigente Centrale Operativo se la linea è esercita in CTC o SCC) prima di effettuare la richiesta di apertura abbia "il giunto" dell'ultimo treno transitato, ossia un DM o un capotreno dovranno controllare che la coda del treno sia regolare garantendo una sicura manipolazione della funzione di soccorso (per le segnalazioni applicate alla coda del treno vedasi Allegato 1).

SINTESI DELLE VARIAZIONI DI STATO RISPETTO ALLO STATO DI RIPOSO IN FASE DI CHIUSURA

| UBICAZIONE | RELÈ | VARIAZIONE DI STATO |
|------------|------|---------------------|
| PDL | M | NORMALE |
| PDL | A | - |
| PDL | KL | ON |
| PDL | L | OFF |

CIRCUITO DEL RELÈ R_{Tem}PL

Il relè R_{Tem}PL funziona da temporizzatore con lo scopo di impedire la chiusura del PL qualora non siano passati almeno 30 secondi dall'ultimo transito del treno (ossia dall'ultimo ciclo automatico di apertura). Tale funzione è integrata per permettere al traffico stradale di defluire, almeno in parte, tra una chiusura del PL e la successiva.

Lo schema elettrico esemplificativo è indicato in *figura 33*.

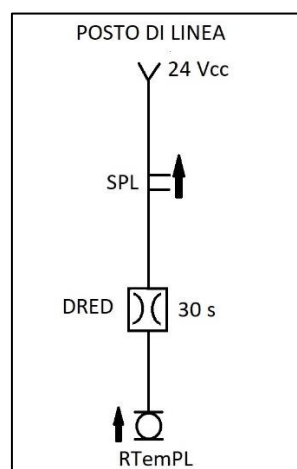


FIGURA 33 CIRCUITO R_{Tem}PL V308

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO:

Il relè SPL (Segnale PL) è responsabile dell'accensione del segnale luminoso stradale e si disaccita non appena il combinatore M si pone nello stato di normale (appena dopo la richiesta di chiusura destra o sinistra) o, in caso di anomalità, non appena viene a mancare il controllo di apertura del PL o il CDB risulta indebitamente occupato (il guasto evolve verso la sicurezza in quanto col segnale luminoso acceso gli utenti stradali devono fermarsi). Una volta che il PL si libera e completa regolarmente il ciclo di apertura il DRED (Dispositivo di Ritardo all'Eccitazione e Diseccitazione) impedisce al relè RtemPL di rieccitarsi in quanto impone un ritardo di 30 secondi. I contatti alti del relè RTemPL sono inseriti nel circuito del combinatore M, impedendo quindi, per 30 secondi, la richiusura del PL.

SINTESI DELLE VARIAZIONI DI STATO RISPETTO ALLO STATO DI RIPOSO IN FASE DI CHIUSURA

| UBICAZIONE | RELÈ | VARIAZIONE DI STATO |
|------------|--------|---------------------|
| PDL | RTemPL | OFF |

CIRCUITO CONSENSO PL

Il relè Consenso PL (CS) ha lo scopo di trasmettere lo stato attivo del **collegamento di sicurezza** alla stazione limitrofa che ha inviato la richiesta, i suoi contatti permetteranno al segnale di partenza, che protegge il PL di linea di disporsi a via libera.

Lo schema elettrico unifilare (comprendente sia il relè CS che il relè PL) esemplificativo è rappresentato in *figura 34*.

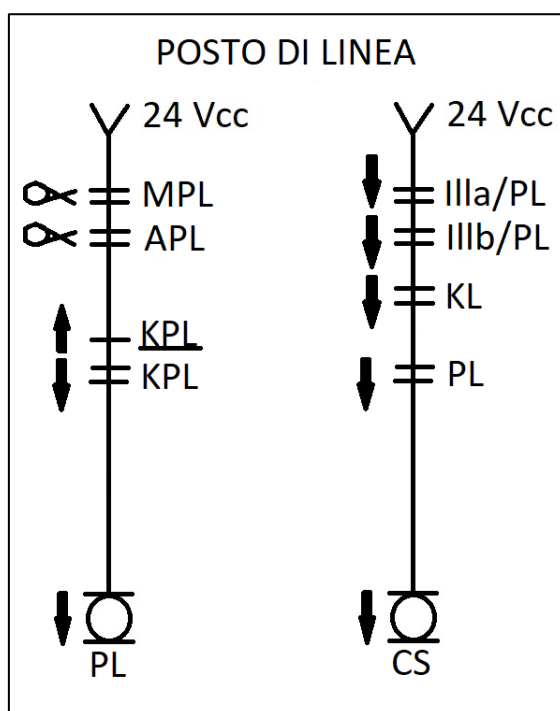


FIGURA 34 CIRCUITO RELÈ CONSENSO E CONCORDANZA PL

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Il relè PL per potersi portare allo stato di eccitato necessita di:

- Combinatore M a normale (comando in chiusura del PL);
- Combinatore A a riposo (a seguito di controllo di chiusura di tutte le barriere);
- Relè KPL basso: non vi sia il controllo di apertura;
- Relè KPL alto: controllo di chiusura presente.

Esso è definito relè di CONCORDANZA in quanto si pone nello stato ON quando il comando di chiusura (M e A) e il controllo di chiusura sono congruenti.

Il relè CS per eccitarsi ha bisogno di:

- Relè IIIa/PL e IIIb/PL alti, ossia il controllo d'illuminazione di tutti i segnali stradali del PL;
- Relè KL eccitato, indicato nel circuito di manovra del PL in *figura 32*;
- Relè PL eccitato.

Essendo il relè CS colui che trasmette il collegamento di sicurezza al segnale che protegge il PL è importante notare che senza l'accensione anche di un solo segnale stradale al treno è impedito partire con il segnale a via libera: il segnale luminoso stradale è a tutti gli effetti un'apparecchiatura di sicurezza.

SINTESI DELLE VARIAZIONI DI STATO RISPETTO ALLO STATO DI RIPOSO IN FASE DI CHIUSURA

| UBICAZIONE | RELÈ | VARIAZIONE DI STATO |
|------------|------|---------------------|
| PDL | PL | ON |
| PDL | CS | ON |

TRASMISSIONE DEL CONSENSO ALLA STAZIONE LIMITROFA

Una volta che il relè CS si è posto nello stato di eccitato, l'informazione viene trasmessa alla stazione che ha effettuato la richiesta con lo stesso circuito di relazione indicato in *figura 35*.

In rosso sono indicate le variazioni di stato in seguito al consenso PL.

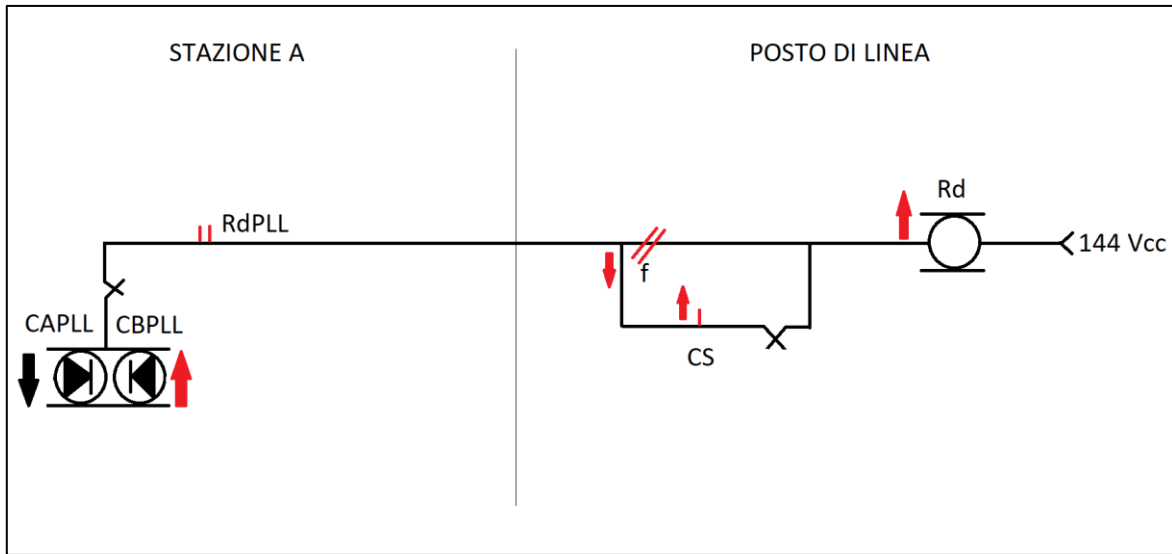


FIGURA 35 CIRCUITO INVIO CONSENSO ALLA STAZIONE LIMITROFA

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Il relè f diseccitato ed il consenso PL CS alto permettono alla corrente di fluire nella parte di circuito che inverte la polarità della tensione in maniera che nella stazione A limitrofa i due polarizzati CAPLL e CBPLL invertano il loro stato reciprocamente. Come conseguenza il relè polarizzato CBPLL in stazione A permette al segnale di partenza che protegge il PL di disporsi a via libera.

SINTESI DELLE VARIAZIONI DI STATO RISPETTO ALLO STATO DI RIPOSO IN FASE DI CHIUSURA

| UBICAZIONE | RELÈ | VARIAZIONE DI STATO |
|--------------|-------|---------------------|
| STAZIONE A | CAPLL | OFF |
| S3.TAZIONE A | CBPLL | ON |
| PDL | RD | - |
| PDL | CS | ON |
| PDL | f | OFF |

CIRCUITO DI LIBERAZIONE DEL PL

Lo schema V308 per la liberazione del PL al transito del treno prevede la sommatoria delle due condizioni:

1. TRANSITATO DEL TRENO SUL CIRCUITO DI BINARIO (OCCUPATO E SUCCESSIVAMENTE LIBERO);
2. PEDALE P70 AZIONATO.

Tali condizioni sono sommate nei circuiti dei relè L ed f .

Il circuito che pilota il P70 (alimentato a 48 Vcc) è il seguente (figura 36).

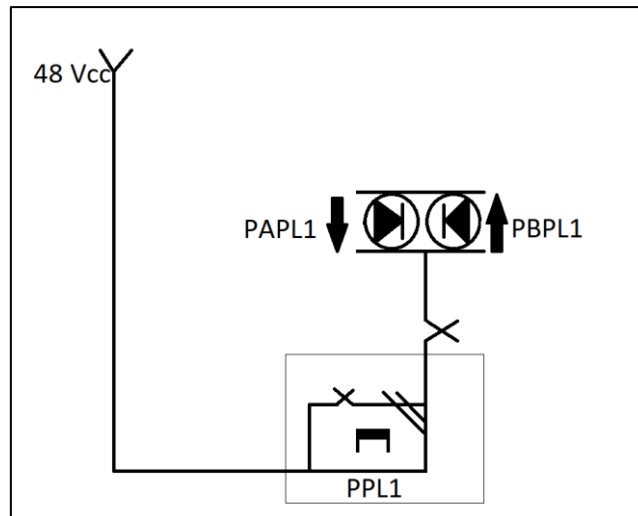


FIGURA 36 CIRCUITO DI CONTROLLO PEDALE DI LIBERAZIONE P70

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Il circuito è composto dai contatti del pedale P70 e dai relè polarizzati PAPL1 E PBPL1, che possono assumere i seguenti stati.

- PAPL1 ↓ PBPL1 ↓ quando manca tensione in entrambe le bobine;
- PAPL1 ↑ PBPL1 ↓ quando il pedale è a riposo e quindi non sta transitando nessun treno (PL libero da rotabili);
- PAPL1 ↓ PBPL1 ↑ mentre sta transitando un treno sul pedale.

Lo schema che governa un circuito di binario è rappresentato in figura 37.

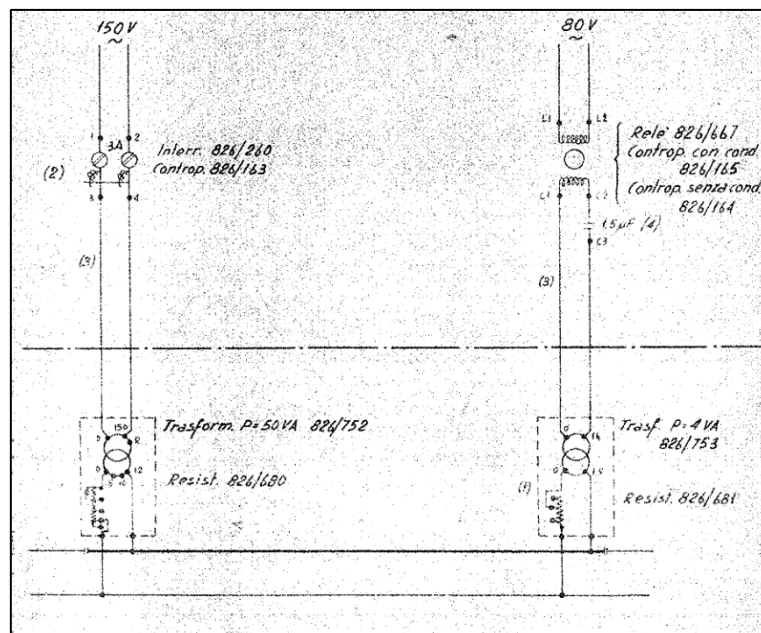


FIGURA 37 SCHEMA ELETTRICO CIRCUITO DI BINARIO

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Esso è costituito da un trasformatore di alimentazione e uno di ricezione con le seguenti caratteristiche:

- TRAFI ALIMENTAZIONE: taglia 50 VA (o 100 VA), primario $V_{1n} = 150 \text{ Vca}$, secondario $V_{2n} = 4 \text{ Vca}$;
- TRAFI RICEZIONE: taglia 4 VA, primario $V_{1n} = 4 \text{ Vca}$, secondario $V_{2n} = 30 \text{ Vca}$.

La tensione secondaria alimenta una delle bobine di un relè a disco a due elementi, mentre l'altra bobina è alimentata a una tensione fissa di 80 Vca. Tali tensioni sono sfasate tra di loro di 90° in maniera da creare una forza magnetomotrice in grado di sollevare un settore ferromagnetico che stabilisce i contatti alti del relè.

Qualora venga a mancare una delle due tensioni alimentanti le bobine del relè esso si diseccita stabilendo i contatti bassi. Generalmente si diseccita la bobina alimentata dalla tensione a 30 Vn "proveniente dai binari", in quanto l'asse del treno cortocircuitando il trasformatore di ricezione porta la tensione praticamente a zero.

CIRCUITI DEI RELÈ L ED f IN FASE DI LIBERAZIONE

Il relè L, detto di liberazione, è già stato chiamato in causa precedentemente in quanto viene diseccitato per consentire la manovra in chiusura del PL: se il treno transita correttamente esistendo le condizioni di sicurezza può riportarsi allo stato di eccitato e permettere la riapertura delle barriere.

Il circuito è esemplificato in *figura 38*.

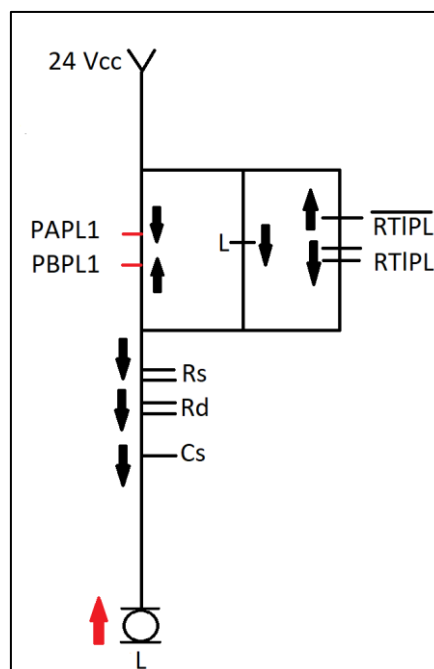


FIGURA 38 CIRCUITO PER LA LIBERAZIONE DEL PL

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO CIRCUITO RELÈ L

La *figura 38* mostra come all'atto del transito del treno i relè PAPL1 e PBPL1 che descrivono lo stato del pedale, stabilendo i contatti lanciano tensione verso il relè L che può riportarsi allo stato di eccitato. Il CDB01 è inserito nel circuito del combinatore M come mostra la *figura 39*.

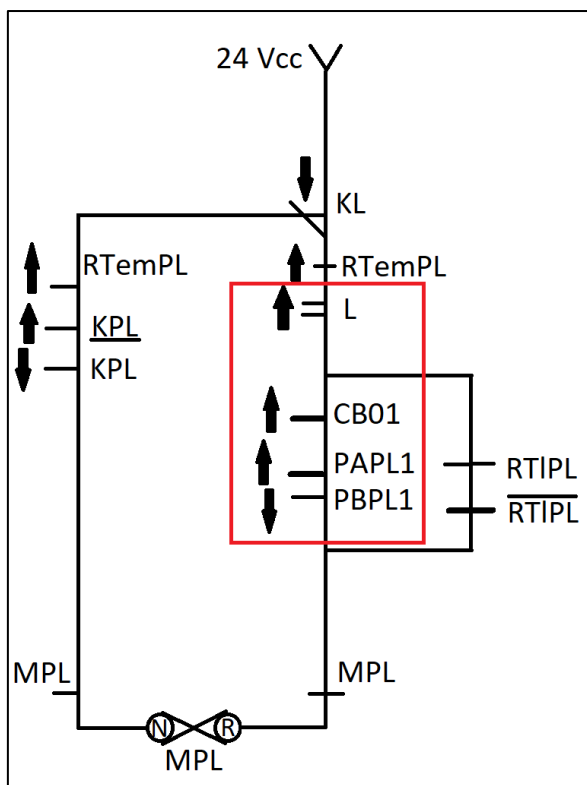


FIGURA 39 CIRCUITO COMBINATORE M IN FASE DI LIBERAZIONE PL

Quindi quando vi sono le seguenti condizioni:

1. Relè L rieccitato;
2. CDB01 libero;
3. Pedale P70 a riposo.

Il ramo Rovescio del combinatore M viene alimentato e le barriere si possono alzare.

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO RELÈ *f*

Il relè *f*, detto di **fine ciclo**, ha il compito di controllare che tutti i relè che avevano cambiato il loro stato per permettere il passaggio in sicurezza del treno siano tornati a riposo. Il circuito esemplificativo è il seguente (*figura 40*):

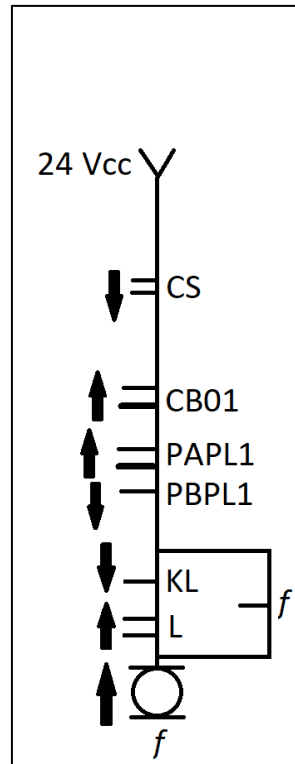


FIGURA 40 CIRCUITO RELÈ DI FINE CICLO

Il relè f , precedentemente diseccitato una volta ottenuto il consenso PL, si pone nello stato di eccitato qualora sussistano le seguenti condizioni:

1. Pedale fluidoelettrico P70 a riposo: PAPL1 \uparrow PBPL1 \downarrow ;
2. Consenso PL caduto (questo accade non appena il treno passa il segnale di partenza della stazione che protegge il PL);
3. Circuito di binario libero: CB01 \uparrow ;
4. Relè L diseccitato (comando in chiusura PL);
5. Relè KL alto: controllo che la richiesta di chiusura (Rd o Rs) sia tornata allo stato OFF.

Qualora il ciclo di apertura non sia andato a buon fine, il relè f resta allo stato di diseccitato impedendo una successiva richiesta e quindi chiusura del PL: in questo caso occorre far intervenire i manutentori IS RFI e analizzare lo stato del guasto.

CIRCUITI DEGLI ALLARMI B e C

Lo schema di principio V308 prevede due segnalazioni di allarme definite di **TIPO B** indicante la mancanza della sorgente di alimentazione e **DI TIPO C** indicante la prolungata chiusura del PL.

L'allarme di tipo B è sommatore delle seguenti condizioni:

- Mancanza sorgente di alimentazione (ENEL o FS);
- Intervento di interruttori a scatto rapido di protezione dell'impianto;
- Guasto al circuito di illuminazione di uno dei segnali stradali;

SCHEMA ELETTRICO ESEMPLIFICATIVO ALLARME B

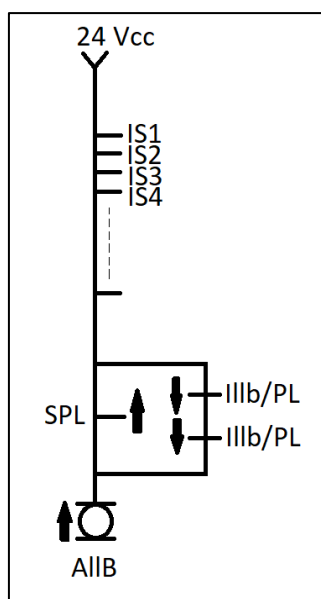


FIGURA 41 CIRCUITO ALLARME B PL

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Non appena il PL viene comandato in chiusura il relè SPL si pone nello stato di OFF ma il relè AIB non si diseccita in quanto la tensione si presenta alle bobine grazie ai contatti dei relè che controllano l'accensione dei segnali stradali. Qualora quest'ultima venga a mancare, il relè AIB si pone nello stato di OFF trasmettendo l'allarme al posto di controllo.

I contatti IS1, IS2, IS3 etc. sono relativi agli interruttori di protezione: qualora vi sia un intervento viene trasmesso l'allarme.

L'allarme di tipo C viene definito di prolungata chiusura e si attiva quando un PL mantiene le barriere chiuse per un tempo superiore ai 15 minuti.

SCHEMA ELETTRICO ESEMPLIFICATIVO ALLARME C

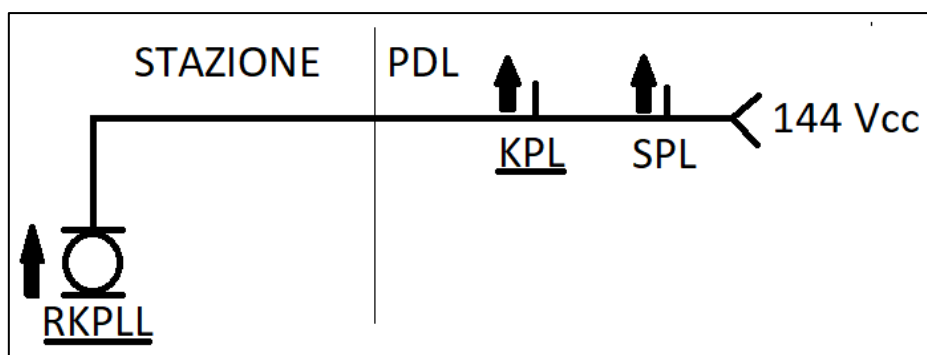


FIGURA 42 CIRCUITO ALLARME C

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Analizzando il circuito di relazione tra il PDL e la stazione di controllo si evince che la diseccitazione del relè SPL, al comando di chiusura del PL con conseguente accensione dei segnali stradali, comporta lo stato di OFF del relè RKPLL al quale è assegnata la funzione di allarme prolungata chiusura. All'interno del locale tecnologico della stazione è presente un circuito temporizzatore che dopo 15 min genera l'allarme acustico e luminoso, trasmettendolo anche al Posto Centrale nel caso la stazione sia esercita in SCC o CTC (non riportato nel disegno).

Oltre alla prolungata chiusura, tale circuito diagnostica anche se **la barriera è stata tallonata in fase di chiusura o apertura**, in quanto il relè KPL risulta nello stato di ON quando la barriera è aperta e in controllo: nel caso questa condizione venga a mancare per più di 15 minuti si genera l'allarme tipo C.

3.4.2 SCHEMA DI PRINCIPIO V305

Lo schema di principio V305 è utilizzato su linee a semplice binario distanziate con Blocco Conta-assi ma e presenta le modalità di comando e controllo indicate in Tabella 21.

| | |
|--|---|
| PROTEZIONE LATO STRADA | Segnale luminoso stradale, barriere intere. |
| PROTEZIONE LATO FERROVIA | Segnale di partenza delle stazioni limitrofe. |
| PROTEZIONE LATO FERROVIA | Segnale proprio secondo Art. 53 RS |
| COMANDO | Itinerario di partenza delle stazioni limitrofe o pedale direzionale.. |
| LIBERAZIONE | Serie pedale fluidoelettrico P70 e Circuito di Binario a una fuga di rotaia |
| SEGNALAZIONI DI CONTROLLO E ALLARME | Una delle stazioni limitrofe |

TABELLA 21 MODALITÀ DI COMANDO E CONTROLLO DI UN PL V305

Differentemente dallo schema V308 il passaggio a livello da un lato è comandato da itinerario di partenza e protetto lato ferrovia dal segnale di partenza stesso. Per i movimenti opposti è comandato da apposito pedale direzionale tipo SILEC FORFEX e protetto da apposito segnale secondo Art.53 Regolamento Segnali (vedi Allegato 1). Le modalità di liberazione e protezione lato strada sono le medesime dello schema V308.

Tali schemi vengono generalmente implementati su quei PL che sono ubicati nelle vicinanze di una stazione e abbastanza distanti dall'altra da giustificare l'utilizzo.

Gli schemi di principio V308 e V305 sono molto simili tra loro e si riportano di seguito le principali differenze, partendo dal piano schematico tipico rappresentato in *figura 43*.

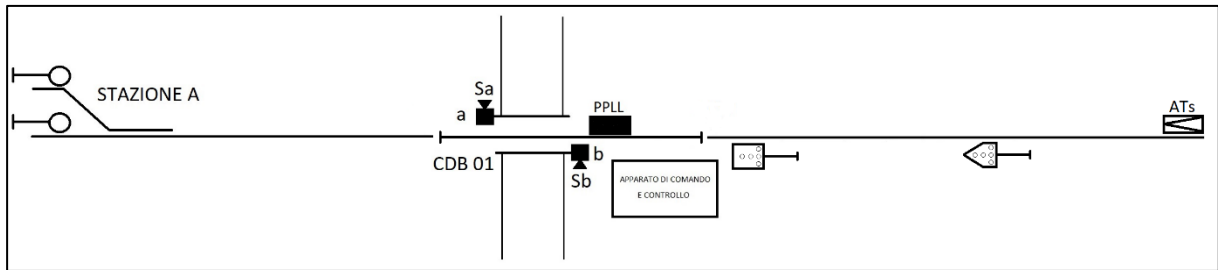


FIGURA 43 PIANO SCHEMATICO V305

Il treno partendo dalla stazione A, se esiste il collegamento di sicurezza col PL, oltrepasserà il segnale disposto a via libera il quale conferma la regolare chiusura delle barriere, l'accensione dei segnali stradali e il regolare completamento del ciclo precedente.

CIRCUITI PER LA RICHIESTA DI CHIUSURA

Per la chiusura tramite itinerario di partenza il circuito è rappresentato in *figura 44*.

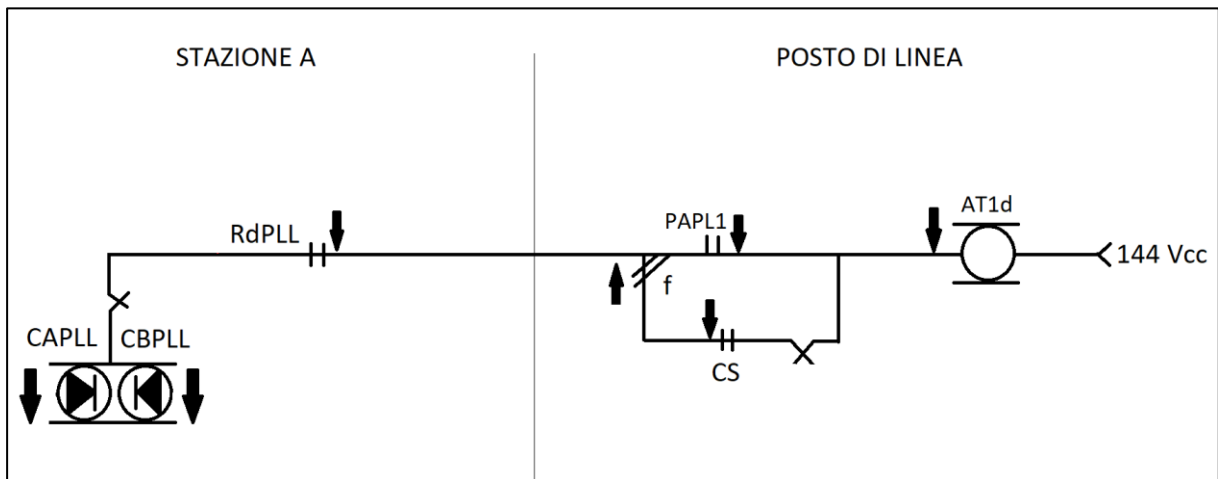


FIGURA 44 CIRCUITO RICHIESTA DESTRA V305

Il principio di funzionamento è il medesimo dello schema V308 eccezion fatta per l'inserimento dei contatti bassi del relè PAPL1 in maniera da verificare che il treno precedente alla richiesta abbia azionato correttamente i pedali di liberazione, e per la denominazione del relè di richiesta: AT1d (Annuncio Treni destro).

Per i movimenti sinistri è il treno che azionando il pedale di comando tramite il bordino della ruota invia la richiesta di chiusura. Possono presentarsi due casi:

1. Il pedale di comando funziona correttamente e il PL si chiude: il segnale di avviso e di protezione propria del PL si dispongono a via libera; il macchinista affronterà l'intersezione strada/rotaia alla velocità di linea;
2. Il pedale di comando non invia la richiesta di chiusura per un malfunzionamento: il segnale di avviso rimane disposto al giallo e la protezione a via impedita; il macchinista arresterà la marcia prima dell'attraversamento stradale. Questo sottolinea il fatto che una mancata chiusura pone il sistema in uno stato sicuro: infatti anche se il macchinista

dovesse erroneamente superare il segnale il sistema CMT lo arresterebbe essendo il segnale di protezione disposto a via impedita.

Lo schema elettrico esemplificativo per la richiesta di chiusura sinistra è rappresentato in *figura 45*.

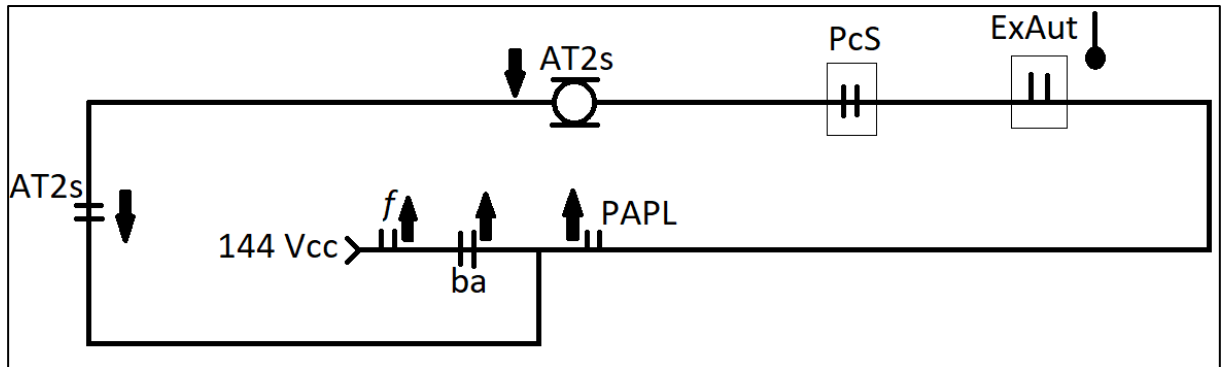


FIGURA 45COMANDO DI CHIUSURA SINISTRO V305

Diversamente dallo schema di comando V308 il relè che abilita la chiusura del PL (AT2s) è controalimentato; infatti esso si pone inizialmente nello stato di eccitato per effetto del pedale direzionale di comando (si stabiliscono i contatti del Pcs – Pedale di Comando Sinistro-) alimentando il relè tramite il ramo destro se sussistono le seguenti condizioni:

- Il ciclo di chiusura e apertura si è concluso correttamente: relè $f \uparrow$;
- Il pedale di liberazione è a riposo: relè PAPL \uparrow ;
- La sezione di blocco contenente il PL è occupata da rotabili: relè $ba \uparrow$, questa condizione è necessaria per non chiudere le barriere a causa di un errato azionamento del pedale;
- La leva ExAut non è stata azionata: tale dispositivo serve per escludere il circuito di comando in fase di manutenzione o circolazione di mezzi d'opera.

Una volta che il pedale di comando è tornato a riposo, il relè di annuncio resta nello stato ON grazie ai suoi contatti tramite il ramo di sinistra: tale soluzione è necessaria perché i pedali elettromeccanici rilevano il passaggio del treno tornando nella posizione iniziale non appena questo è transitato.

Il consenso alla stazione limitrofa viene inviato esattamente come per lo schema V308 mentre, in caso di azionamento automatico per movimenti sinistri, il consenso permette al segnale di protezione di disporsi a via libera e all'avviso di disporsi al verde.

In *figura 46*, che rappresenta il circuito di consenso e manovra segnali dello schema V305, sono presenti i seguenti relè:

1. Savv: relè responsabile della disposizione al verde del segnale di avviso;
2. S: relè che se eccitato permette al segnale di protezione di disporsi a via libera.

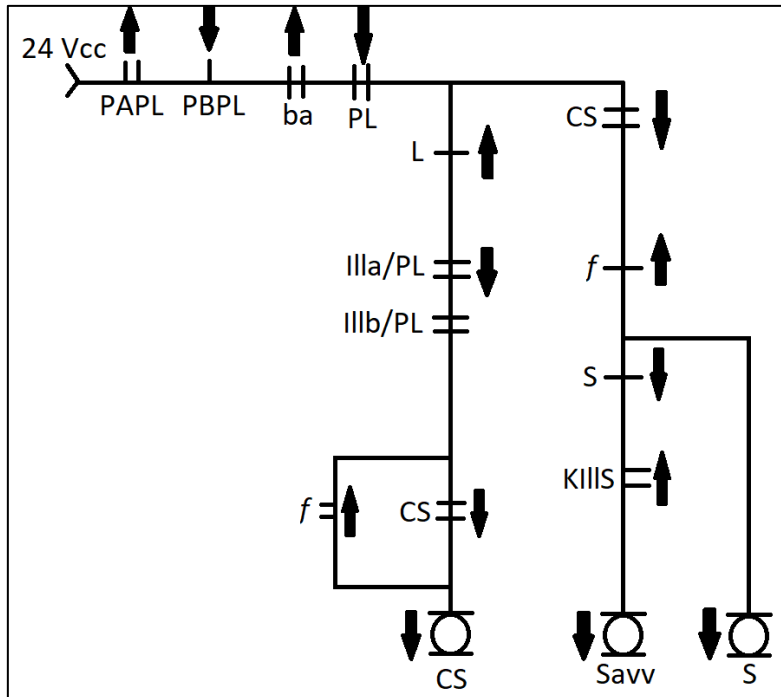


FIGURA 46 CIRCUITO DI CONSENSO E MANOVRA SEGNALI V305

La soluzione mitigativa che verrà proposta nel capitolo 5 è applicabile al PL per i movimenti treno destri nel caso in esame. Infatti il segnale di protezione proprio (Art. 53 RS) è ubicato in prossimità del PL (o gruppo di PL) e associato vi è sempre un punto Informativo SCMT di tipo commutato. Tale implementazione conferisce al sistema di protezione un elevato livello di sicurezza.

CAPITOLO 4

IL SISTEMA DI CONTROLLO DELLA MARCIA DEL TRENO

In questo capitolo viene descritto il Sistema di Controllo della Marcia del Treno (SCMT), uno dei sistemi di supporto alla condotta in utilizzo sull'infrastruttura ferroviaria nazionale. Tale sistema ha permesso di aumentare il livello di sicurezza degli impianti di segnalamento e dunque dell'esercizio ferroviario, in quanto controlla la marcia del treno arrestandolo o decelerandolo qualora non vengano rispettati i vincoli di sicurezza. Dopo una breve descrizione delle funzionalità e dell'architettura verrà descritto il Sistema INFILL, tecnologia associata all'SCMT di recente applicazione parte integrante della soluzione proposta nella seguente tesi.

4.1 FUNZIONALITÀ DEL SCMT

Il SCMT è stato sviluppato a partire dal 2000 sull'infrastruttura gestita da RFI; il compito principale è quello di fornire un ausilio al macchinista, in quanto esso continua a operare con le consuete modalità (il sistema è definito **trasparente**) ma quando determinati vincoli di sicurezza non vengono rispettati (velocità, superamento segnale a via impedita, etc) il sistema interviene **ponendo il treno in uno stato sicuro**.

Il sistema è costituito dai seguenti sottosistemi illustrati in *figura 47*.

- SOTTOSISTEMA DI BORDO (installato sul rotabile);
- SOTTOSISTEMA DI TERRA (installato sull'infrastruttura ferroviaria).



FIGURA 47 SSB E SST DEL SISTEMA CMT

Il sistema realizza la protezione verificando il rispetto:

1. Dei segnali fissi (di 1^a categoria e di protezione propria dei PL con barriere);
2. Della velocità massima ammessa sugli itinerari (arrivo/partenza/transito) delle località di servizio;
3. Della velocità massima ammessa dalla linea, in relazione al rango dei rotabili componenti il convoglio;
4. Della velocità massima ammessa dalla frenatura;
5. Della velocità massima ammessa dal materiale rotabile;
6. Della velocità massima ammessa dai rallentamenti;
7. Della corretta inserzione/disinserzione del RSC (Ripetizione dei Segnali Continua) in macchina nelle linee con BACC.

Quando i vincoli elencati non vengono rispettati, l'apparecchiatura di bordo del SCMT mediante il controllo di velocità (CV) interviene come di seguito indicato:

- Al superamento della velocità massima ammessa (**curva nominale**) aumentata di un margine operativo (**curva di allerta**), viene attivata una segnalazione acustico/luminosa (suono intermittente/luce rossa fissa sul tachimetro) con associato il taglio trazione e la frenatura elettrica se esistente;
- Al superamento di un ulteriore margine di controllo (**curva di controllo**) viene attivata anche la frenatura d'urgenza (frenatura pneumatica) con associata una segnalazione acustico/luminosa diversa dalla precedente (suono continuo/luce rossa lampeggiante sul tachimetro).

Nella fase di arresto del treno verso un segnale a via impedita, la protezione è attiva dalla velocità massima alla velocità di 30 km/h (**velocità di rilascio**) o, in situazioni particolari, alla velocità di 10 km/h (**velocità di rilascio ridotta**). Nel caso di superamento indebito di segnale a via impedita rimane comunque attiva la funzione taglio trazione e frenatura di emergenza (**TRAIN TRIP**).

Il sistema realizza anche le seguenti funzioni di sicurezza:

- Funzione di RSC a più di quattro codici con Controllo di Velocità (CV);
- Funzione di controllo della velocità massima di 150 km/h con funzione RSC non attiva;
- Funzione di controllo della velocità massima di 100 km/h in assenza di protezione SCMT e con inserito il dato treno "1" (agente di condotta unico);
- Funzione INFILL che consente la liberazione anticipata della marcia del treno rispetto vincoli più restrittivi imposti dal treno precedente;
- Funzione vigilante realizzata attraverso il controllo della presenza e vigilanza dell'agente di condotta (funzione non escludibile);
- Funzione di controllo della condizione di convoglio fermo con apparecchiatura dotata di funzione vigilante dissociabile (escludibile).

La funzione vigilante viene attivata attraverso l'azionamento di appositi dispositivi (pedale, pulsante, etc.) da parte dell'agente di condotta: serve quindi a verificare in sicurezza che il macchinista non sia stato colto da malore o sia assente della cabina di guida.

In *figura 48* viene illustrata la curva di frenatura che il sistema controlla quando il treno si sta approssimando a un segnale a via impedita. Come indicato in Allegato 1 l'agente di condotta una volta superato il segnale che ha avvisato una via impedita, deve portarsi a una velocità di 30 km/h 200 m prima del segnale stesso: da questo punto in poi il SCMT interviene solo in caso di TRAIN TRIP, di conseguenza la marcia al di sotto dei 30 km/h è affidata e controllata unicamente dall'agente di condotta.

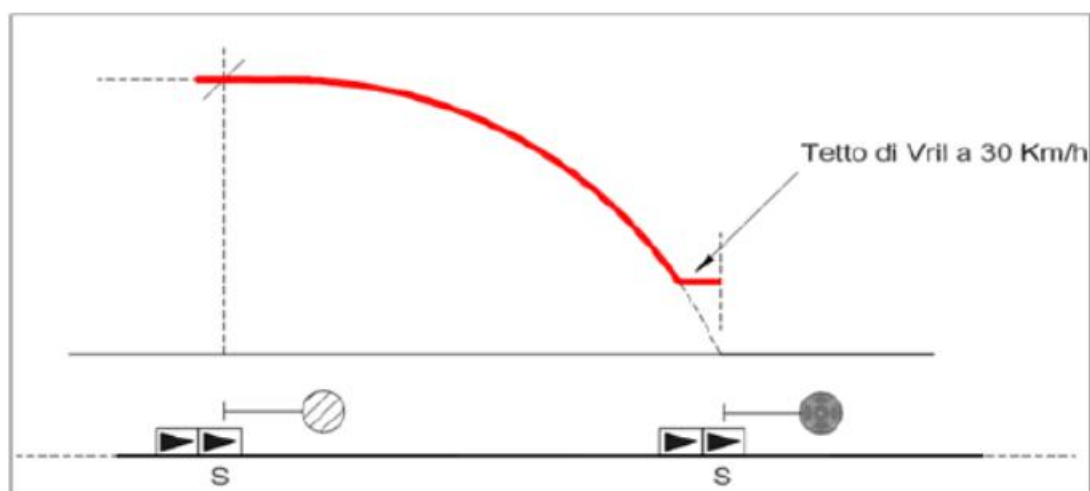


FIGURA 48 CURVA DI FRENATURA SCMT

L'apparecchiatura SCMT non fornisce specifiche indicazioni circa la velocità massima ammessa e/o spazio, salvo l'indicazione, attraverso specifiche icone, della velocità di rilascio ridotta e delle segnalazioni INFILL.

I vantaggi del SCMT sono tutti in termini di SICUREZZA dell'esercizio ferroviario in quanto grazie ad esso è aumentata l'affidabilità della marcia del treno tanto che l'ANSF ne ha obbligata l'installazione in tutte le linee nazionali (non solo RFI).

Gli altri sistemi ATP (Automatic Train Protection) sono:

1. SSC (Sistema di Supporto alla Condotta): ha le stesse funzionalità dell'SCMT ma risulta semplificato quindi applicabile su linee a scarso traffico e con velocità inferiori ai km/h;
2. ERTMS/ETCS (European Railway Train Mobile System/European Train Control System) che esprime, attraverso le Specifiche tecniche d'Interoperabilità, un sistema europeo per il controllo della marcia del treno. Nel Livello 2 il sistema fornisce al macchinista tutte le informazioni necessarie per una guida strumentale, controllando con continuità tutti gli effetti del suo operato sulla sicurezza della marcia del treno e attivando la frenatura di emergenza qualora la velocità superi quella di sicurezza. Le

informazioni vengono trasmesse al sottosistema di bordo grazie al canale radio GSM-R (Global System Mobile-Railway) di proprietà di RFI, mentre le antenne a terra svolgono principalmente funzione di rilevamento di posizione. Attraverso il canale radio il sottosistema di bordo apprende dal RBC (Radio Block Center, il sistema che centralizza le informazioni sulla libertà della via) le autorizzazioni al movimento per il treno.

In *figura 49* vengono indicate le reti RFI attrezzate SCMT, SSC e ERTMS L1 e L2 al 01/2019.



FIGURA 49 ESTENSIONE DELLE RETI ATC IN ITALIA

4.2 ARCHITETTURA DEL SOTTOSISTEMA DI BORDO

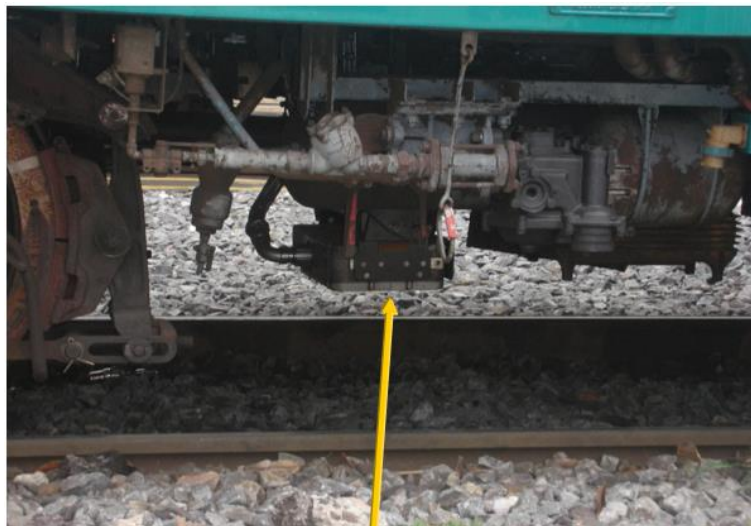
Risulta utile analizzare, quali sono i componenti costituenti il SSB SCMT. Esso calcola la velocità massima consentita istante per istante sulla base delle informazioni provenienti dal sottosistema di terra e dei dati caratteristici del treno (velocità dei rotabili, percentuale di massa frenata esistente, etc) e interviene qualora la velocità reale del convoglio sia superiore a quella massima consentita.

Il SSB è costituito dalle seguenti apparecchiature:

1. Antenna di trasmissione/captazione RSDD (Ripetizione Segnali Digitali Discontinui);
2. Captatori RSC (Ripetizione dei Segnali Continua con BACC);
3. Elaboratore di bordo;
4. Gruppo Pneumatico (Inseritore Generale);
5. Commutatore Esclusione Apparecchiatura (CEA);
6. Dispositivi di interfaccia uomo macchina (cruscotto, avvisatore acustico, tachimetro);
7. Dispositivi di interfaccia (pedali, pulsanti, etc) per la gestione delle funzioni di controllo e vigilanza;
8. Dispositivo di dissociazione (esclusione) funzione vigilante (EVIG).

ANTENNA DI TRASMISSIONE/CAPTAZIONE RSDD

Posta nella parte sottostante al rotabile con lo scopo di fornire energia alle boe (antenne facenti parte del Sottosistema di Terra) e ricevere informazioni dalle stesse.



Antenna Eurobalise

FIGURA 50 PARTICOLARE ANTENNA EUROBALISE

CAPTATORI RSC

Posti anch'essi nella parte sottostante del rotabile con lo scopo di captare i codici BACC e INFILL.

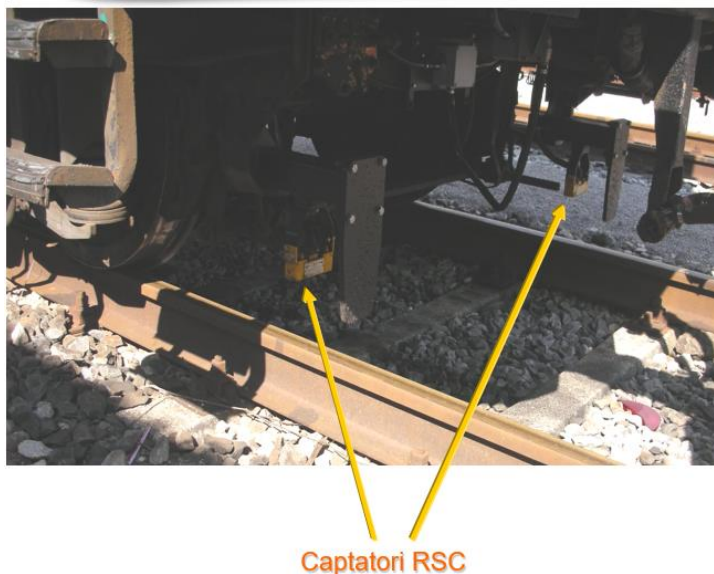


FIGURA 51 PARTICOLARE CAPATORI RSC

ELABORATORE DI BORDO

Costituito da un'apparecchiatura con logica a microprocessore contenuta in apposito armadio alimentata a 24 Vcc (o 110 Vcc). Tale apparecchiatura dispone di diagnostica residente e guida operatore.

GRUPPO PNEUMATICO

Consente l'inserimento elettrico e pneumatico del SCMT attraverso l'azionamento di un sezionatore (Inseritore Generale) e realizza, su comando dell'elaboratore di bordo, lo scarico dell'aria in condotta generale per ottenere la frenatura d'emergenza quando necessario. Inoltre l'inseritore generale, nella posizione di apparecchiatura SCMT inserita, fornisce un consenso alla trazione del locomotore (senza il consenso non vi è moto). Il gruppo pneumatico su determinati rotabili può essere ridondato.

COMMUTATORE ESCLUSIONE APPARECCHIATURE (CEA)

Consente l'esclusione elettrica dell'SCMT ed è da azionare solo in caso di guasto che impone la disinserzione del gruppo pneumatico (ISOLAMENTO). Tala commutatore in posizione di apparecchiatura esclusa permette il consenso alla trazione del locomotore.

DISPOSITIVO DI DISSOCIAZIONE FUNZIONE VIGILANTE (EVIG)

Se presente consente la dissociazione della funzione vigilante.

DISPOSITIVI DI INTERFACCIA UOMO MACCHINA

Il sottosistema di bordo comprende per ogni cabina di guida i dispositivi d'interfaccia uomo-macchina rappresentati in *figura 52*.

1. **CRUSCOTTO:** monitor atto a visualizzare le informazioni relative ai codici RSC, ai dati caratteristici del convoglio e all'orario. Inoltre vengono visualizzati attraverso simboli e icone le esclusioni delle funzioni SCMT e/o RSC, la velocità di rilascio ridotta, le velocità INFILL, la stabilizzazione della funzione TRAIN TRIP, la velocità del convoglio nel caso di esclusione del tachimetro per guasto, l'intervento della frenatura di emergenza comandata dalla funzione vigilante, nonché i codici di errore e i messaggi di guasto o anomalità. Il cruscotto contiene inoltre un pulsante RIC per il riconoscimento dei codici RSC; un pulsante PRE per il pre riconoscimento dei codici RSC; un pulsante RF per il riarmo del freno; un pulsante SR per attivare il supero rosso; un pulsante RSC per attivare o disattivare la funzione RSC. Per ottenere l'esclusione/reinclusione dell'SCMT si utilizza il pulsante omonimo che si accende a luce blu fissa con funzione inserita.
2. **AVVISATORE ACUSTICO:** costituito da una suoneria multitonale che integra le funzioni SCMT e RSC visualizzate sul cruscotto e fornisce lo scadere dei tempi di vigilanza.
3. **TACHIMETRO (con associati due indicatori ottici, rosso e blu):** di tipo analogico con indicazione della velocità attraverso un indice controllato. Gli indicatori ottici quando accesi indicano:
 - a. Quello posto a sinistra il CV attivo o non attivo (luce fissa blu o lampeggiante);
 - b. Quello posto a destra l'intervento del CV (luce rossa fissa o lampeggiante).

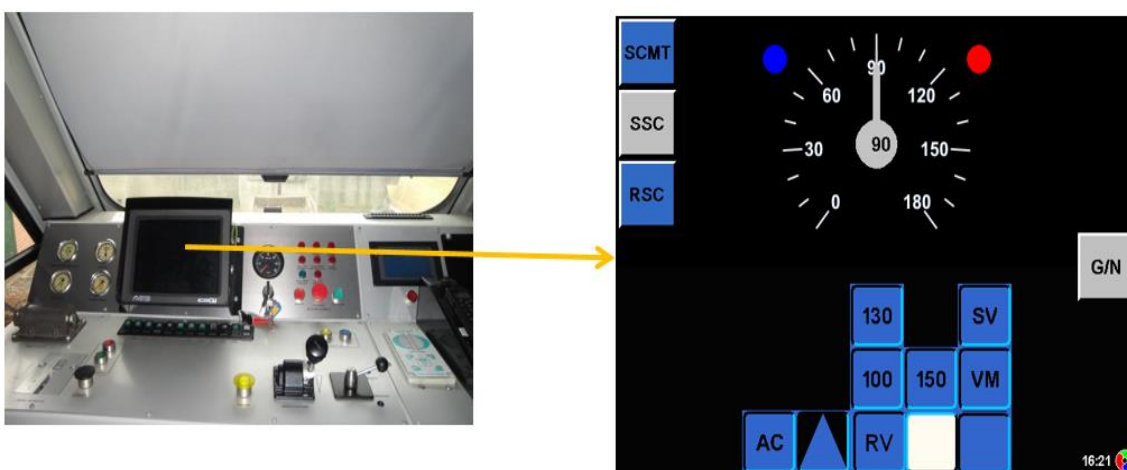


FIGURA 52 CRUSCOTTO DI BORDO DEI ROTABILI ITALIANI

4.3 ARCHITETTURA DEL SOTTOSISTEMA DI TERRA

Il SST e il SSB si interfacciano tramite l'elemento trasmittente del SST (BOA) e ricevente del SST (antenna) e un Air Gap definito.

A sua volta il SST si interfaccia con gli impianti segnalamento (ACEI, ACC, etc) acquisendo all'ingresso dei propri encoder le informazioni occorrenti per la selezione dei telegrammi da inviare al SST per mezzo delle BOE (Eurobalise) organizzate in Punti Informativi (PI). Oltre alle informazioni di segnalamento, il SST fornisce, tramite PI costituiti da boe non collegate all'encoder, i parametri caratteristici della linea e gli eventuali rallentamenti.

Qualora la linea sia esercita con BACC, i PI saranno costituiti da boe non collegate a encoder in corrispondenza dei segnali di blocco (PBA), il cui aspetto viene trasmesso tramite i codici del BACC.

Di conseguenza le boe possono trasmettere un'informazione fissa (un unico telegramma) oppure un'informazione variabile (funzione dell'aspetto dei segnali) quando sono collegate ad encoder che si interfacciano con gli apparati di sicurezza di stazione o di linea o con il segnale (caso Encoder da Segnale).

L'architettura del sistema di acquisizione via air gap è esemplificata in *figura 53*.

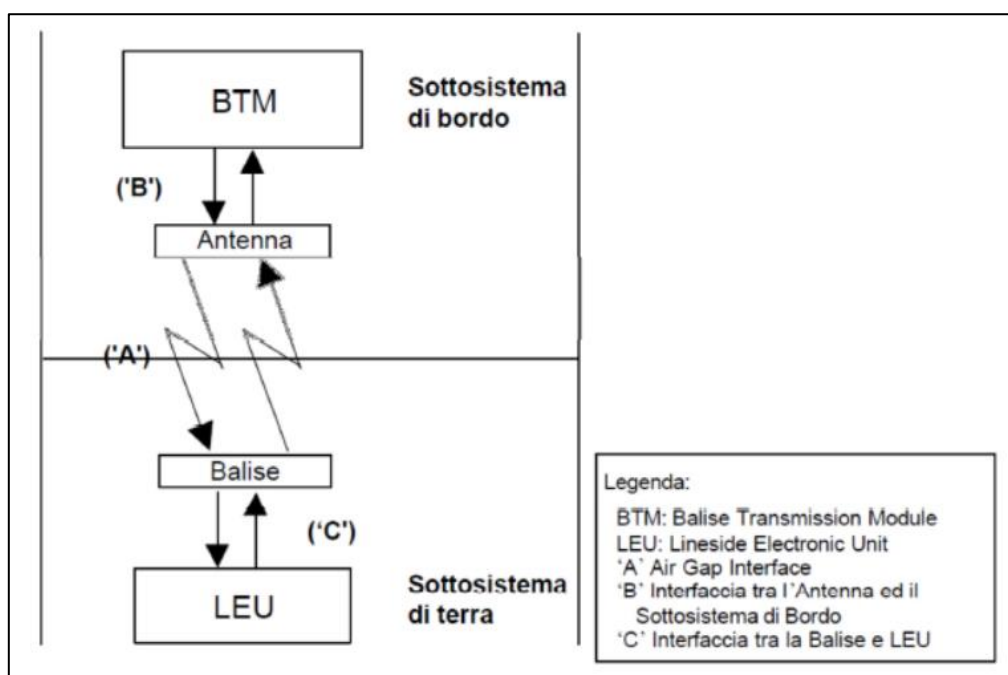


FIGURA 53 ARCHITETTURA SISTEMA DI ACQUISIZIONE SCMT

La comunicazione tra il SST e il SSB non è continua (se non sono presenti informazioni di distanziamento derivate dai codici BACC) essendo possibile solo in corrispondenza delle boe. Gli encoder (LEU) sono collegati alle boe per mezzo dell'interfaccia "C" indicata in *figura 53* e

non presentano caratteristiche tecnologiche in contrasto con le specifiche tecniche di interoperabilità.

Le boe non sono alimentate e trasmettono il proprio telegramma al passaggio del treno quando sono eccitate dal campo elettromagnetico prodotto dall'antenna posta a bordo del veicolo (trasmissione induttiva).

Le informazioni trasmesse dal SST sono integrate con le eventuali informazioni provenienti dai codici del BACC e con le caratteristiche frenanti del proprio treno, calcolabili grazie a un insieme di parametri introdotti dall'AdC ad inizio missione ed elaborate da un calcolatore posto a bordo. L'esito dell'elaborazione è il calcolo del profilo dinamico, che corrisponde alla velocità massima ammessa puntualmente, al fine di evitare svii o deragliamenti o di superare un punto protetto.

Il calcolatore confronta, ad ogni ciclo di macchina, le velocità del treno, misurata attraverso gli odometri, con il profilo dinamico, fino a comandare, in ultima istanza l'intervento della frenatura d'emergenza qualora tale profilo non fosse rispettato.

L'architettura completa del SCMT è rappresentata in *figura 54*.

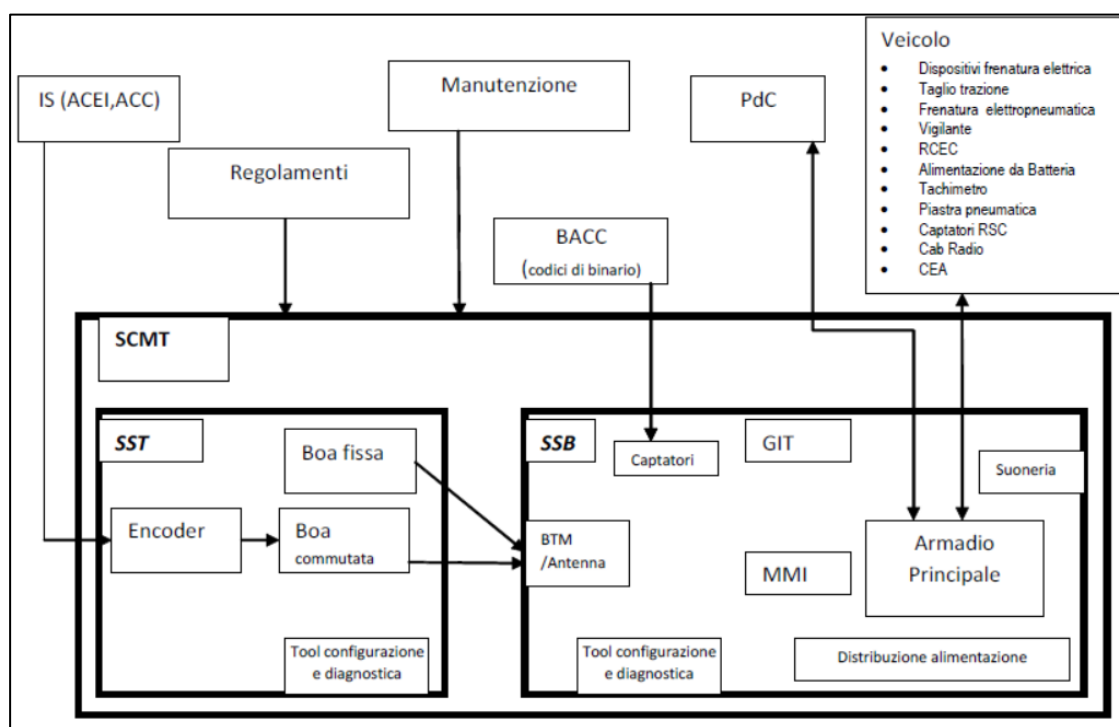


FIGURA 54 ARCHITETTURA COMPLETA SISTEMA SCMT

Il SST rende quindi disponibili, sotto forma di informazioni binarie codificate (telegrammi), i dati relativi allo stato della via e delle caratteristiche della linea necessari per il controllo della marcia del treno. I dati possono essere di tipo:

- Variabile, se subiscono variazioni in funzione della circolazione e degli itinerari in atto (di norma i segnali);

- Semifisso, se di carattere temporaneo ma che non subiscono variazioni nel periodo di validità (di norma i rallentamenti);
- Fisso, se di carattere permanente (velocità della linea, grado di frenatura della linea, etc).

Come indicato in *figura 54*, le interfacce del sistema SCMT con l'esterno sono verso:

1. Veicolo;
2. Agente di condotta;
3. Regolamenti e normative;
4. Organizzazione e procedure di manutenzione;
5. Impianti di sicurezza e segnalamento di località di servizio e di linea.

L'interfaccia con gli apparati degli impianti di segnalamento a logica cablata (sale relè) avviene secondo due differenti modalità:

1. CONFIGURAZIONE BASE DI SISTEMA: costituita da ingressi digitali vitali, con alimentazione fornita da armadio encoder, utilizzanti per le logiche di selezione dei telegrammi contatti elettrici dell'impianto IS liberi da tensione;
2. CONFIGURAZIONE ALTERNATIVA: costituita da ingressi digitali vitali che acquisiscono condizioni di contatti elettrici alimentati da impianti IS nel range 18÷70 V.

L'acquisizione degli ingressi all'encoder avviene a un livello di sicurezza non inferiore a quello previsto per la realizzazione degli impianti di sicurezza con relè FS.

Nelle logiche cablate risultano interfacciate le seguenti tipologie di impianti:

- Apparati IS per posti di servizio (Stazioni, Posti di Movimento, Bivi, Posti di comunicazione);
- Apparati IS di linea per il distanziamento dei treni (Posti di Blocco Intermedi, garitte di Blocco Automatico BACC, BACF o BCA);
- Apparati IS di linea per la protezione dei Passaggi a Livello realizzati nelle varie modalità funzionali e tipologie tecnologiche presenti nella rete;
- Enti di linea presenti per particolari situazioni impiantistiche (es. protezione caduta massi).

Gli impianti ACC (Apparati Centrali Computerizzati) si interfacciano con il SST fornendo informazioni analoghe a quelle previste per gli apparati IS a relè per realizzare la selezione dei telegrammi per la protezione rispetto ai segnali fissi. La modalità d'interfaccia avviene:

1. In PARALLELO con l'utilizzo di ingressi digitali vitali, con alimentazione fornita da armadio encoder, utilizzanti contatti elettrici liberi da tensione di relè di interfaccia gestiti dall'ACC;
2. SERIALE con l'utilizzo di ingressi digitali vitali forniti dall'ACC con collegamento seriale con l'encoder SCMT, con analoghi contenuti di logica funzionale.

Esiste anche la possibilità che l'ACC o ACCM (Apparato Centrale Computerizzato Multistazione) siano progettati con SCMT integrato.

4.4 IL BLOCCO AUTOMATICO A CORRENTI CODIFICATE

Il Blocco Automatico a Correnti Codificate è così definito perché i segnali di blocco, normalmente disposti a via libera (con eccezione dei segnali delle località di servizio), si dispongono automaticamente a via impedita nel momento in cui vengono superati da un treno, e si ridispongono a via libera con la liberazione dalla sezione di blocco protetta.

Il funzionamento del BACC è basato sull'impiego di circuiti di binario (CdB), attrezzati con connessioni induttive, la cui lunghezza, per motivi tecnologici è limitata a 2000 m. L'alimentazione dei CDB avviene in corrente alternata con portanti a 50 Hz, codificate mediante una successione di ON-OFF della medesima durata. Dall'estensione del periodo di queste interruzioni scaturiscono i codici: 75 – 120 – 180 – 270. Essi sono ottenuti interrompendo ciclicamente l'alimentazione dei CdB rispettivamente 75 – 120 -180 -270 volte in un minuto (frequenza del codice). I 4 codici illustrati sono ammessi su linee con velocità non superiore a 180km/h; per velocità superiori o segnalazione di particolari situazioni di esercizio (es. itinerari deviati a 100 km/h, riduzione della velocità a 15 km/h per lavori) viene introdotta un'ulteriore portante alla frequenza di 178 Hz anch'essa codificata con le modalità sopra descritte. I codici utilizzati per questa seconda frequenza sono limitati al 75 e 120 e, combinati con i codici alla frequenza di 50 Hz, generano nuovi codici come da Tabella 22.

| CODICE RICEVUTO | 50 Hz | 178 Hz | SIGNIFICATO DEL SUCCESSIVO SEGNALE |
|------------------------|--------------|---------------|--|
| 75 | 75 | - | Via impedita |
| 120 | 120 | - | Via libera con riduzione di velocità a 30, 60 km/h |
| 120* | 120 | 75 | Via libera con riduzione di velocità a 100 km/h |
| 120** | 120 | 120 | Via libera con riduzione velocità a 130 km/h |
| 180 | 180 | - | Via libera con preavviso di via impedita o via libera con riduzione di velocità o velocità massima ridotta \leq 150 km/h |
| 180* | 180 | 75 | Via libera con riduzione di velocità a 100 km/h o 130 km/h o velocità massima ridotta a 150 km/h |
| 270 | 270 | - | Via libera a velocità massima 180 km/h |
| 270* | 270 | 75 | Via libera a velocità massima 230 km/h |
| 270** | 270 | 120 | Via libera a velocità massima 250 km/h |

TABELLA 22 CODICI DEL BACC E CORRELAZIONE CON LE VELOCITÀ AMMESSE

In figura 55 è riportato un esempio di codice 120.

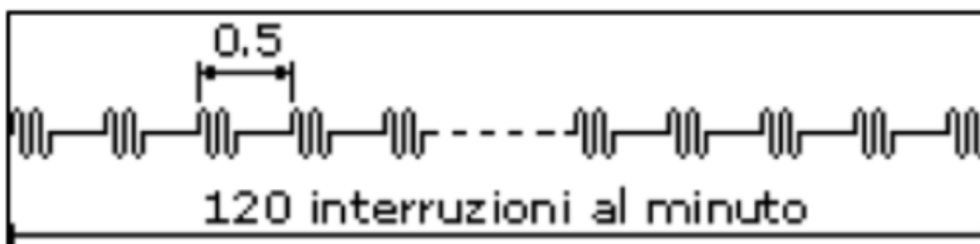


FIGURA 55 ESEMPIO ANDAMENTO CODICE 120

I codici immessi al binario sono ricevuti dal Posto di Blocco Automatico di monte e, opportunamente decodificati, sono utilizzati anche ai fini della logica di segnalamento. Funzionalmente è sempre garantita una sequenza di codici la cui regolarità permette il sicuro svolgimento dell'esercizio. Una irregolare sequenza dei codici può portare a un intervento intrusivo sulla marcia fino alla frenatura di emergenza.

La ripetizione dei segnali a bordo si realizza mediante l'accoppiamento induttivo tra il flusso magnetico prodotto dalla corrente codificata che circola nelle due rotaie e si richiude attraverso gli assi del treno, e due bobine (captatori) opportunamente collegate tra loro, poste trasversalmente al binario a 20 cm di altezza dal piano di rotolamento delle rotaie, davanti al primo asse. Poiché questo accoppiamento si possa stabilire, è indispensabile che l'alimentazione dei CdB avvenga sempre contro treno.

In figura 56 è rappresentato un esempio di sequenza codificata in un tratto di linea tra due stazioni.

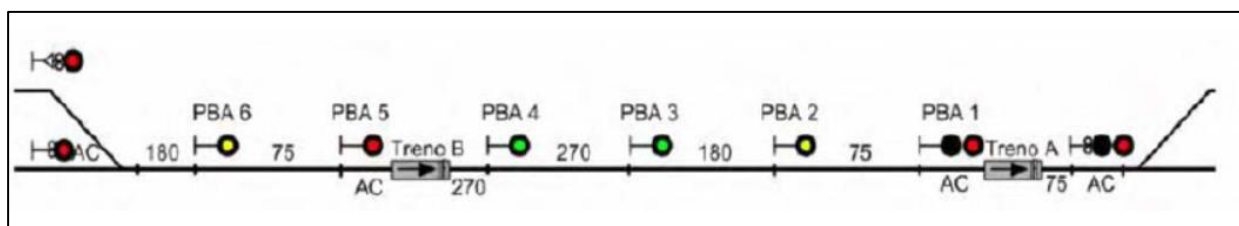


FIGURA 56 ESEMPIO DI SEQUENZA CODIFICATA IN UNA TRATTA BACC

Il Sottosistema di Bordo che realizza la sola funzione RSC (anche se in realtà non è più previsto un solo attrezzaggio con il solo BACC ma sempre insieme al SCMT) sulla base delle informazioni provenienti dal Sottosistema di Terra (i codici) e di quelle configurate nell'apparecchiatura (caratteristiche frenanti del treno), elabora tetti e curve di velocità che il treno deve rispettare, salvo determinati margini operativi.

A ogni codice acquisito a bordo è associato un tetto di velocità; questo valore è il massimo ammesso con la presenza di tale codice o rappresenta la velocità di target se proveniente da un codice di velocità superiore. Per il codice 75 il target è rappresentato dalla velocità nulla, salvo l'applicazione della velocità di rilascio.

Lo sviluppo delle curve per il raggiungimento del target è operato con valori di default, sia per i parametri della linea e delle caratteristiche e prestazioni dei veicoli che per la distanza tra segnali. Per questa ultima è presa a riferimento la distanza di 1350 m; per i codici 75 e 120 è ammessa una distanza minima di 900 m, fatta salva l'estesa complessiva con il precedente codice 180 di 2700 m.

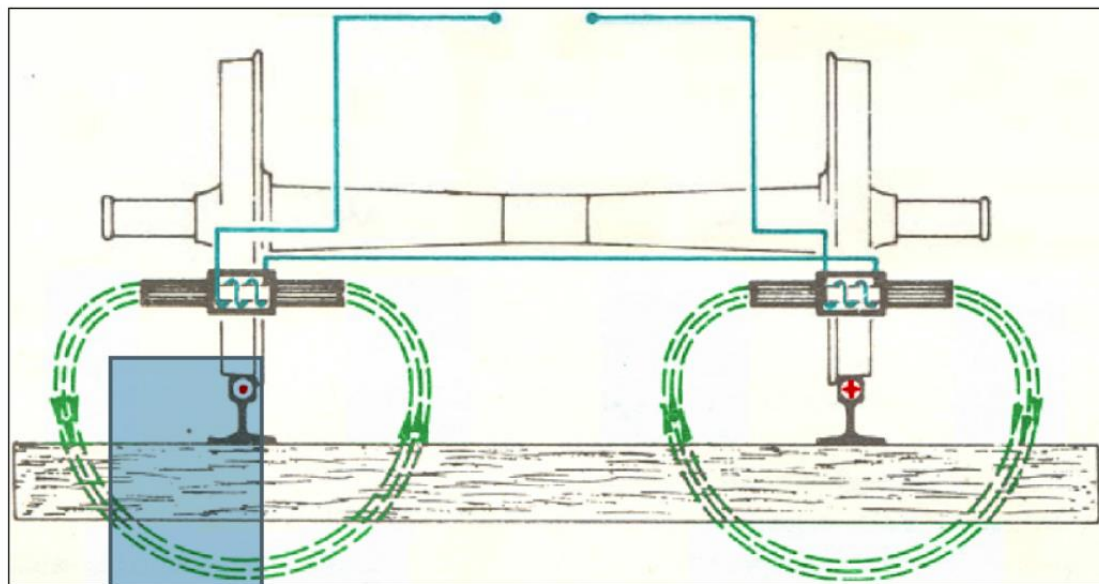


FIGURA 57 CAPTATORI RSC

Il Blocco Automatico a Correnti Codificate, come tutti gli impianti di segnalamento ferroviario è progettato e costruito con livello di sicurezza intrinseca (SIL) pari a 4.

Esso garantisce un'assistenza alla condotta del treno di tipo continuo come i sistemi ERTMS/ETCS L2, garantendo una velocità massima ammissibile pari a 180 km/h.

4.5 DEFINIZIONE DELLE VARIABILI DEI TELEGRAMMI SCMT

Il SSB acquisisce le informazioni dal SST attraverso le boe (trasponder) installate lungo la rete ferroviaria. Le informazioni contengono un messaggio digitale chiamato telegramma all'interno del quale sono quantificate delle variabili che vengono poi processate dalla logica SCMT per la costruzione della curva di frenatura e per gli interventi in emergenza se necessario.

La quantificazione ha come documentazione di riferimento:

1. La prefazione generale all'orario di servizio (PGOS);
2. Fascicolo Circolazione Linee (FCL) nel quale vengono indicati i ranghi di velocità, i gradi di frenatura della linea, i punti singolari, le stazioni, i segnali, le modalità di distanziamento della linea, etc.;
3. Piani schematici delle stazioni e tabelle aspetto segnali.

Quindi, dagli strumenti tradizionalmente usati dal macchinista per la condotta del treno si costruisce il “controllore trasparente SCMT”.

La Tabella 23 riassume le tipologie di Punti Informativi (PI) e le funzioni a essi associate.

| PI | FUNZIONE |
|---------------|--|
| TIPO A | AVVISO PURO |
| TIPO FV E aFV | VARIAZIONE GRADO DI FRENATURA E VELOCITÀ DI LINEA |
| TIPO V E aV | VARIAZIONE VELOCITÀ DI LINEA |
| TIPO F E aF | VARIAZIONE GRADO DI FRENATURA |
| TIPO L | INIZIO LINEA |
| TIPO N | RALLENTAMENTO |
| TIPO PR | PROSSIMITÀ PER VELOCITÀ DI RILASCIO RIDOTTA |
| TIPO PA | PROSSIMITÀ PER L'ANTICIPAZIONE DELLA CURVA DI FRENATURA |
| TIPO PRA | SVOLGE SIA FUNZIONI PR CHE PA |
| TIPO R | RICALIBRAZIONE |
| TIPO S | SEGNALE DI PRIMA CATEGORIA |
| TIPO G | POSATO PER LA SOLA FUNZIONE DI CONTROLLO GIUNTO |
| TIPO CC | POSATO PER LA SOLA FUNZIONE DI “CONTROLLO CORRETTA INSERZIONE/DISINSERZIONE RSC” |
| TIPO RL | POSATO PER LA SOLA FUNZIONE DI “ATTIVAZIONE O NON INTERRUZIONE DELLA CATENA DI APPUNTAMENTI” |
| TIPO LL | POSATO PER LA SOLA FUNZIONE DI “NON INTERRUZIONE DELLA CATENA DI APPUNTAMENTI” |
| RL/S O S/RL | SVOLGONO SIA LA FUNZIONE DI RL CHE S |
| TIPO RFD | RICALIBRAZIONE CON FINE DEVIATA |

TABELLA 23 VARIABILI SCMT

Di seguito vengono elencate alcune variabili (le più significative) presenti nel telegramma SCMT e la loro descrizione. Tali variabili sono presenti all'interno di ogni telegramma indipendentemente dal tipo di PI.

D_APPUNTAMENTO: distanza di appuntamento al prossimo PI nel proprio senso di marcia, ossia la distanza entro al quale il treno deve trovare il prossimo PI in appuntamento. La variabile assume il valore tra 0 e 5000 m.

D_CONTROLLO_DIAMETRI: distanza dal PI di controllo per la verifica dei diametri. Assume il valore della distanza dal successivo PI di controllo per la verifica dei diametri delle ruote del treno (controllo errore odometrico).

D_GDF: distanza variazione grado di frenatura; distanza tra il punto di posa del PI e il punto di PVPL (Punto di Variazione Pendenza Linea): è quindi una protezione rispetto il grado di frenatura. Assume valori compresi tra 0 e 5000 m.

D_OBIETTIVO: distanza reale tra il punto di posa del PI che lo trasmette e il punto obiettivo di riferimento. La distanza obiettivo viene trasmessa oltre che dal PI anche dal RSC presente sui binari codificati. Trasmette, generalmente, la distanza tra il PI e il PI del segnale a valle rispetto al quale bisogna regolare la marcia del treno.

D_RANGO: distanza variazione velocità di rango, ossia la distanza tra il punto di posa del PI che la trasmette e il PVPL, proteggendo il rispetto alla velocità massima della linea.

G_GDF_ATTUALE: grado di frenatura attuale della linea; consente di ricavare dalle tabelle della PGOS, in abbinamento alla percentuale di peso frenato (PpF), la velocità massima ammessa dall'infrastruttura per le capacità frenanti del convoglio in questione.

G_PENDENZA_DGDF: valore della pendenza nel tratto della D_GDF.

G_PENDENZA_DO: rappresenta il valore della pendenza espressa in "per mille" del successivo tratto e viene utilizzata di norma in tutti i casi di riduzione di velocità per segnalamento: attua una protezione rispetto ai segnali fissi.

M_CONTATORE: fornisce un contatore che permette l'individuazione del telegramma; la variabile assume valore 0 per tutti i telegrammi contenuti nelle boe (fisse e commutate) e per tutti i telegrammi di errore o default nell'encoder. Di seguito qualche esempio:

- ROSSO (VIA IMPEDITA): M_CONTATORE = 1;
- GIALLO (AVVISO VIA IMPEDITA): M_CONTATORE = 3;
- VERDE (VIA LIBERA): M_CONTATORE = 8.

La variabile assume valore 0 per tutti i telegrammi contenuti nelle boe (fisse e commutate) e per tutti i telegrammi di errore o default dell'encoder.

N_PIG: descrive la posizione della boa nel punto informativo secondo il senso di marcia del treno. Le boe sono duplicate e qualora la boa sia incontrata dal treno secondo il senso di marcia per cui il PI è valido la variabile assume valore PRIMA BOA. Qualora la boa sia la seconda incontrata dal treno secondo il senso di marcia per cui il PI è valido, la variabile assume valore SECONDA BOA:

N_TOTALE: indica il numero di boe contenute all'interno di un PI e viene utilizzato per verificare la corretta acquisizione del PI stesso.

NID_AREA: indica la zona geografica all'interno della quale gli identificativi dei PI sono univoci.

NID_MACROAREA: individua una macro zona geografica all'interno della quale i PI sono univoci.

NID_PI: identifica univocamente il PI all'interno dell'area geografica.

In virtù delle precedenti definizioni un punto informativo viene così individuato:

MACROAREA → AREA → NUMERO PI

NID_PI_SUCCESIVO: identifica il PI successivo all'interno della propria area geografica.

Q_INFILL: qualificatore di presenza INFILL; permette di identificare al SSB la presenza di codice INFILL sul segnale di valle e il livello di velocità da applicare. La variabile assume valore ASSENTE qualora sul segnale di valle di riferimento non sia presente l'INFILL o comunque non debba essere applicato. Sul PI tipo R o RL posato per attivare la funzione variabile assume valore PRESENTE CON LIVELLO DI VELOCITÀ (30) 60 km/h qualora sul segnale di valle di riferimento sia presente INFILL e il livello di velocità di liberazione sia pari a (30) 60 km/h. La variabile può assumere lo stato PRESENTE CON LIVELLO DI VELOCITÀ NESSUN VINCOLO qualora sul segnale di valle di riferimento sia presente INFILL e il livello di velocità di liberazione sia pari a nessun vincolo.

Q_REAZIONE: qualificatore per indicare la reazione richiesta al SSB in caso di mancato appuntamento con un PI o di ricezione errata del suo contenuto. Può assumere i seguenti stati: ARRESTO TRENO, NESSUN INTERVENTO, FINE CMT.

V_ESECUZIONE: quantifica la velocità massima ammessa sul percorso a valle del PI che la trasmette, anche in presenza di Vril con valore più elevato di V_esecuzione.

V_OBIETTIVO: velocità massima ammessa sull'obiettivo, rappresentata da un segnale o altro ente di impianto significativo ai fini del percorso: è la velocità a cui si deve portare il treno entro una distanza pari a D_OBIETTIVO.

V_RILASCIO: rappresenta la velocità a cui viene rilasciata la marcia del treno su curva di protezione imposta a velocità nulla. La variabile assume valore 30 km/h nominalmente, 10 km/h in situazioni particolari e 5 km/h in protezione di paraurti e binari tronchi.

4.6 IL SISTEMA INFILL

4.6.1 APPLICAZIONE DELLA Vril10

Si è affermato in precedenza che la velocità di rilascio nominale è di 30 km/h; in alcuni casi, per aumentare il livello di sicurezza, si rende necessario portare la velocità di rilascio a 10 km/h verso quei segnali disposti a via impedita che proteggono punti singolari della linea. Questo ha l'effetto di ridurre notevolmente lo spazio d'arresto del rotabile nel caso di superamento indebito di segnale disposto a via impedita.

Dall'analisi delle variabili dei telegrammi SCMT si può affermare che le cinque fondamentali che realizzano la protezione rispetto al segnalamento sono V_ESECUZIONE, V_OBIETTIVO, D_OBIETTIVO, G_PENDENZA_DO e V_RILASCIO.

In *figura 58* è rappresentato un esempio di piano schematico SCMT e di costruzione della curva di frenatura. S01 è il segnale di protezione che avvisa la via impedita del segnale S03 di partenza da avvicinare con velocità di rilascio ridotta. La curva azzurra è la frenatura SCMT, la tratteggiata nera la curva effettuata dal macchinista, mentre la blu e la viola sono le curve che tagliano quella SCMT con $V_{ril} = 30$ km/h e 10 km/h rispettivamente. A 300 m dal segnale di partenza è disposta un PI PR di prossimità della velocità di rilascio ridotta che avvisa l'AdC di avvicinarsi al segnale disposto a via impedita a 10 km/h, con visualizzazione sul cruscotto dell'icona indicata in *figura 59*.

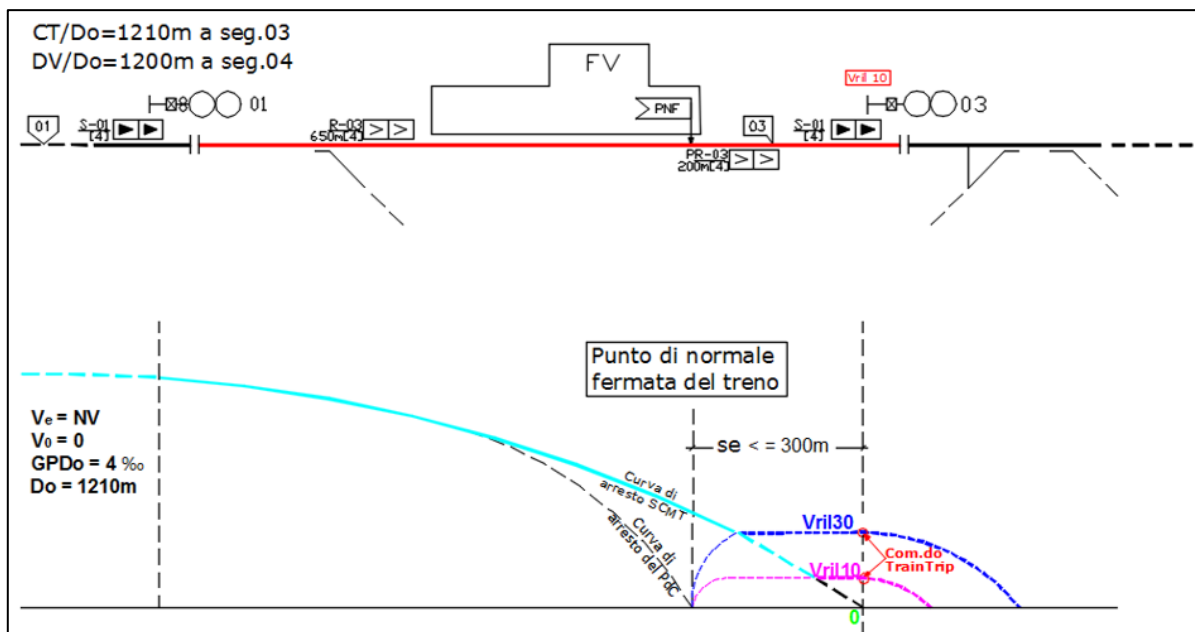


FIGURA 58 CURVA DI FRENATURA SCMT TRA AVVISO E SEGNALE A V.I.

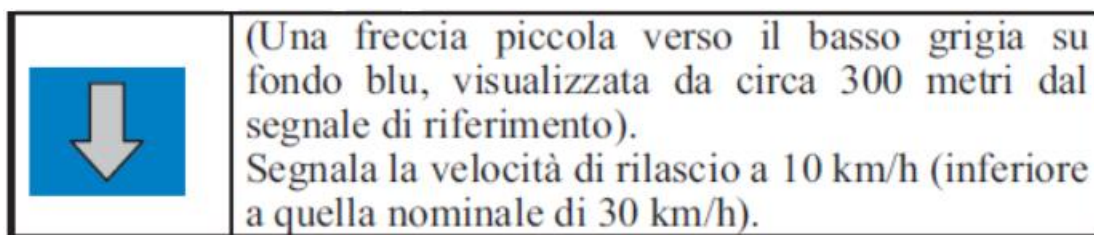


FIGURA 59 INDICAZIONE SUL CRUSCOTTO DI VRil10

All'interno delle stazioni la velocità di rilascio ridotta è stata adottata al fine di mitigare due particolari situazioni:

1. Interferenza tra treni: indebita partenza di un treno fermo in prossimità del segnale che può interferire con altro treno avente itinerario in atto correttamente segnalato;
2. Interferenza tra treni e autoveicoli in presenza di PL.

ESEMPI DI APPLICAZIONE DELLA VRil10

1. Itinerario con passaggio pari-dispari su binari di CT ed interferenza di un treno che indebitamente parte dallo stazionamento del I binario di corsa pari.

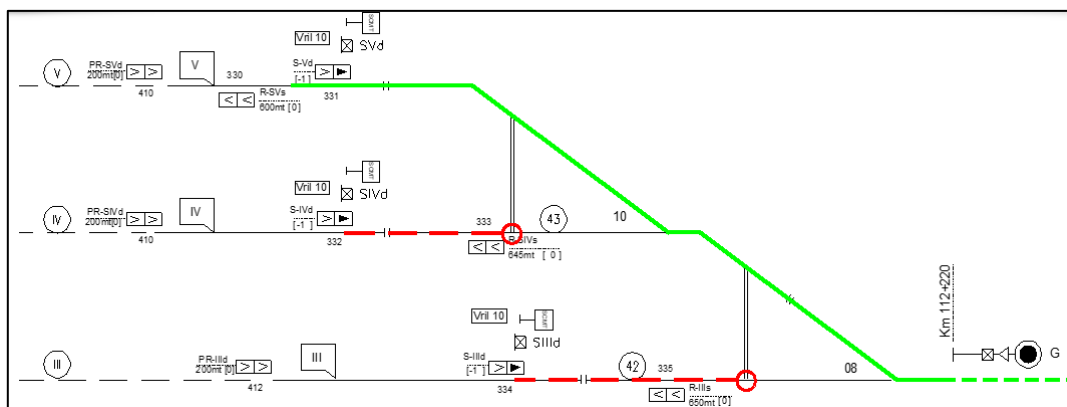


FIGURA 62 CASO APPLICATIVO VRIL10 CON SEGNALE DI PARTENZA COMUNE

L'utilizzo della velocità di rilascio ridotta, permette di migliorare all'interno delle stazioni il livello di sicurezza relativamente alla partenza indebita di treni.

La regola da utilizzare per individuare la necessità o meno dell'applicazione della velocità di rilascio ridotta a 10Km/h, ad eccezione dei Bivi e nei passaggi da doppio a semplice binario nei Posti di Servizio e nelle Stazioni, è così definita: *se la distanza tra segnale ed ente significativo raggiungibile per indebita partenza nei confronti di altro movimento in atto correttamente segnalato, o PL regolarmente aperto, è minore di 150 m, è necessaria l'applicazione della Vril ridotta a 10Km/h su tale segnale.*

4.6.2 LIBERAZIONE DEI VINCOLI IMPOSTI DALLA VRIL10: IL SISTEMA INFILL

In alcuni casi è possibile liberare in vincolo imposto dalla funzione Vril10 in quanto può comportare soggezioni all'esercizio ferroviario (ridotta velocità di marcia del treno) se esiste il collegamento di sicurezza e il segnale che protegge il punto singolare è regolarmente disposto a via libera.

In questi casi è possibile inviare al binario un segnale codificato che se captato dal treno consente di liberare la marcia anticipatamente rispetto a una precedente condizione più restrittiva che altrimenti sarebbe stata mantenuta fino al segnale di 1^a categoria che protegge il punto singolare. Le velocità di liberazione attualmente previste sono 30 km/h, 60 km/h e NESSUN VINCOLO.

Il codice INFILL è equivalente a un codice di BACC e la liberazione determina:

- Sui binari non codificati l'innalzamento del tetto e della curva al valore di velocità comunicato;
- Sui binari codificati l'innalzamento della velocità da 30 km/h (limite imposto dalla sequenza codificata 75 → 120) a 60 km/h.

Il SSB acquisisce dal SST il codice INFILL e il valore unico della velocità di liberazione da applicare alla captazione del seguente codice. Il valore di velocità è ottenuto tramite la variabile Q_INFILL presente in alcuni PI che indica la presenza o meno dell'INFILL e la velocità di liberazione.

Sul cruscotto del macchinista appaiono le indicazioni riportate in *figura 63*.

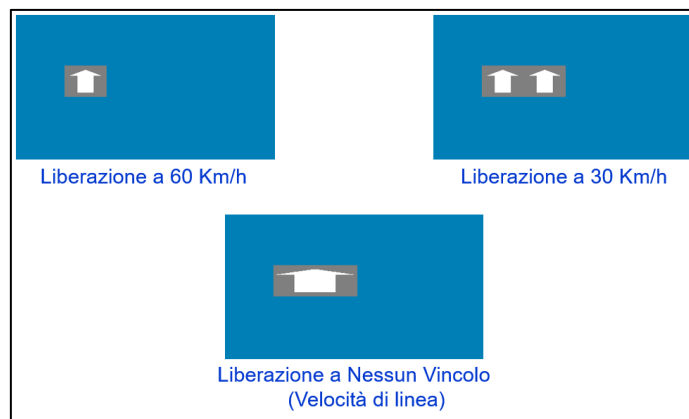


FIGURA 63 INDICAZIONI SUL CRUSCOTTO DEL MACCHINISTA ALLA RICEZIONE DEL CODICE INFILL

ESEMPIO DI FUNZIONALITÀ INFILL SU BINARIO NON CODIFICATO

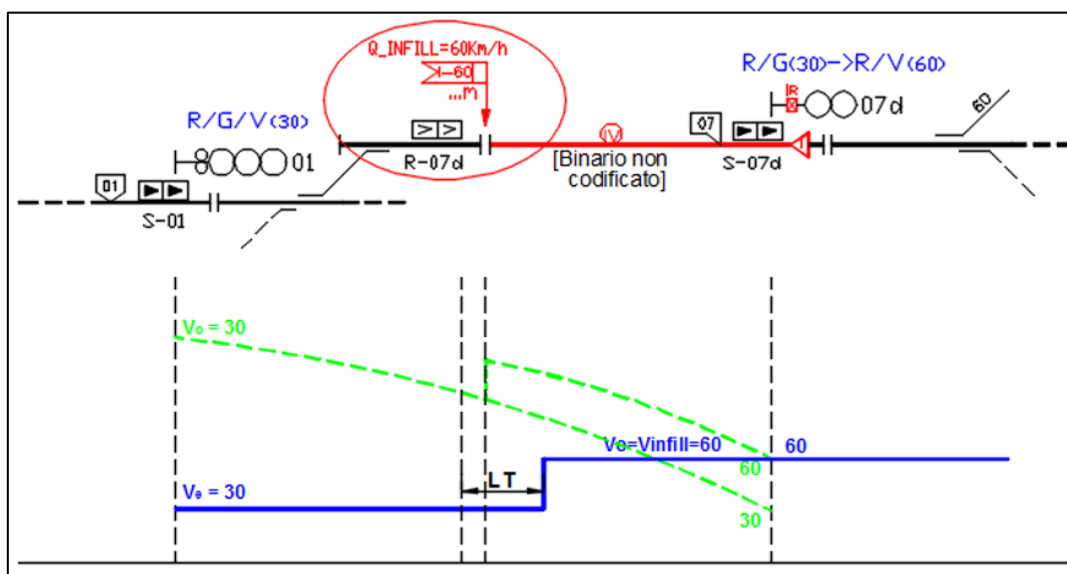


FIGURA 64 CURVE DI FRENATURA SCMT INFILL

La variabile Q_INFILL viene codificata a 60 km/h, Il SSB con l'acquisizione del PI con Q_INFILL = 60 km/h e la captazione del codice INFILL dopo lunghezza treno realizzerà l'innalzamento del tetto e della curva al valore di velocità comunicato.

La liberazione non è attiva a bordo in presenza di movimenti in modalità degradata (SUPERO ROSSO STABILIZZATO, o MARCIA A VALLE DOPO TRAIN TRIP). La perdita del codice INFILL subito dopo la captazione determinerà:

- Sui binari non codificati con codici di BACC la frenatura di emergenza fino all'arresto del treno;
- Sui binari codificati con codice di BACC la riduzione di velocità a 30 km/h.

In presenza a bordo di velocità di tetto e obiettivo maggiore di quella definita dalla variabile Q_INFILL, il SSB non utilizza l'informazione dell'INFILL.

4.6.3 ARCHITETTURA DEL SISTEMA INFILL

La figura 65 mostra lo schema a blocchi del sistema INFILL avente lo scopo di generare il codice da inviare al binario e captabile dal treno attraverso le apparecchiature RSC, **anche se disinserite**.

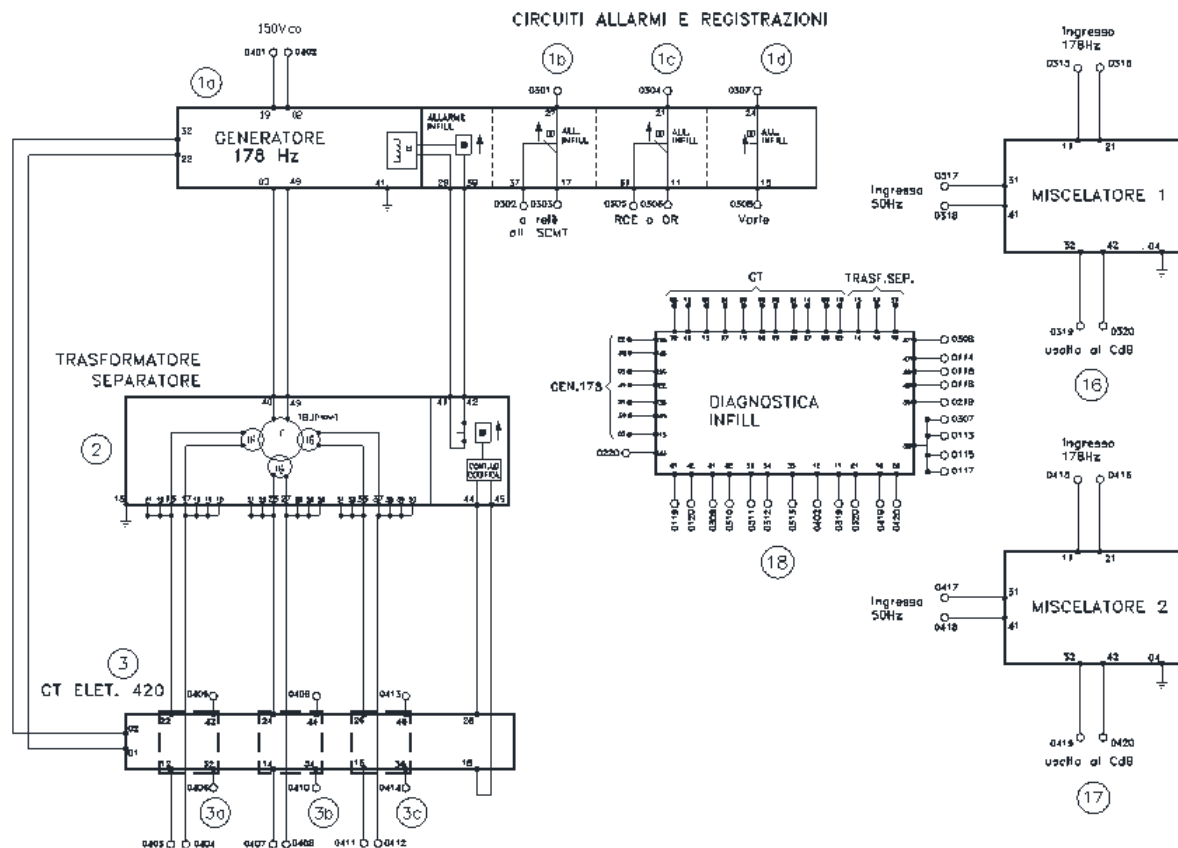


FIGURA 65 ARCHITETTURA A BLOCCHI SISTEMA INFILL

CODIFICATORE CT 420: dispositivo realizzato con tecnologia elettronica, che permette di codificare la portante a 178Hz alla frequenza di codice 420. La generazione del segnale codificato è controllata da un ingresso di abilitazione, che nel caso del CT420 utilizzato nell'applicazione INFILL, proviene dalla logica ACEI.

GENERATORE 178 Hz: apparato che genera una tensione a 150 Vca con una potenza in uscita pari a 150 VA + 30% progettato per erogare tensione in uscita a 178 Hz. Genera anche la tensione 12 Vcc utilizzata per l'alimentazione del CT 420.

TRASFORMATORE SEPARATORE: avente all'interno un circuito diagnostico che verifica la presenza del segnale codificato eccitando un relè di controllo.

MISCELATORE: dispositivo progettato per permettere l'interfacciamento e la trasmissione temporanea delle portanti 178 Hz e 50 Hz codificate del blocco automatico. È costituito da due circuiti di potenza LC entrambi accordati a 178 Hz e strutturati in modo da permettere la connessione parallela dei generatori delle portanti codificate 178 Hz e 50 Hz sul primario del trasformatore del CDB e la trasmissione contemporanea dei due segnali codificati.

DIAGNOSTICA INFILL: individua il corretto funzionamento del G178, del CT420, del trasformatore separatore e del miscelatore. Le informazioni sono sia predittive che di rilevamento apparecchiatura guasta, andando a controllare che le grandezze di rilevazione del captatore RSC siano dentro dei limiti stabiliti.

4.6.4 IL CIRCUITO DI BINARIO INFILL

Il Circuito di Binario per INFILL è rappresentato in *figura 66*; esso è attivo quando non è presente la codifica INFILL, ossia nel caso di applicazione della Vr110 quando il segnale immediatamente a valle è a valle è a via impedita.

Il CDB INFILL è del tipo a doppia fuga isolata con connessioni induttive alimentato a 83,3 Hz, diversamente dai CDB tradizionali alimentati a tensioni con frequenza di 50 Hz. Tale soluzione è adottata per prevenir eventuali rimonti di codice INFILL sui CDB adiacenti in ambito stazione, in quanto il circuito di ritorno (che rappresenta la rotaia di terra) è connesso in parallelo su tutti i binari.

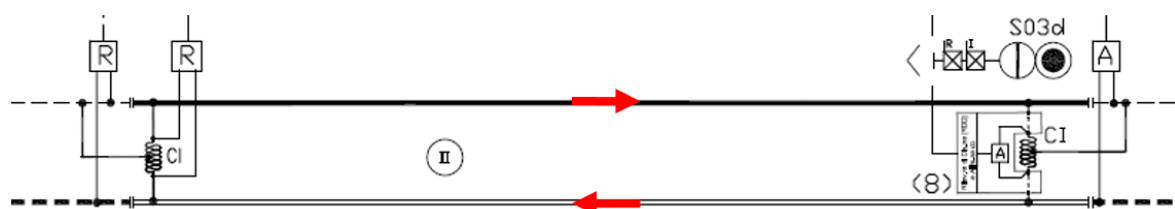


FIGURA 66 CDB A DOPPIA FUGA ISOLATA PER INFILL

Le connessioni induttive hanno lo scopo di confinare il segnale INFILL al circuito di competenza: tale protezione viene definita passiva.

Per controllare che non vi sia un effettivo travaso di codice su circuiti che non devono ricevere la codifica INFILL, si utilizza il Rilevatore di Dispersione (RDD – PROTEZIONE ATTIVA). Tale apparecchiatura viene installata per monitorare l'assenza di dispersione della corrente di alimentazione del CDB sul quale è installato quando esso è libero fornendo una segnalazione

di allarme nel caso di dispersione presente. L'RDD va a eccitare un relè chiamato CEC (Controllo Efficienza Circuito) che se diseccitato (quindi con dispersione rilevata) pone nello stato di OFF il relè di binario a 83,3 Hz non permettendo la codifica. Tale soluzione (SIL4) ha un **elevato standard di sicurezza** in quanto non permette la disposizione a via libera del segnale a monte in caso rilevata dispersione (FAIL SAFE) anche in assenza di codifica INFILL.

Lo schema è rappresentato in *figura 67*.

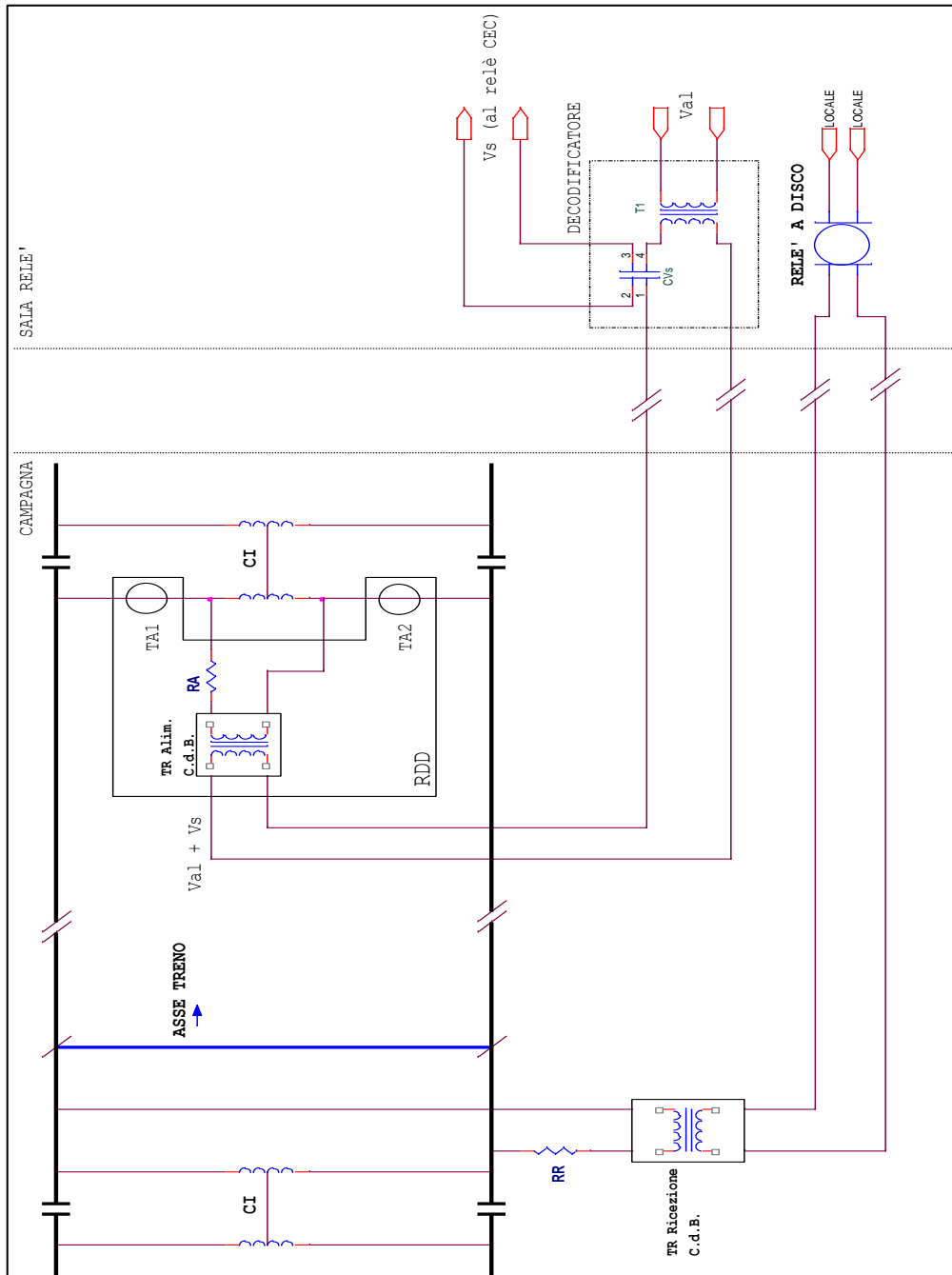


FIGURA 67 SCHEMA ELETTRICO DISPOSITIVO RDD DEL CIRCUITO INFILL

CAPITOLO 5

SOLUZIONE MITIGATIVA ALLE PROBLEMATICHE DEGLI SCHEMI V308 E V305

Quest'ultimo capitolo definisce e tratta una proposta di soluzione mitigativa applicabile agli schemi di principio V308 e V305 con lo scopo di proteggere la marcia del treno qualora venissero a mancare le condizioni di sicurezza. Nella parte finale verrà brevemente sviluppata un'analisi del rischio per dimostrare come la soluzione mitigativa vada a ridurre sensibilmente il livello di rischio in uno scenario di applicazione.

5.1 DESCRIZIONE DELLA PROPOSTA

Nel capitolo 3 si è affrontata l'analisi dettagliata degli schemi di comando e controllo dei sistemi PL V308 concludendo che, come tutti gli impianti di segnalamento ferroviario gestiti da RFI, sono progettati e costruiti con dei criteri di affidabilità e sicurezza molto elevati (SIL4) andando a ridurre notevolmente i rischi caratteristici dei sistemi PL. **Essendo questi PL protetti dai segnali di partenza delle stazioni limitrofe possono trovarsi a distanze significative, aumentando notevolmente il tempo di chiusura dell'attraversamento.** Nel primo capitolo è stata data descrizione di come il tempo di chiusura sia un parametro influenzante il rischio associato al PE 43.2 (indebito tallonamento di barriere).

La proposta è di fornire all'Agente di Condotta le informazioni necessarie sullo stato delle barriere quando si sta approssimando al Passaggio a Livello, in maniera da procedere all'arresto del treno qualora questa condizione venga a mancare per indebito tallonamento e inosservanza da parte degli utenti stradali del Codice della Strada che impone lo stop non appena il segnale stradale si dispone al rosso.

La soluzione permette di innalzare ulteriormente il livello di sicurezza di un sistema che ha già uno standard SIL4, quindi il maggiore in assoluto.

Le soluzioni adottate assumono carattere di schema di principio e rappresentano uno studio iniziale sulla fattibilità dell'idea delle misure mitigative: non vuole essere un progetto completo ma uno strumento di partenza.

Le tecnologie utilizzate sono:

- SCMT con funzione Vril10;
- SCMT/INFILL con l'utilizzo di un circuito di binario codificato INFILL;
- SCHEMA DI PRINCIPIO V308 o V305;

- UTILIZZO PEDALE DI LIBERAZIONE PEPL CON CDB OVERLAY AD AUDIOFREQUENZA.

Nonostante il sistema INFILL sia stato pensato per “liberare” la marcia del treno, annullando dei vincoli imposti precedentemente (funzione Vril10) se esistono le condizioni di sicurezza a valle, esso può essere utilizzato per dare le informazioni circa lo stato di integrità delle barriere al treno alla distanza di frenatura.

La distanza di frenatura dipende dalla velocità della linea, dalla percentuale di massa frenata e dalla tipologia di rotabile: per gli scopi della presente tesi e considerando che in una linea semplice binario la velocità massima è pari a 140 km/h tale distanza si pone nominalmente uguale a 1200 m.

Di seguito si analizzano i casi che si possono verificare e le modalità risolutive.

5.1.1 APPLICAZIONE DELLA VRi10 E DEL CODICE INFILL

L'obiettivo è di far avvicinare il treno al PL alla velocità di rilascio ridotta qualora manchi almeno una delle seguenti condizioni:

1. CONTROLLO DI POSIZIONE IN CHIUSURA DELLE BARRIERE;
2. CONTROLLO DI INTEGRITÀ DELLE BARRIERE;
3. ACCENSIONE DEI SEGNALE STRADALI;

Il piano schematico SCMT per la sola applicazione della VRi10 può essere così rappresentata (figura 68).

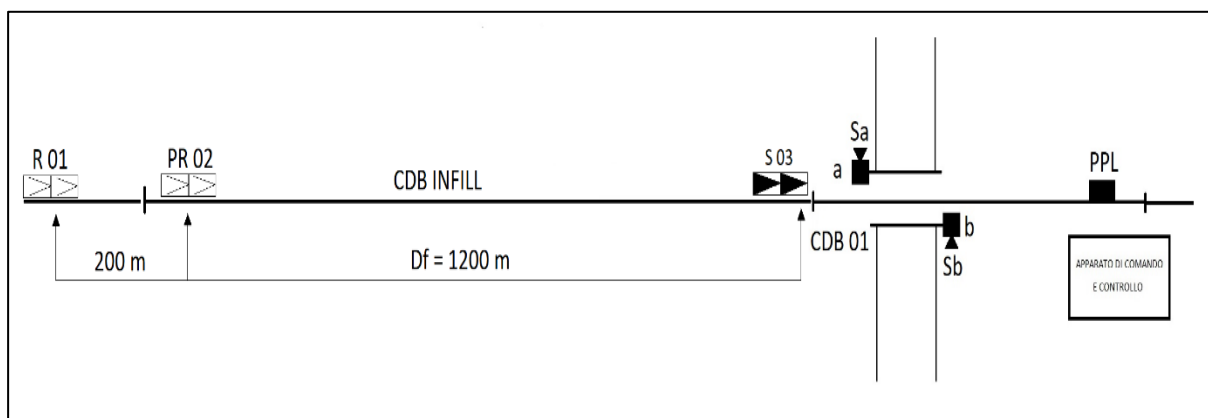


FIGURA 68 APPLICAZIONE DELLA VRIL10 AL PL V308

Perché il treno possa avvicinarsi al PL a 10 km/h è necessario utilizzare tre PI distinti aventi le variabili SCMT definite nel modo seguente.

| PI | D_obiettivo | V_obiettivo | V_rilascio | Q_reazione | V_esecuzione | Q_INFILL | M_Contatore |
|-------|-------------|----------------|------------|------------|----------------|----------------|-------------|
| R 01 | 200 m | Nessun vincolo | 30 km/h | Arresto | V LINEA | Nessun vincolo | Default Boa |
| PR 02 | 1200 m | 0 km/h | 10 km/h | Arresto | V LINEA | Assente | Default Boa |
| S 03 | ----- | ----- | 30 km/h | ----- | Nessun vincolo | Assente | 8 |

Con tale definizione delle variabili SCMT il treno passa sul PI R01 alla velocità di linea con in obiettivo a 200 m un PI di tipo PR che nel caso non venga captato o dia un'informazione errata arresta il treno (Q_REAZIONE = Arresto). Il PI R01 ha lo scopo di informare il SSB che a valle potrebbe trovare un codice INFILL liberatorio il quale permette al treno di oltrepassare il PL alla velocità di linea (NESSUN VINCOLO).

Si presentano ora tre casi:

1. Il PL è chiuso ed esistono tutte le condizioni per l'invio del codice INFILL liberatorio: in questo caso la velocità di rilascio ridotta della boa PR 02 non considerata dalla logica del SSB e il treno percorre il PL alla velocità di linea liberandolo regolarmente. Il PI S 03 (segnale) informa il treno che i vincoli precedentemente imposti non sono più validi attraverso la definizione di M_CONTATORE 8 (nel caso di un segnale è equivalente all'aspetto di verde), ridefinendo la D_obiettivo e la V_obiettivo. A 1200 m dal punto di protezione del PL su cruscotto del macchinista si accende la seguente indicazione che si accende non appena il codice INFILL viene captato.



Liberazione a Nessun Vincolo
(Velocità di linea)

2. Al PL mancano una delle condizioni di sicurezza elencate precedentemente, di conseguenza non può essere inviato il codice INFILL liberatorio. In questo caso il treno transitando sul PI PR 02 riceve il messaggio di prossimità di velocità di rilascio ridotta a 10 km/h con l'accensione sul cruscotto della seguente indicazione:



La freccia grigia su sfondo blu, vista nel capitolo precedente, da indicazione al macchinista di portarsi a 10 km/h entro i 300 m. Questo comporterebbe una brusca frenatura del treno con comando della frenatura di emergenza o da parte dell'AdC o

direttamente dalla logica di bordo: il PL verrebbe quindi impegnato a una velocità non superiore a 10 km/h.

- Il treno impegnando il CDB INFILL capta il codice e procede alla velocità di linea verso il PL, improvvisamente viene a mancare una delle condizioni di sicurezza, In questo caso il CODICE viene immediatamente interrotto e la logica del SSB comanda la frenatura di emergenza del treno: il guasto evolve verso una condizione di sicurezza (FAIL SAFE).

Il piano schematico SCMT esemplificativo riporta il caso di treno transitante da sinistra verso destra; il piano completo può essere rappresentato come in *figura 69*.

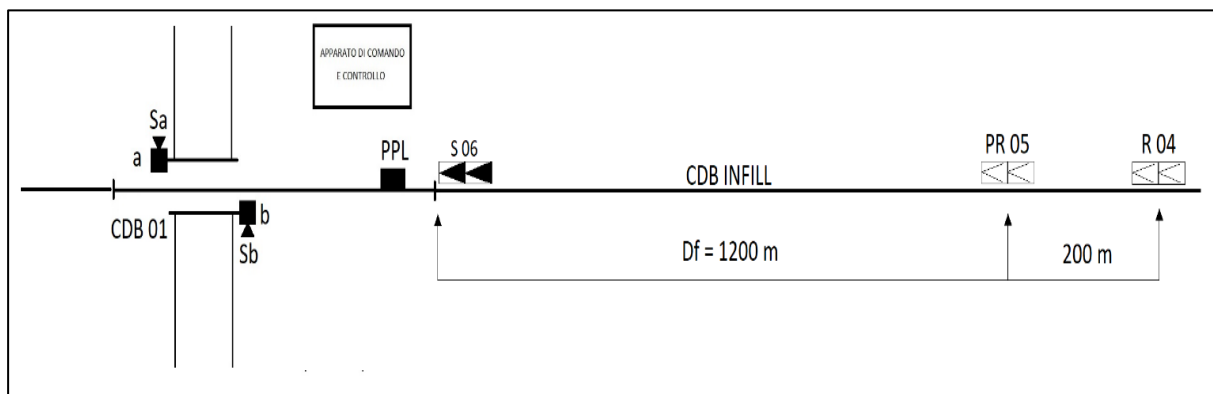


FIGURA 69 PIANO SCHEMATICO SCMT PER TRANSITI SINISTRI

La definizione delle variabili SCMT per la marcia da destra a sinistra può essere dettagliata come nella tabella seguente: i valori sono complementari rispetto al caso precedente.

| PI | D_obiettivo | V_obiettivo | V_rilascio | Q_reazione | V_esecuzione | Q_INFILL | M_CONTATORE |
|-------|-------------|----------------|------------|------------|----------------|----------------|-------------|
| R 04 | 200 m | Nessun vincolo | 30 km/h | Arresto | V LINEA | Nessun vincolo | Default Boa |
| PR 05 | 1200 m | 0 km/h | 10 km/h | Arresto | V LINEA | Assente | Default Boa |
| S 06 | ----- | ----- | 30 km/h | ----- | Nessun vincolo | Assente | 8 |

Nella trattazione non si sono considerate tutte le variabili SCMT trasmesse dal PI in quanto si analizzano solo quelle rilevanti per la soluzione proposta.

È interessante ipotizzare quale sia la curva di frenatura nel caso di captazione del codice INFILL (presenza vincoli di sicurezza) o di attivazione della velocità di rilascio ridotta (assenza vincoli di sicurezza). In *figura 70* è indicata in rosso la curva di frenatura con VRil10 applicata e in blu la curva di frenatura con la captazione del codice INFILL.

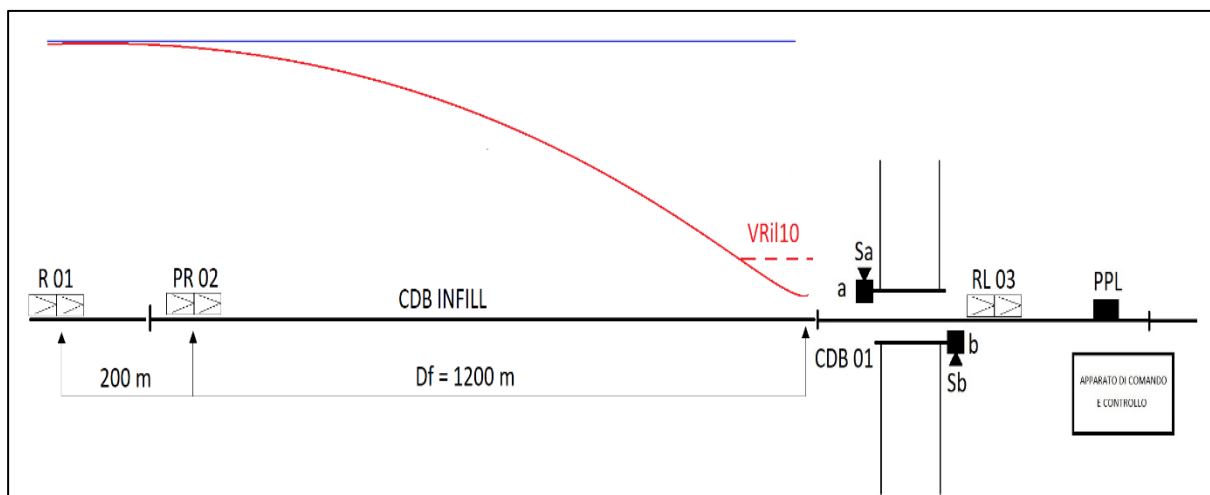


FIGURA 70 CURVE DI FRENATURA SCMT ASSOCIATE ALL'INTERVENTO MITIGATIVO

In termini di sicurezza si ottiene il vantaggio che in caso di mancanza di una qualsiasi condizione di sicurezza il treno si appropria al PL a una velocità estremamente ridotta: l'obiettivo è quindi di dare il tempo al macchinista di arrestare la marcia in caso di ingombro alla sede ferroviaria.

La velocità di rilascio ridotta permette, anche nel caso ci sia una collisione con un veicolo, di ridurre significativamente i danni conseguenti a persone e cose.

5.1.2 CIRCUITI DI BINARIO INFILL

Il passo successivo è valutare la fattibilità dell'implementazione del circuito di binario INFILL. Esso può essere gestito attraverso l'applicazione dello schema di principio **V447 (C – Ap - Infill)** utilizzato per la gestione dell'INFILL nei posti di servizio.

Dall'analisi dello schema di principio V308 si evince che i relè FS58 che condizionano l'invio del codice INFILL sono:

- **Relè PL:** che somma la condizione di controllo di chiusura del PL e integrità barriere;
- **IIIa/PL e IIIb/PL,** di controllo illuminazione dei segnali stradali.

Non è possibile utilizzare il relè di Consenso PL che trasmette il collegamento di sicurezza in quanto esso cade non appena il treno occupa l'ultimo Circuito di Binario in uscita dalla stazione che ha effettuato la richiesta di chiusura: infatti in questo momento il treno ha già oltrepassato il segnale di partenza che protegge il PL.

L'invio della codifica al circuito INFILL secondo lo schema V447 avviene con **l'occupazione del primo asse del treno del CDB stesso:** questa configurazione permette di non inviare codice al binario qualora non sia necessario, soluzione che rende ancor più sicuro il sistema. La soluzione è indicata in *figura 71*

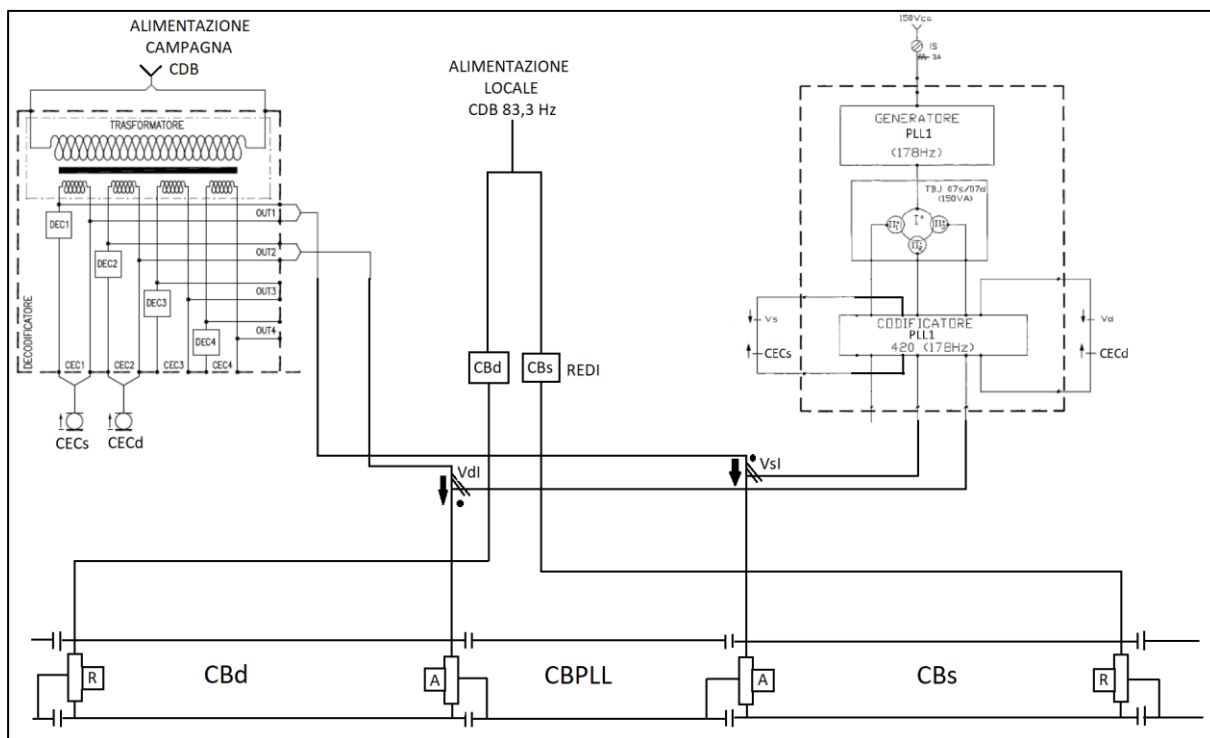


FIGURA 71 SCHEMA CIRCUITALE APPLICATIVO INFILL

Denominazione dei componenti:

- CBd: circuito di binario INFILL destro (per movimenti treno da sinistra verso destra);
- CBs: circuito di binario INFILL sinistro (per movimenti treno da destra verso sinistra);
- CBPLL: circuito tradizionale a una fuga di rotaia di liberazione del PL;
- CECs: controllo di efficienza CDB sinistro;
- CECd: controllo di efficienza CDB destro;
- Vd: relè di comando codifica destro;
- Vs: relè di comando codifica sinistro;
- REDI CBd: relè a disco elettronico per circuito di binario destro;
- REDI CD: relè a disco elettronico per circuito di binario sinistro;
- CODIFICATORE PLL1: generatore di codice 420 – 178 Hz;
- A: trasformatore di alimentazione per circuito INFILL contenente le apparecchiature per RDD;
- R: trasformatore di ricezione per circuito INFILL.

I circuiti dedicati per la trasmissione del codice INFILL sono del tipo a due fughe di rotaia isolata mentre in questa versione il CDB di liberazione del PL è del tipo tradizionale. Per convogliare la corrente di ritorno nella coppia di GII di confine tra CDB a doppia fuga e tradizionale (connessione “zoppa”) si rende necessaria la connessione rappresentata in figura 72.

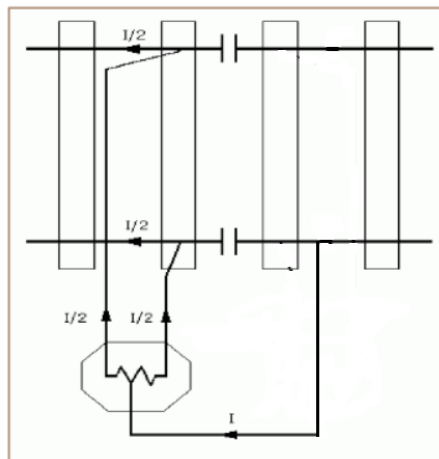


FIGURA 72 CONNESSIONE INDUTTIVA "ZOPPA"

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Con impianto a riposo (assenza treni o richiesta chiusura PL) lo stato di libertà dei circuiti INFILL CBd e CBs è controllato dal Relè a Disco Elettronico (REDI) alimentato alla frequenza di 83,3 Hz. Per codificare il binario è necessario che il relè Vd (per i movimenti destri) o Vs (per i movimenti sinistri) si ponga nello stato di eccitato. Il codice INFILL viene convogliato al binario **controtreno** (questo significa che il treno occuperà con il primo asse l'apparecchiatura di ricezione).

Il relè CEC di controllo della dispersione si diseccita non appena si pone nello stato di ON il relè di comando codifica (Vsl o Vdl a seconda dei casi), infatti quest'ultimo taglia l'alimentazione del CDB alimentato a 83,3 Hz. I contatti bassi dei relè CECd o CECs unitamente ai contatti alti dei relè Vs o Vd abilitano il CT420 all'invio del codice (controllo in sicurezza del regolare funzionamento). Una volta che il codice INFILL viene inviato al binario esso è captabile dal treno. All'interno del trasformatore separatore è presente un relè diagnostico di avvenuta codifica: nel qual caso questa non venga convogliata al binario il treno si appropria al PL a 10 km/h in quanto non gestisce l'INFILL (guasto FAIL SAFE).

5.1.3 CIRCUITO DI COMANDO CODIFICA

Perché possa essere inviata la codifica INFILL al binario è necessario che siano vere le seguenti condizioni:

1. Occupazione del circuito col primo asse del treno, verificato tramite la diseccitazione del REDI CBd o CBs;
2. Controllo di posizione e integrità asta: verificabile attraverso l'eccitazione del relè PL;
3. Accensione dei segnali stradali verificando l'eccitazione dei relè IIIa/PL e IIIb/PL.

Tali condizioni vengono tradotte nello schema rappresentato in *figura 73*.

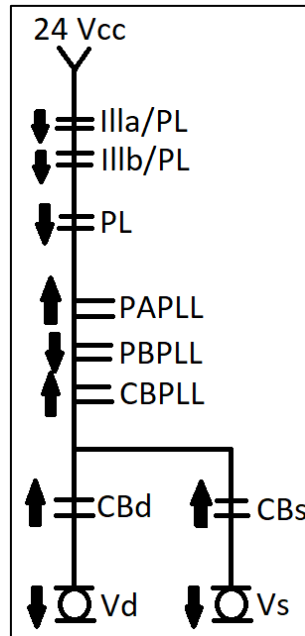


FIGURA 73 CIRCUITO COMANDO CODIFICA INFILL

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

La codifica si attiva con le condizioni elencate precedentemente e si disattiva non appena il treno occupa i dispositivi di liberazione. Infatti la codifica destra avviene rispettando il seguente stato dei relè.

| RELÈ | STATO |
|---------|-------|
| IIIa/PL | ON |
| IIIb/PL | ON |
| CBd | OFF |
| PAPLL | ON |
| PBPLL | OFF |
| CBPLL | ON |

L'annullamento della codifica non appena il treno occupa il circuito di liberazione del PL è necessaria per evitare che il treno una volta superato l'attraversamento capti nuovamente il codice che viene inviato nell'altra direzione. Come si nota dallo schema la codifica, se esistono le condizioni di sicurezza, viene inviata sia per i movimenti destri che sinistri: questo non costituisce un pericolo in quanto (in condizioni di regolarità dell'impianto) non vi possono essere i due movimenti contemporanei.

Avendo il pedale fluidoelettrico P70 un ritardo intrinseco dalla posizione BASSO → ALTO (almeno 7 secondi) si è sicuri che il treno non capta il codice nella direzione opposta in quanto il ritardo intrinseco permette al relè PL di diseccitarsi stabilmente.

Un problema potrebbe essere che il ritardo intrinseco non sia sufficiente e il treno capti per qualche istante il codice nell'altro senso di marcia (questo porterebbe comunque alla frenatura di emergenza per una gestione della variabile Q_INFILL non definita). Tale problematica può essere agevolmente risolta con l'installazione di un PEPL (Pedale Elettronico per Passaggio a Livello) per la liberazione del PL.

Tale apparecchiatura è stata menzionata nel Capitolo 1 e utilizzata per ridurre il rischio associato al PE 32 (Indebita apertura di barriere).

In un'ottica di sicurezza è necessario che in caso d'intervento del RDD (rilevazione di dispersione di codice) non sia permessa la codifica INFILL al binario. Tale obiettivo può essere ottenuto attraverso il circuito indicato in *figura 74*.

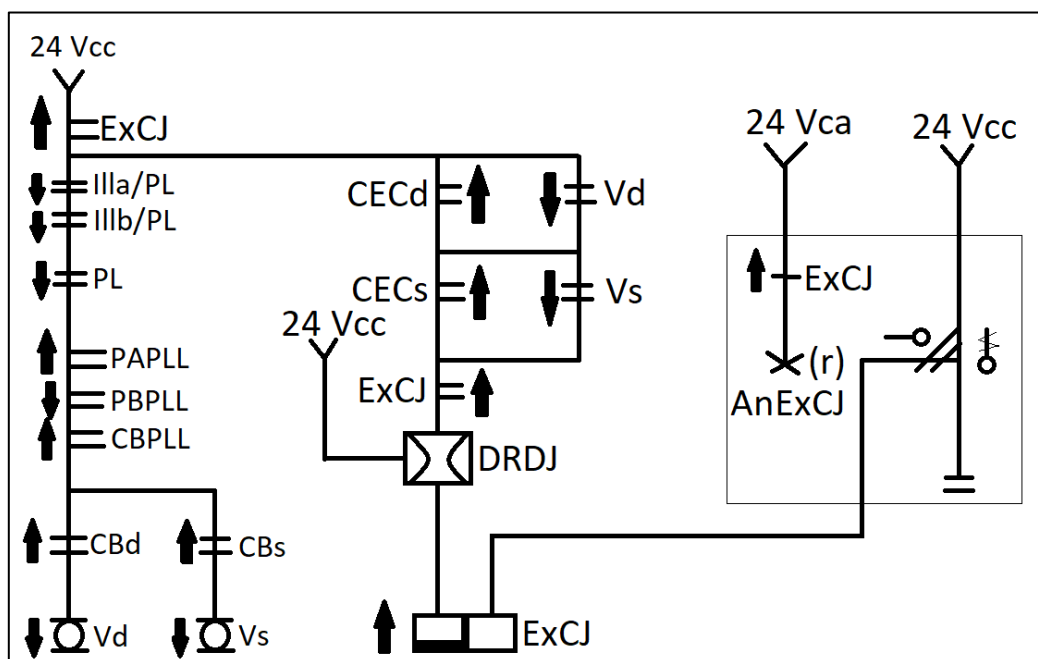


FIGURA 74 CIRCUITO COMANDO CODIFICA CON ESCLUSIONE CEC

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Il relè ExCJ (Esclusione Codice Infill) ha lo scopo di impedire al relè Vd (o Vs) di eccitarsi e quindi abilitare la codifica qualora sia rilevata una dispersione che comanda allo stato di OFF il relè CEDd (o CECs). L'intervento dell'RDD non permette ulteriori codifiche se non dopo l'intervento di un agente RFI che rileva ed elimina l'anormalità. Infatti la parte di destra del circuito è costituita da una lampadina rossa che indica la dispersione e da una levetta con ritorno a molla che, se ruotata a sinistra, permette di resettare l'allarme e ripristinare le condizioni per l'invio del codice.

In cui:

- PPLL: pedale elettromagnetico applicato alla rotaia;
- AOT02: alimentazione circuito Overlay;
- ROT02: ricezione circuito Overlay.

Le caratteristiche di sicurezza aggiuntive rispetto a un pedale elettromeccanico tradizionale sono:

1. il funzionamento dei pedali è consentito solo se il sistema di rilevamento è correttamente posizionato nel punto di rilevamento assi (rotaia);
2. il sistema consente la liberazione solo se il transito degli assi è coerente con la richiesta di chiusura destra o sinistra;
3. la riapertura del PL è abilitata solo dopo l'avvenuto transito sul pedale di almeno due assi del treno aventi uguale senso di marcia, velocità e accelerazione tra loro coerenti al fine da poter essere attribuiti al primo veicolo del treno in transito entro un range di velocità massima ammessa dalla linea;
4. il sistema abilita l'apertura solo dopo la liberazione del CDB (diversamente dallo schema originale per il quale è sufficiente l'occupazione).

Il sistema abilita l'apertura del PL solo dopo che è stata verificata la seguente sequenza logica.

OCCUPAZIONE DEL CDB



IMPEGNO DA PARTE DEL TRENO DEL PEDALE



RILEVAMENTO DELLO STATO DI RIPOSO DEL PEDALE



LIBERAZIONE DEL CDB

Il sistema PEPL risponde ai requisiti di sicurezza stabiliti da RFI e così elencati:

- rilevazione in sicurezza del distacco dalla rotaia (SIL4);
- gestione in sicurezza dell'apertura delle barriere con passaggio assi conformi alla fiche UIC 790R (SIL4);
- verifica della presenza del treno sull'attraversamento con l'utilizzo di un circuito ad audiofrequenza (SIL4) che elimina l'utilizzo di giunti isolati incollati (non è il caso proposto in quanto i giunti sono indispensabili per il confinamento dei codici INFILL);
- la liberazione deve essere garantita per velocità fino a 300 km/h (SIL4);
- il CDB deve garantire in sicurezza la presenza del treno sull'attraversamento (SIL4).

Il circuito di binario ad audiofrequenza Overlay, a differenza di quelli alimentati dalle reti a 50 Hz, funzionano con frequenze della gamma dei suoni. Comportano vantaggi quali l'eliminazione dei GII già citata, eliminano le interferenze tra CDB vicini utilizzando frequenze diverse, possono essere sovrapposti a CDB a 50 Hz o con altri circuiti a frequenza fonica permettendo l'immissione in binario di un maggior numero di informazioni. Si possono altresì raggiungere situazioni di maggiore sicurezza modulando la frequenza portante di funzionamento e sono praticamente insensibili ai disturbi indotti dalla corrente di trazione TE (che percorre il binario) contenente diverse armoniche introdotte dai sistemi di regolazione elettronica dei mezzi di trazione.

Di seguito viene schematizzato l'inserimento del sistema PEPL per la liberazione dell'attraversamento.

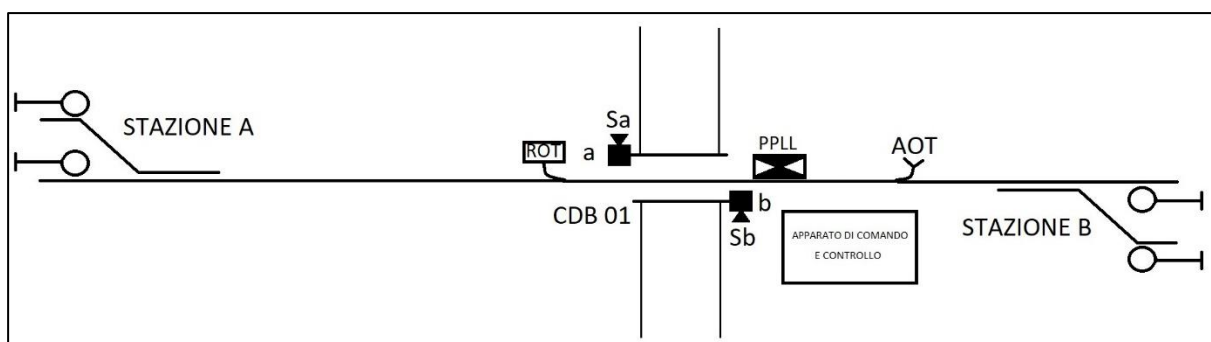


FIGURA 76 PIANO SCHEMATICO V308 CON PEPL

Utilizzando il sistema PEPL per il caso proposto nella tesi, non è possibile utilizzare la connessione induttiva zoppa in quanto risulta necessario convogliare la corrente di ritorno su ambedue le fughe di rotaia anche nel tratto di binario gestito dal circuito Overlay. La connessione induttiva a due fughe è del tipo rappresentato in figura 77.

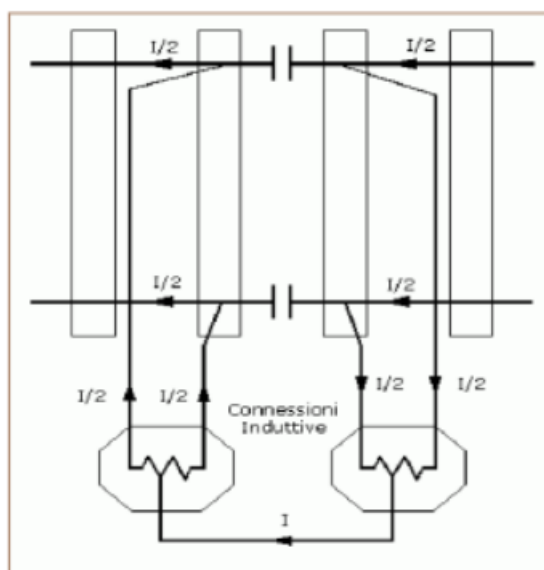


FIGURA 77 CONNESSIONE INDUTTIVA A DUE FUGHE DI ROTAIA

I circuiti di binario per la soluzione proposta dovranno essere adattati come in *figura 78*.

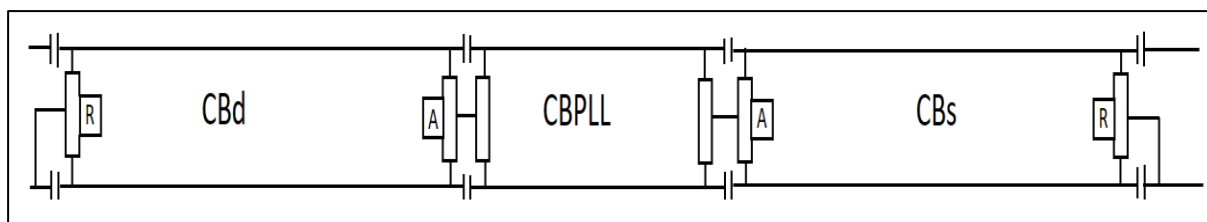


FIGURA 78 CIRCUITO DI BINARIO INFILL CON CONNESSIONE INDUTTIVA

Si rende necessario inserire le connessioni induttive a nei GII di separazione tra il CDB di liberazione overlay e i circuiti INFILL.

5.1.5 CIRCUITO PER IL CONTROLLO DEL CICLO DI FUNZIONAMENTO

Uno dei controlli sempre effettuati negli impianti di segnalamento a logica cablata è il “controllo di ciclo”, il quale ha lo scopo di verificare che i relè che hanno cambiato stato per disporre il passaggio del treno in sicurezza, si portino nella posizione di riposo una volta transitato il rotabile. Nell’analisi effettuata nel capitolo riguardante gli schemi di principio V308 si è visto che tale funzione è assegnata al relè *f* (relè di fine ciclo). In questo caso risulta necessario che il relè *f* controlli anche la regolare disposizione nello stato di OFF dei relè di comando codifica *Vd* o *Vs*. L’obiettivo può essere raggiunto attraverso l’implementazione del circuito rappresentato in *figura 79*.

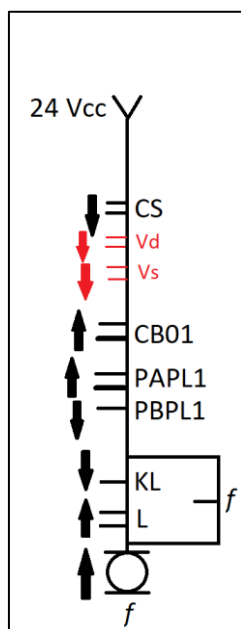


FIGURA 79 CIRCUITO DEL RELÈ DI CICLO CONTROLLANTE IL COMANDO CODIFICA

Inserendo in contatti bassi dei relè di comando codifica destri e sinistri nel circuito del controllo del ciclo di funzionamento è possibile impedire una successiva richiesta di chiusura del

passaggio a livello, sia sinistra che destra. Infatti se uno dei relè Vd o Vs resta indebitamente nello stato eccitato (in gergo ferroviario “si saldano i contatti alti”) il relè di ciclo non si rieccita impedendo al circuito di relazione con la stazione limitrofa di inviare tensione al relè di richiesta chiusura del passaggio a livello Rd o Rs: circuitalmente si è nella situazione indicata in *figura 80*.

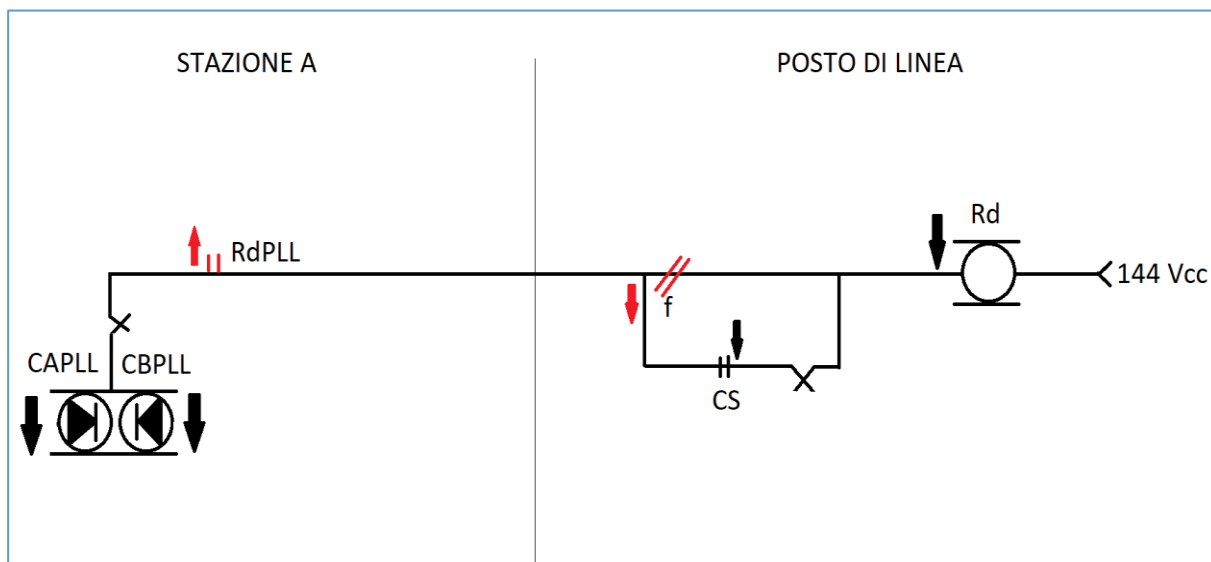


FIGURA 80 CIRCUITO DI RICHIESTA NEL CASO DI ANORMALITÀ INFILL

La conseguenza è che non potendo essere inviata la richiesta non può nemmeno essere ottenuto il consenso impedendo al segnale di partenza che protegge il PL di disporsi a via libera (manca il collegamento di sicurezza): il treno non può quindi partire dalla stazione verso l’attraversamento **ponendo il sistema in uno stato sicuro**.

5.1.6 CIRCUITO “ALLARME TALLONAMENTO”

Lo scopo dell’intervento mitigativo è proteggere la marcia del treno qualora, con passaggio a livello regolarmente chiuso e consenso in atto, un autoveicolo vada a impattare accidentalmente una o più barriere riducendo la protezione dell’attraversamento. Si è visto nel capitolo 3 che il tallonamento viene rilevato dal circuito di allarme C con un ritardo di progettazione e normativo di 15 min.

Per dare un’informazione immediata al regolatore della circolazione è ipotizzabile utilizzare il circuito indicato in *figura 81*.

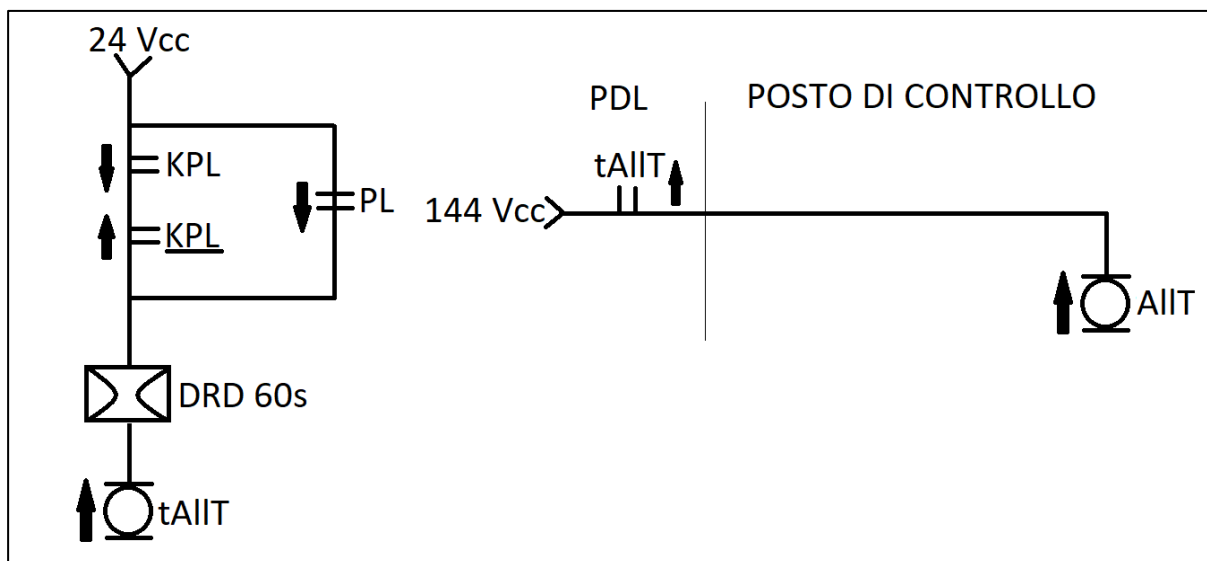


FIGURA 81 CIRCUITO ALLARME TALLONAMENTO

PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

Il relè tAllT è situato nel posto di linea e ha la funzione di “trasmissione allarme tallonamento”. Esso in condizioni di regolarità dell’impianto è stabilmente nello stato di eccitato in quanto il Dispositivo di Ritardo alla Diseccitazione (DRD) mantiene la tensione per 60 s dal momento in cui viene a mancare ai suoi capi. Tale valore è giustificato dal fatto che il tempo di preavviso e di chiusura sono al massimo di 25 secondi ($t_{preavviso} + t_{chiusura} = 50\text{ s al massimo}$) per un PL a due barriere (confronta Capitolato Tecnico IS). In caso di PL a più barriere tale valore va opportunamente tarato, in quanto i tempi di manovra delle barriere uscenti ed entranti non sono uguali, per permettere una agevole liberazione dell’attraversamento da parte degli utenti stradali. Di conseguenza durante la fase di manovra da aperto a chiuso, il relè di trasmissione non si diseccita una volta ottenuto il controllo di chiusura (barriere abbassate) sarà il relè PL responsabile della trasmissione dell’allarme. A barriere chiuse se una o più di quest’ultime vengono abbattute l’allarme viene trasmesso alla stazione di controllo e poi inviato (tramite controlli sicuri) al regolatore della circolazione nel posto centrale che gestisce la linea.

5.2 ANALISI DEGLI ASPETTI NORMATIVI CORRELATI

Perché un impianto, un componente, un’apparecchiatura o un intero sistema di segnalamento possa essere approvato, implementato e messo in servizio è necessario sottoporlo a delle rigide valutazioni di fattibilità, del rischio, di convenienza economica da parte di RFI e dell’ANSF.

Il problema principale della soluzione proposta sta nelle modifiche regolamentari che si rendono necessarie per la messa in servizio del sistema. Infatti la progettazione di un impianto di segnalamento non prevede solo la parte tecnica, sviluppata nella tesi, ma anche delle

valutazioni sul comportamento che devono tenere gli agenti di condotta, i regolatori della circolazione e i manutentori RFI.

AGENTI DI CONDOTTA

Si è detto nel capitolo 4 che il sistema INFILL nasce per “liberare” la marcia del treno da vincoli precedentemente imposti da un segnale disposto al giallo (avviso di via impedita). La condotta del treno è affidata unicamente al macchinista il quale la regola in base alle segnalazioni che riceve dai segnali luminosi, dai segnali sussidiari (tabelle in linea o stazione) o dal cruscotto presente a bordo. Il SCMT controlla che i vincoli imposti vengano rispettati rallentando il treno o applicando la frenatura di emergenza nei casi più estremi.

La soluzione mitigativa proposta prevede l'utilizzo del sistema INFILL *senza però un segnale luminoso o una tabella che dia avvertimento al treno di come regolare la marcia.*

In caso di anomalità al PL il treno deve avvicinarsi all'intersezione a 10 km/h e l'unica ripetizione data al macchinista è la seguente specula.



Allo stato attuale un macchinista si aspetta di vedere questa indicazione illuminata a 300 m da un segnale di 1^a categoria disposto a via impedita, avendo precedentemente oltrepassato un segnale di avviso disposto al giallo (avviso di via impedita): sa quindi che non potrà avvicinarsi a 30 km/h ma a 10 km/h, pena l'arresto di emergenza comandato dall'SCMT.

Alla domanda: “*come ti comporteresti nel caso si accendesse la specula della Vril10 in piena linea alla velocità di rango senza aver oltrepassato avvisi di via impedita e non aspettandoti segnali di 1^a categoria a valle?*”, nella maggior parte dei casi è stato risposto che avrebbero attivato la frenatura di emergenza. In realtà essendo il PI di tipo PR a 1200 m (distanza di frenatura) ci sarebbe lo spazio per avvicinarsi con una frenatura più lineare al punto di arresto posto prima del PL (migliorando anche il confort dei viaggiatori).

Risulta evidente che bisogna fornire un'ulteriore indicazione all'agente di condotta per segnalare che quel PL è protetto da sistema INFILL. All'altezza del PI R (che è a 200 m dal PI R) si potrebbe applicare una segnaletica verticale come quella indicata in *figura 82*.

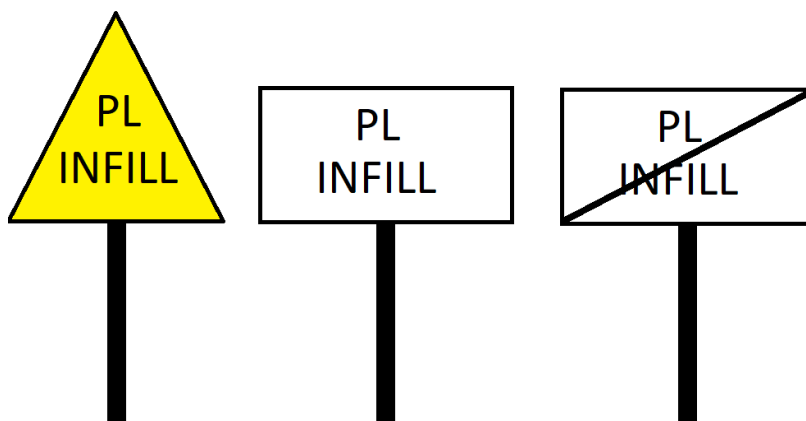


FIGURA 82 TABELLE DI AVVISO, INIZIO E FINE SISTEMA INFILL CHE PROTEGGONO IL PL

AVVISO PL INFILL: posto a 200 m dall'inizio della codifica INFILL, da indicazione al macchinista che a 200 m potrebbe trovare il codice INFILL che gli garantisce l'integrità della protezione dell'attraversamento.

INIZIO PL INFILL: per l'agente di condotta si possono presentare 2 casi

1. captazione codice INFILL in corrispondenza della tabella situata a 1200 m dal punto di protezione dell'attraversamento con accensione della specula "NESSUN VINCOLO": in questo caso l'AdC è autorizzato a procedere alla velocità di linea nell'impegnare il PL;
2. mancata captazione del codice INFILL in corrispondenza della tabella con accensione della specula Vril10: il macchinista deve regolare la marcia in maniera da arrestarsi in prossimità della tabella PL di cui all'Allegato art. 3bis comma a) (vedi Allegato 1).

FINE PL INFILL: fine della codifica INFILL che determina lo spegnimento delle specule sul cruscotto precedentemente accese.

Tale segnaletica deve essere indicata nella fiancata principale della prefazione generale all'orario di servizio dalla quale si compongono le schede treno in consegna agli agenti di condotta.

Le tabelle devono essere catarifrangenti quindi visibili di notte se un fascio luminoso viene proiettato nella loro direzione.

L'introduzione della proposta oggetto della tesi comporterebbe, quindi, una modifica al regolamento segnali che dovrebbe essere trasmessa a tutto il personale ferroviario (in particolar modo quello di macchina delle IF) con relative ricadute formative correttamente registrate, come previsto nelle procedure SIGS.

REGOLATORI DELLA CIRCOLAZIONE

In base alle varie tecnologie con cui sono attrezzate le linee e le stazioni, vengono adottati diversi modelli organizzativi di gestione della circolazione e del traffico ferroviario, denominati **sistemi di esercizio**.

I principali sono:

- DIRIGENZA LOCALE: la circolazione è gestita direttamente dai RdC presenti nelle stazioni, che hanno le responsabilità della sicurezza e del coordinamento della circolazione nella stazione di loro giurisdizione e alle tratte limitrofe.
- DIRIGENZA CENTRALE: la circolazione dei treni è affidata a un Dirigente Centrale che stabilisce tutti i provvedimenti di regolazione del traffico su tratti di linea significativi, mentre rimane ai RdC la responsabilità della sicurezza della circolazione nelle loro stazioni.
- DIRIGENZA CENTRALE OPERATIVA con CTC: sia la sicurezza della circolazione che la regolazione del traffico dei treni sono affidate a un unico operatore (Dirigente Centrale Operativo, DCO) per un intero tratto di linea che dal posto centrale telecomanda le stazioni sulla linea, dove sono presenti i sistemi che garantiscono la sicurezza.
- DIRIGENZA CENTRALE OPERATIVA con SCC e ACCM: evoluzione tecnologicamente più avanzata della Dirigenza Centrale Operativa integrando le funzioni principali di gestione a distanza delle stazioni e di regolazione del traffico sulla linea, con funzioni come la diagnostica, le informazioni al pubblico e la telesorveglianza.

Negli schemi di principio V308 e V305 le informazioni sullo stato del PL (Consenso, AllB, AllC) vengono inviate al posto di controllo (una stazione generalmente) e, se il sistema di esercizio lo prevede, anche al DCO.

In caso di regolare funzionamento l'unico compito del RdC è formare l'itinerario di partenza per l'inoltro del treno verificando la disposizione a via libera del segnale che protegge il PL.

La gestione dell'anormalità è la parte che deve essere curata con particolare attenzione. Si presentano i seguenti casi:

1. IMPIANTO REGOLARMENTE FUNZIONANTE: il treno parte dalla stazione con segnale di partenza regolarmente disposto a via libera: esiste il collegamento di sicurezza. All'approssimarsi del PL il macchinista capta il codice INFILL, libera il PL e procede la marcia;
2. MANCANZA CONSENSO PL: in questo caso il RdC dovrà autorizzare tramite dispaccio l'AdC al superamento del segnale di partenza disposto a via impedita ordinando la battuta d'arresto sul PL (o gruppo di PL) dei quali non ottiene il consenso. La mancanza di consenso non necessariamente è dovuto a un guasto al sistema INFILL; si possono prefigurare due ulteriori situazioni:
 - a. Il macchinista riceve codice INFILL liberatorio a 1200 m dal PL: è possibile riprendere la marcia in sicurezza;
 - b. Il macchinista non capta codice INFILL a 1200 m dal PL: in questo caso deve effettuare battuta d'arresto sulla tabella PL e impegnarlo con marcia a

vista specifica non superando la velocità di km/h solamente se l'attraversamento è libero e le barriere integre,

3. ALLARME TALLONAMENTO PL INFILL: in questo caso il segnale di partenza non potrà comunque disporsi a via impedita in quanto manca il collegamento di sicurezza; di conseguenza il RdC autorizzerà per iscritto al superamento del segnale disposto a via impedita con l'obbligo di battuta d'arresto in prossimità del PL in allarme. Il macchinista, in questo caso, impegnerà il PL con marcia a vista specifica non superando la velocità di 4 km/h solo nel caso in cui le barriere siano integre.

AGENTI DELLA MANUTENZIONE

Nell'esercizio di qualsiasi impianto di sicurezza e segnalamento ferroviario è necessario curare i rapporti tra gli agenti della manutenzione e i regolatori della circolazione.

Gli impianti sono normalmente a disposizione del settore circolazione che garantisce un regolare e sicuro esercizio della rete ferroviaria. In caso di interventi manutentivi è necessario "proteggere" la circolazione ferroviaria da errori umani, indebite manipolazioni, etc che possono verificarsi durante le attività riparazione, verifica e mantenimento in efficienza degli impianti.

La normativa ferroviaria prevede che ogni qualvolta si debba operare su impianti di segnalamento con attività che pregiudicano la sicurezza dell'esercizio ferroviario è obbligatorio che detti impianti non siano interessati dal movimento di treni o manovre e, in caso di segnalamento degradato, con le opportune restrizioni e vincoli normativi di sicurezza.

Ipotizzando di avere installato una protezione integrativa del tipo proposto nella tesi su un PL di linea, si possono prefigurare i seguenti casi:

1. ATTIVITÀ MANUTENTIVA CICLICA: l'agente della manutenzione deve impedire che il treno possa approssimarsi al PL. Una soluzione è sicuramente l'**interruzione con la stabilizzazione del fuori servizio linea**. La maggior parte delle linee ferroviarie è dotata di impianti che permettono di interrompere un binario o un tratto di binario in modo che non possano essere impegnati da treni o manovre. Per ottenere tale protezione è necessario che:
 1. L'agente della manutenzione faccia **richiesta** del fuori servizio linea al RdC;
 2. Il regolatore della circolazione tramite un comando (diverso a seconda del tipo di apparato e del sistema di esercizio) **conceda** il fuori servizio linea;
 3. L'agente della manutenzione **stabilizzi** il fuori servizio linea con apposito comando.

Tale procedura prevede, quindi, una doppia manipolazione che risulta spesso presente in tutti gli impianti che hanno a che fare con la sicurezza. La forza di questo sistema è che il binario non può essere restituito fintantoché l'agente della manutenzione non lo ritiene opportuno, ossia una volta ripristinate le condizioni di sicurezza.

2. ATTIVITÀ DI RIPARAZIONE AL SISTEMA: in caso di anomalità al sistema l'intervento degli agenti della manutenzione deve essere gestito con **fuori servizio linea stabilizzato**. La restituzione del binario deve avvenire non appena si è risolta l'anormalità e sono disponibili tutte le condizioni di sicurezza.

VERIFICHE DA ESEGUIRE SU UN CIRCUITO DI BINARIO INFILL PROTEGGENTE UN PL

La proposta impiantistica che sta alla base della tesi prevede l'utilizzo di una parte di apparato a logica cablata situato nello stesso PDL e una parte in piazzale, situato tra i binari.

Il circuito di binario INFILL sia a riposo con portante a 83,3 Hz non modulata che con codifica 420 modulato con portante 178 Hz, deve garantire il rilevamento degli assi. Trattandosi di un circuito a doppia fuga di rotaia situato in linea, il capitolato tecnico IS prevede che lo shunt sia almeno uguale a 0,25 Ω .

Le verifiche di sicurezza da effettuare sono:

1. Con impianto a riposo (CDB con portante fissa a 83,3 Hz): interporre tra le due rotaie una resistenza pari almeno a 0,25 Ω e verificare che si disecciti il relè di binario;
2. Con circuito codificato 420 e portante modulata a 178 Hz: interporre tra le due rotaie una resistenza pari almeno a 0,25 Ω e verificare che si disecciti il relè di binario. Sarà necessario verificare poi la corrente d'asse, ossia la corrente che circola tra le due rotaie con applicato un cortocircuito: essa dev'essere maggiore di 2 A per le portanti a 178 Hz.

Tra le verifiche visive al circuito di binario troviamo:

1. Verifica dello stato di ossidazione del piano di rotolamento: costituisce la parte di contatto con il bordino del treno e, se ossidato, inserisce una resistenza in serie che potrebbe aumentare il valore di shunt e non far rilevare la presenza del rotabile;
2. Verifica dei collegamenti elettrici: per valutare lo stato di conservazione ed efficienza del circuito stesso;
3. Verifica dei parametri elettrici del circuito di binario. Tali valori non sono di capitolato ma dipendono dall'azienda fornitrice del prodotto.

Il sistema PEPL attualmente in uso è fornito dall'azienda TEKFER SrL e nel manuale d'installazione, uso e manutenzione fornisce tutte le indicazioni sulle verifiche da effettuare sia in fase di taratura che di manutenzione. Particolare attenzione è da prestare al pedale di rilevamento assi e al CDB overlay in quanto sono i responsabili del rilevamento degli assi del treno e quindi della liberazione del PL.

5.3 ANALISI DEL RISCHIO ASSOCIATA ALLA PROPOSTA

Risulta interessante effettuare un'analisi del rischio associata all'intervento mitigativo proposto, per valutare come questo sistema vada a impattare sul livello di sicurezza del sistema PL.

Si prende in considerazione un PL gestito con schema di principio V308 e se ne costruisce una semplice tabella Hazop, prendendo come riferimento quella di Tabella 17 indicata nel Capitolo 2, al netto della definizione delle probabilità di accadimento (pre e post interventi mitigativi) che verranno valutate a valle della costruzione dell'albero dei guasti e dell'albero degli eventi.

5.3.1 COSTRUZIONE TABELLA HAZOP

L'obiettivo della soluzione migliorativa è proteggere la marcia del treno in caso di anomalità al PL, con particolare riferimento all'indebito tallonamento di barriere (PE 43.2). In uno scenario ipotetico l'abbattimento della barriera potrebbe portare anche all'invasione da parte di un veicolo dell'attraversamento stradale, con rischio di collisione tra il treno e il veicolo stesso. Le barriere di protezione in questo caso sono:

1. Segnale stradale;
2. Avvisatore acustico;
3. Barriere (aste);
4. Tempo di preavviso e chiusura;
5. Condotta di guida del conducente del veicolo.

In via del tutto ipotetica, si pone che alla mancanza di una delle seguenti condizioni si verifica un tallonamento (si è sicuramente in una situazione cautelativa).

È importante precisare che il tallonamento può avvenire durante le seguenti fasi:

1. Manovra di chiusura delle barriere;
2. A barriere chiuse e con controllo di posizione;
3. Manovra di apertura delle barriere.

Lo scenario più pericoloso è sicuramente il tallonamento con barriere regolarmente chiuse e in controllo: questo è dovuto al fatto che in questa situazione il consenso all'apertura del segnale di partenza della stazione limitrofa potrebbe essere pervenuto ed il treno potrebbe già trovarsi in tratta (o addirittura in prossimità del PL).

Se il tallonamento avviene durante la fase di manovra in chiusura alla stazione limitrofa non giungerà il consenso e quindi il treno non potrà partire se non con le opportune prescrizioni (rispettando il principio del collegamento di sicurezza).

Se il tallonamento avviene durante la fase di apertura il relè di ciclo f non si rieccita (vedi Capitolo 3) non permettendo un ulteriore consenso al successivo treno e generando un allarme prolungata chiusura (Allarme C) nel posto di controllo: sarà quindi indispensabile l'intervento degli agenti della manutenzione.

Alla luce delle seguenti osservazioni è possibile costruire la tabella Hazop indicata in Allegato 3, nella quale il Top Event individuato è "Indebito Tallonamento di Barriera PE 43.2". Nella costruzione della tabella si è ipotizzato di disporre di una manovra elettrica da PL di tipo oleodinamico (indifferentemente se TD96/2 e TM2000)

5.3.2 COSTRUZIONE DELL'ALBERO DEI GUASTI

I modi elementari di guasto che concorrono all'indebito tallonamento emergono dalla tabella Hazop; essi sono:

1. Evento Anomalo al Segnale Stradale (EA SS);
2. Scarsa visibilità delle barriere;
3. Evento Anomalo all'Avvisatore acustico (EA AU);
4. Evento Anomalo al Tempo di Preavviso (EA TP);
5. Evento Anomalo al Tempo di Chiusura (EA TC);
6. Evento Anomalo dovuto a Errore Umano nella condotta del veicolo stradale (EA EU).

Il modo elementare numero 3 (scarsa visibilità barriere) può essere omissis in quanto di carattere manutentivo.

La rappresentazione dell'albero è indicata in *figura 83*

Di seguito la determinazione dei tassi di guasto.

EA SS

Il segnale luminoso stradale utilizzato da RFI risponde alla classificazione CENELEC SIL4. Considerando le specifiche del livello di sicurezza garantito è possibile valutare la probabilità annuale di rottura.

| SIL | PFDavg | PFH | RRF |
|-----|------------------------------------|------------------------------|------------------------|
| 4 | $10^{-5} \leq PFD_{avg} < 10^{-4}$ | $10^{-9} \leq PFH < 10^{-8}$ | $10^4 \leq RRF < 10^5$ |

Si considera l'estremo destro dell'intervallo:

$$10^{-9} \leq PFH < 10^{-8}$$

In maniera di analizzare il caso peggiore in un'ottica favorevole alla sicurezza.

La probabilità di rottura può essere così calcolata:

$$f_{EASS} = 10^{-8} \frac{\text{rotture}}{h} \cdot 24 h \cdot 365 gg = 8.76 \cdot 10^{-5} \frac{\text{rotture}}{\text{anno}}$$

Il valore si riferisce al singolo passaggio a livello.

EA AU

L'apparecchiatura risponde alla classificazione CENELEC SIL2; si considerano quindi i seguenti intervalli.

| SIL | PFDavg | PFH | RRF |
|-----|--|-------------------------------------|-------------------------------|
| | $10^{-3} \leq \text{PFDavg} < 10^{-2}$ | $10^{-7} \leq \text{PFH} < 10^{-6}$ | $10^2 \leq \text{RRF} < 10^3$ |

Procedendo come per il segnale stradale si ottiene:

$$f_{EAAU} = 10^{-6} \frac{\text{rotture}}{h} \cdot 24 h \cdot 365 gg = 8.76 \cdot 10^{-3} \frac{\text{rotture}}{\text{anno}}$$

EA TP

I componenti che generano il preavviso fanno parte delle casse di manovra e rispondono allo standard SIL4. Come per il segnale stradale si ottiene:

$$f_{EATP} = 10^{-8} \frac{\text{rotture}}{h} \cdot 24 h \cdot 365 gg = 8.76 \cdot 10^{-5} \frac{\text{rotture}}{\text{anno}}$$

EA TC

I componenti responsabili del tempo di chiusura fanno parte delle casse di manovra oleodinamiche utilizzate da RFI. Si ottiene:

$$f_{EATC} = 10^{-8} \frac{\text{rotture}}{h} \cdot 24 h \cdot 365 gg = 8.76 \cdot 10^{-5} \frac{\text{rotture}}{\text{anno}}$$

EA EU

È difficile valutare il tasso di errore umano nella condotta di un autoveicolo. Ci si può risalire analizzando i dati riportati nel documento: “Definizione di un metodo di analisi dei rischi per l’individuazione della graduatoria di priorità d’intervento in relazione alle situazioni anomale SA 43 “Indebito attraversamento o tallonamento da parte di veicoli” e Sa 32 “PL indebita apertura””, analizzato nel Capitolo 1.

$$f_{EAEU} = 7,61 \cdot 10^{-5} \frac{\text{eventi}}{\text{anno}}$$

Ottenuto sommando le frequenze di accadimento per ogni tipologia di PL con FWSI ≥ 0 (conseguenza qualsiasi). Ovviamente la scelta di questa frequenza implica l’ipotesi del corretto funzionamento dei dispositivi atti a segnalare l’approssimarsi del treno.

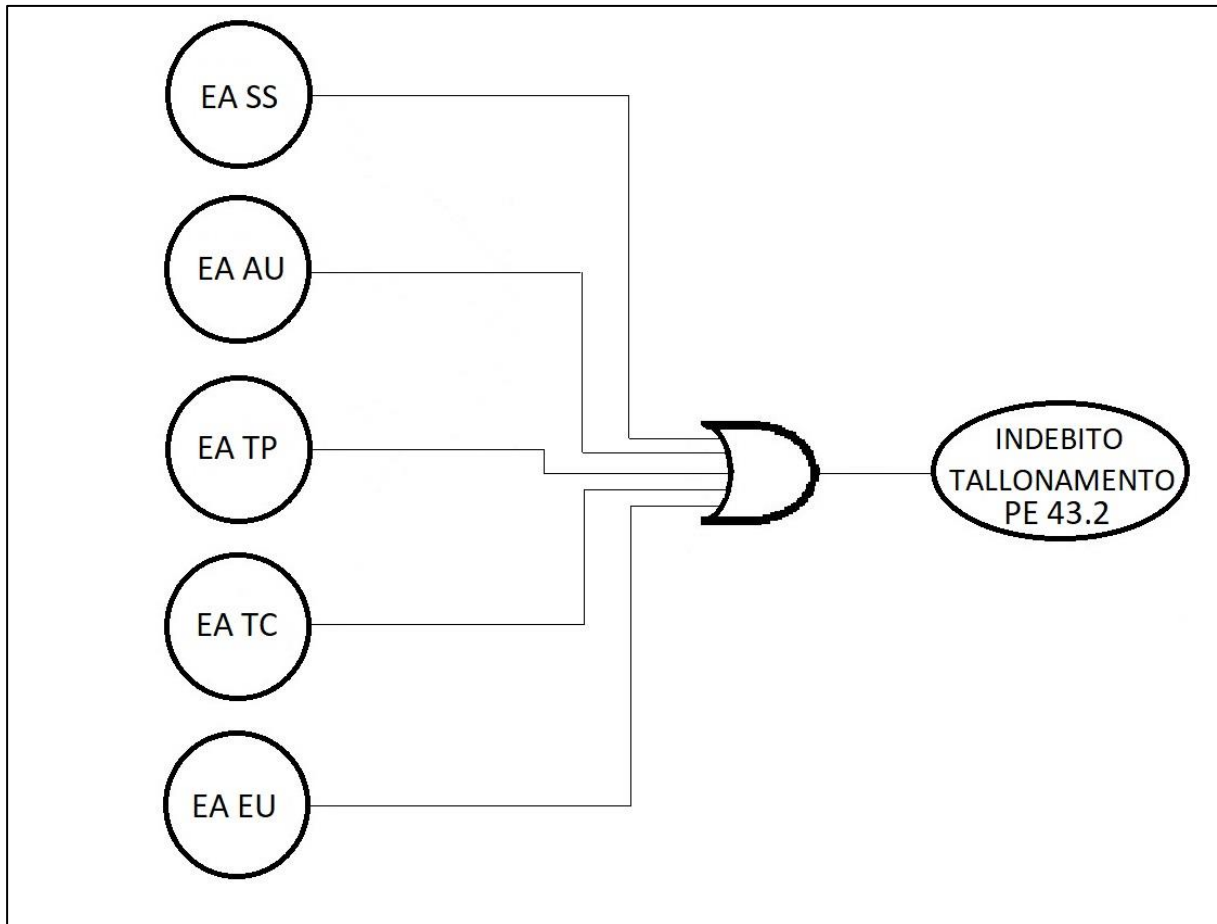


FIGURA 83 FTA PER INDEBITO TALLONAMENTO PE 43.2

I modi elementari di guasti sono connessi tra di loro da una porta logica OR, ipotizzando che un qualsiasi modo di guasto concorra al Top Event “Indebito Tallonamento PE 43.2”. Questo ipotesi è del tutto cautelativa e a favore di sicurezza, in quanto prevede la somma di tutte le probabilità di accadimento.

Considerando tutte le apparecchiature durante la vita utile, la curva di distribuzione di Weibull assume $\mu = 1$. Le probabilità e le affidabilità possono essere calcolate attraverso l’espressione seguente.

$$P = 1 - e^{-ft}$$

$$R = 1 - P = e^{-ft}$$

in cui f è espressa in eventi/anno e t è uguale a 1 anno.

Nel caso si esame si ottiene:

$$P_{EASS} = 8,76 \cdot 10^{-6}$$

$$P_{EAAU} = 8.72 \cdot 10^{-3}$$

$$P_{EATP} = 8,76 \cdot 10^{-6}$$

$$P_{EATC} = 8,76 \cdot 10^{-6}$$

$$P_{EAEU} = 7,61 \cdot 10^{-5}$$

La probabilità del Top Eventi PE 43.2 si ottiene attraverso la seguente espressione:

$$\begin{aligned} P_{PE43.2} &= P_{EASS} + P_{EAAU} + P_{EATP} + P_{EATC} + P_{EAEU} \\ &= 8,76 \cdot 10^{-6} + 8,72 \cdot 10^{-3} + 8,76 \cdot 10^{-6} + 8,76 \cdot 10^{-6} + 7,61 \cdot 10^{-5} \\ &= 8,82 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

Ovviamente è la probabilità maggiore (guasto avvisatore acustico) che aumenta il livello.

L'affidabilità diviene:

$$R_{PE43.2} = 1 - P_{43.2} = 0,99117762$$

Il Mean Time Between Failures viene così definito:

$$MTBF = [-\ln R_{PE43.2}]^{-1} = 112.84 \text{ anni}$$

Il valore ottenuto non è molto elevato. Un avvisatore acustico in SIL4 potrebbe aumentare di un ordine di grandezza il MTBF. È importante sottolineare che i modi elementari sono stati collegati tramite porta OR con **ipotesi del tutto cautelative**.

5.3.3 COSTRUZIONE DELL'ALBERO DEGLI EVENTI

Partendo dal Top Event "Indebito Tallonamento PL" è possibile ricostruire gli scenari incidentali e determinare le probabilità di accadimento in funzione delle barriere di protezione. In seguito all'abbattimento di un'asta è assai improbabile che un veicolo stradale vada ad occupare la sede ferroviaria interferendo con la sagoma di un treno, in quanto è l'asta stessa che attutisce l'urto e arresta il veicolo in uno spazio molto ristretto.

Nell'ipotesi che il veicolo stradale in seguito al tallonamento riesca a occupare la sede ferroviaria, si vuole valutare come la soluzione mitigativa proposta va a influire sul livello di rischio, costruendo un albero degli eventi pre e post intervento mitigativo.

ALBERO DEGLI EVENTI PRE INTERVENTO MITIGATIVO

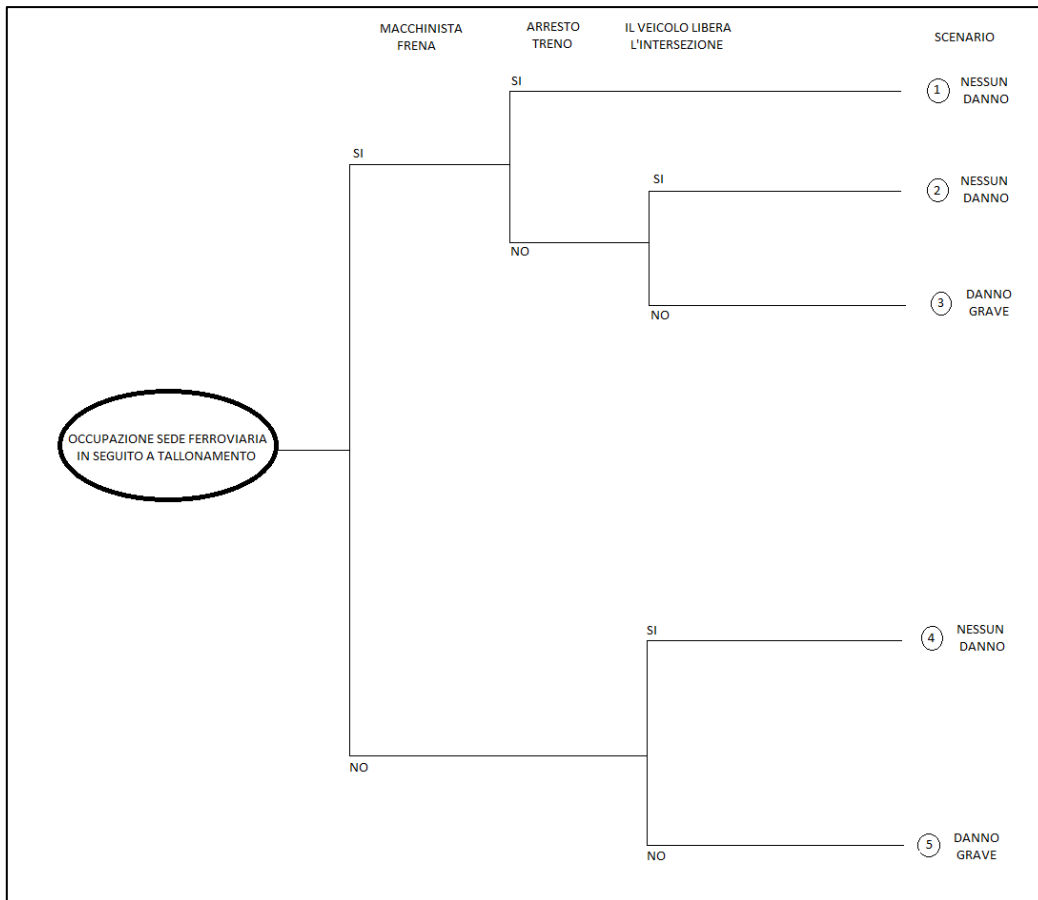


FIGURA 84 ALBERO DEGLI EVENTI PRE INTERVENTO MITIGATIVO

La difficoltà sta nel valutare il comportamento umano sia del macchinista che del conducente dell'autoveicolo. Per ottenere un valore di probabilità si utilizza la metodologia HEART (Human Error Assessment and Reduction Technique) nella quale l'errore umano viene quantificato tenendo conto delle azioni di un operatore, considerandone la tipologia di mansione, l'ergonomia ed eventuali fattori ambientali che possono incidere sulla prestazione. La probabilità di errore umano si calcola come funzione del prodotto dei singoli fattori che caratterizzano una mansione. Analiticamente essa è il prodotto tra la probabilità nominale di errore P_0 e tutti i valori relativi al fattore di performance PF_i , che è funzione delle condizioni favorevoli all'errore CFE_i e dell'errore di peso Ap_i .

$$P = P_0 \cdot \prod_i PF_i$$

$$PF_i = \{(CFE_i - 1) \cdot Ap_i + 1\}$$

Gli indici si ottengono dai seguenti valori elencati in Tabella 24.

| | CONDIZIONI FAVOREVOLI ALL'ERRORE | CFE |
|-----------|--|------------|
| 1 | Poca familiarità con una situazione nuova o infrequente, potenzialmente importante. | 17 |
| 2 | Mancanza di tempo per il rilevamento o la correzione dell'errore. | 11 |
| 3 | Segnali disturbati o confusi. | 10 |
| 4 | Strumenti di annullamento dell'informazione o per poterla considerare. | 9 |
| 5 | Nessun mezzo per far arrivare, fisicamente o funzionalmente, l'informazione all'operatore. | 9 |
| 6 | Interfaccia di utente/sistema inadeguata. | 8 |
| 7 | Nessun chiaro mezzo per recuperare un'azione involontaria. | 8 |
| 8 | Sovraccarico di informazioni. | 6 |
| 9 | Tecnica dimenticata. | 6 |
| 10 | Trasferimento di informazioni di un compito a un altro. | 5 |
| 11 | Poca chiarezza negli standard relativi alle performance attese. | 5 |
| 12 | Discrepanza tra il rischio reale e quello percepito. | 4 |
| 13 | Feed-back inadeguato, ambiguo o non contestualizzato. | 4 |
| 14 | Nessuna conferma chiara/diretta/tempestiva al sistema dell'azione voluta. | 4 |
| 15 | Inesperienza. | 3 |
| 16 | Scarse istruzioni o procedure. | 3 |
| 17 | Controllo o analisi degli output poco o del tutto non oggettivi. | 3 |

TABELLA 24 VALORI DELLE CONDIZIONI FAVOREVOLI ALL'ERRORE CFE, METODO HEART

In Tabella 25 vengono indicati i valori di probabilità nominale di errore P_0 .

| | GENERICHE MANSIONI | P_0 |
|----------|---|-------------------------|
| A | Completamente nuova, eseguita velocemente senza la reale idea delle possibili conseguenze. | 0,55 |
| B | Cambiare/riportare il sistema in un nuovo stato/nello stato iniziale con un solo tentativo senza procedure di controllo. | 0,26 |
| C | Compito complesso che richiede un elevato livello di competenza e competenza. | 0,16 |
| D | Compito abbastanza semplice eseguito rapidamente o con poca attenzione. | 0,09 |
| E | Compito routinario che richiede un non elevato livello di competenze. | 0,02 |
| F | Cambiare/riportare il sistema nello stato iniziale o in un nuovo stato seguendo procedure + controllo. | 0,003 |
| G | Compito completamente familiare, ben progettato, routinario, che ricorre diverse volte per ora, eseguito secondo i migliori standard, da persone molto motivate, ben formate e con esperienza, completamente consapevoli delle implicazioni di un esito negativo, con il tempo necessario per correggere un potenziale errore ma senza aiuti significativi. | 0,0004 |
| H | Rispondere correttamente a un comando di sistema anche in presenza di un sistema automatizzato di supervisione che fornisce interpretazione accurata dello stato del sistema. | 0,000002 |
| M | Compito per il quale non è disponibile alcuna descrizione. | 0,03 |

TABELLA 25 PROBABILITÀ NOMINALE DI ERRORE METODO HEART

PROBABILITÀ MACCHINISTA FRENA

Nel caso di passaggio a livello privo di protezione con sistema INFILL si utilizzano i valori indicati nella Tabella 26 per la valutazione della probabilità. In via cautelativa il fattore di peso A_{p_i} viene posto unitario.

| VALUTAZIONE PROBABILITÀ MACCHINISTA FRENA | | |
|--|--------|--|
| P₀ | 0,0004 | Probabilità nominale di errore: mansione G |
| CFE₂ | 11 | Condizione favorevole all'errore 2 |
| CFE₁₂ | 4 | Condizione favorevole all'errore 12 |
| AP₂ | 1 | Fattore di peso |
| AP₁₂ | 1 | Fattore di peso |
| PF₂ | 11 | Fattore di performance |
| PF₁₂ | 4 | Fattore di performance |
| P_{MF} | 0,0176 | Probabilità di errore umano |
| R_{MF} | 0,9824 | Affidabilità umana |

TABELLA 26 VALUTAZIONE DELLA PROBABILITÀ MACCHINISTA FRENA SENZA PROTEZIONE INFILL

Come si può notare la probabilità di errore umano è molto elevata in quanto dipende dalla distanza di visibilità dell'ostacolo e dai tempi di reazione del macchinista.

PROBABILITA' IL VEICOLO LIBERA L'INTERSEZIONE

In questo caso la probabilità è legata all'abilità del conducente di liberare l'intersezione tempestivamente, operazione estremamente difficile vista la condizione di panico che si può venire a creare.

Si è scelta una mansione di tipo M per la valutazione della probabilità nominale: "compito per il quale non è disponibile alcuna descrizione".

In Tabella 27 sono indicati i valori di riferimento; in questo caso il fattore di peso viene assunto pari a 0,5 vista l'elevata probabilità nominale.

| VALUTAZIONE PROBABILITÀ IL VEICOLO LIBERA L'INTERSEZIONE | | |
|---|------|--|
| P₀ | 0,03 | Probabilità nominale di errore: mansione M |
| CFE₂ | 11 | Condizione favorevole all'errore 2 |
| CFE₁₂ | 4 | Condizione favorevole all'errore 12 |
| CFE₁₅ | 3 | Condizione favorevole all'errore 15 |
| AP₂ | 0,5 | Fattore di peso |
| AP₁₂ | 0,5 | Fattore di peso |
| AP₁₅ | 0,5 | Fattore di peso |
| PF₂ | 11 | Fattore di performance |
| PF₁₂ | 4 | Fattore di performance |
| PF₁₅ | 3 | Fattore di performance |
| P_{VI} | 0,9 | Probabilità di errore umano |
| R_{VI} | 0,1 | Affidabilità umana |

TABELLA 27 VALUTAZIONE DELLA PROBABILITÀ VEICOLO LIBERA L'INTERSEZIONE

Come si nota la probabilità di errore in questo caso è molto elevata, essendo situazioni complesse da gestire in quanto di emergenza.

PROBABILITÀ ARRESTO TRENO

Una volta avviata la frenatura di emergenza il treno raggiunge velocità nulla alla distanza obiettivo in funzione di:

- Velocità iniziale;
- Distanza di visibilità dell'ostacolo;
- Tipologia materiale rotabile.

La trattazione analitica risulta complessa ed esula dagli scopi della presente tesi che propone una soluzione impiantistica, quindi si utilizzeranno i dati riportati nel lavoro di Tesi Magistrale "*SICUREZZA NEL TRASPORTO FERROVIARIO: EFFETTI DI DISPOSITIVI DI PROTEZIONE AUTOMATICA INTEGRATIVA AI PASSAGGI A LIVELLO SUL RISCHIO D'ESERCIZIO*" indicata in bibliografia.

La probabilità di arresto P_{AR} viene assunta pari a 0,940 considerando un veicolo interferente con l'intersezione strada/ferrovia e velocità iniziale pari a 140 km/h , che è la velocità massima ammessa nelle linee a semplice binario distanziate con blocco conta-assi.

Le probabilità dell'albero degli eventi possono essere così costruite considerando che la probabilità dell'evento iniziatore P_{TE} viene posta uguale a quella trovata nella FTA.

Si consideri l'albero degli eventi indicato in *figura 85* in cui sono indicate le probabilità.

Le probabilità totali di DANNO GRAVE o NESSUN DANNO sono date dalle seguenti espressioni.

$$P_{DANNO_GRAVE} = P_3 + P_5 = 0,0004679 + 0,0001397 = 0,0006058$$

$$P_{NESSUN_DANNO} = P_1 + P_2 + P_4 = 0,00821241$$

ALBERO DEGLI EVENTI POST INTERVENTO MITIGATIVO

L'intervento migliorativo proposto si inserisce come una barriera di protezione tra lo scenario "*occupazione sede ferroviaria in seguito a tallonamento*" e le possibili conseguenze derivanti. Supponendo che il sistema proposto sia SIL4 la sua probabilità di guasto e affidabilità sono pari a:

$$P_{INFILL} = 8,76 \cdot 10^{-6}$$

$$R_{INFILL} = 0,999999124$$

Come si vede la probabilità di guasto è molto elevata. Si suppone che intervenendo il sistema porti il treno a velocità nulla in prossimità del PL

L'albero degli eventi può essere costruito come in *figura 86*.

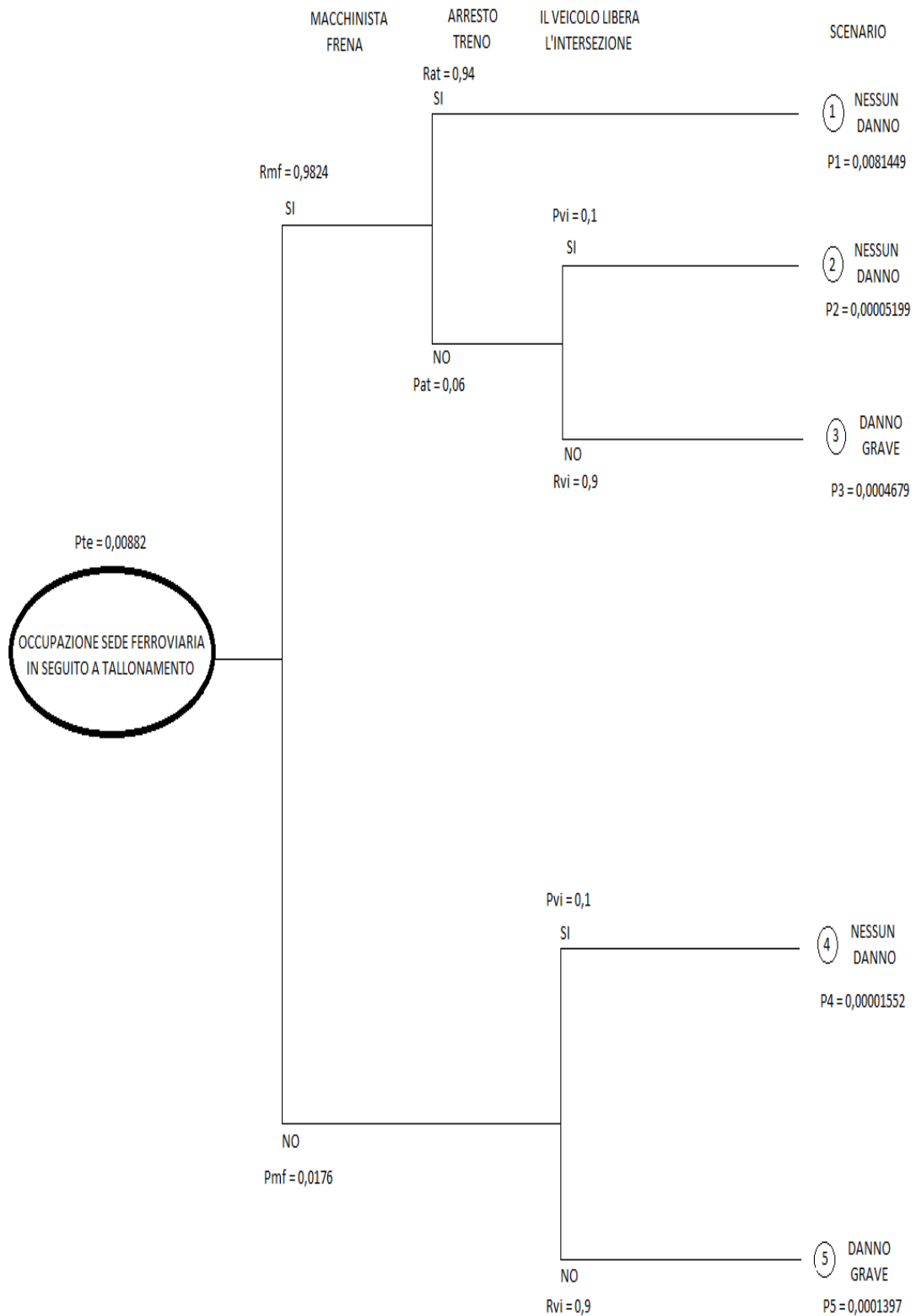


FIGURA 85 ETA SENZA INTERVENTO MITIGATIVO CON INDICATE LE PROBABILITÀ

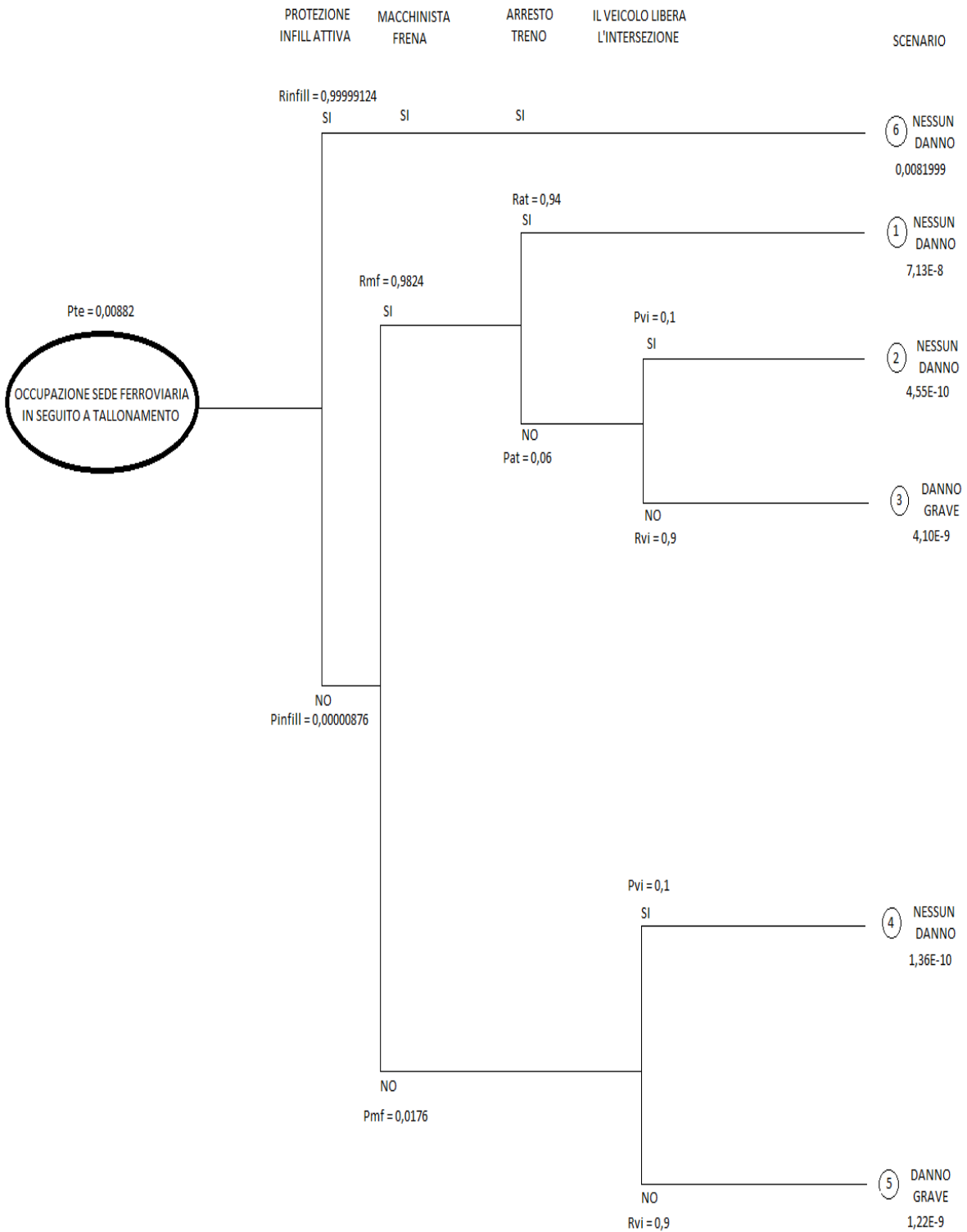


FIGURA 86 ALBERO DEGLI EVENTI CON PROTEZIONE SCMT INFILL

Risulta ora interessante ricalcolare le probabilità delle conseguenze.

$$P_{NESSUN_DANNO} = P_1 + P_2 + P_4 + P_6 = 0,0081999 + 7,13 \cdot 10^{-8} + 4,55 \cdot 10^{-5} + 1,36 \cdot 10^{-10} \\ = 0,0082455$$

$$P_{DANNO_GRAVE} = P_3 + P_5 = 4,10 \cdot 10^{-9} + 1,22 \cdot 10^{-9} = 0,00000000532$$

Com'era prevedibile la probabilità di accadimento di danni gravi si riduce notevolmente rispetto al caso senza protezione INFILL (nel caso senza protezione $P_{DANNO_GRAVE}=0,0006058$). Tale risultato è spiegabile grazie al fatto che il sistema tecnologico proposto si sostituisce al macchinista in caso dell'inconveniente PE 43.2 "abbattimento barriere", decelerando o arrestando il mezzo di trazione prima che impegni il passaggio a livello. La probabilità di non incorrere in nessun danno non ha variazioni significative (rispetto al caso precedente $P_{NESSUN_DANNO} = 0,00821241$). Questo dimostra che gli schemi V308 e V305 hanno comunque un elevato livello di sicurezza già allo stato attuale (SIL4), in quanto rispettano il principio del collegamento di sicurezza.

La protezione automatica integrativa introduce un'ulteriore barriera di sicurezza in grado di ridurre sensibilmente il rischio di collisione tra un rotabile un veicolo (potenzialmente catastrofico) in seguito a un abbattimento barriere con invasione della sede ferroviaria.

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Ad oggi l'infrastruttura gestita da RFI contiene 4183 Passaggi a Livello (di cui 1033 in gestione a privati); nonostante dal 2000 al 2015 vi sia stata la soppressione di 3250 PL, molte linee ferroviarie contengono intersezioni strada/ferrovia e rappresentano un elemento sensibile dell'infrastruttura.

Il progetto di riduzione continua ancora oggi e coinvolge non solo Rete Ferroviaria Italiana ma anche le istituzioni quali Governo, Regioni, Province e Comuni, che in sinergia si coordinano per la progettazione di opere sostitutive quali sottopassi e cavalcavia. L'obiettivo è vincolato dalle caratteristiche idrogeologiche del terreno, dai beni architettonici e culturali, dall'urbanizzazione e non è di facile e immediata realizzazione.

È naturale concludere che non sempre un passaggio a livello può essere soppresso e quindi quelli in esercizio sono gestiti da RFI con gli standard più elevati di sicurezza, tipici degli impianti di segnalamento ferroviario.

Uno dei principi che stanno alla base della sicurezza è che *qualsiasi impianto, apparecchiatura, macchina etc deve essere esercitata prendendo in considerazione lo stato dell'arte di quel specifico settore*. Ad oggi, per aumentare il livello di sicurezza dei PL esistono, tra gli altri:

- PAI-PL, moderne tecnologie (RADAR o LASER) che rilevano se l'attraversamento è ingombro;
- ERTMS-ETCS L1, che fornisce in maniera discreta (attraverso l'utilizzo di transponder) lo stato degli enti di linea (inclusi i passaggi a livello), arrestando il treno in caso di possibile inconveniente.

La soluzione impiantistica proposta, che potrebbe essere nominata PAI-INFILL (Protezione Automatica Integrativa INFILL) fornisce all'agente di condotta le informazioni di sicurezza circa lo stato del sistema PL in continuo dalla distanza di frenatura in poi, applicandola a schemi di principio previsti per linee a semplice binario.

La proposta nasce quindi dalla volontà di integrare gli schemi di principio (come richiesto da ANSF) in virtù di un livello di sicurezza aggiuntivo, applicando il principio dello "stato dell'arte": Infatti gli schemi proposti utilizzano tecnologie già consolidate quali l'SCMT INFILL e i sistemi V308 e V305 che sono in utilizzo da decenni.

La scelta di applicarlo a questo schema è dettata dal fatto che tali PL, essendo protetti da segnale di partenza di una stazione limitrofa, possono trovarsi anche a notevole distanza da quest'ultima, aumentando notevolmente il tempo di chiusura.

L'esperienza e la statistica dimostrano che all'approssimarsi di un PL l'utente stradale diviene "impaziente" al punto di non valutare correttamente il rischio che si corre nell'attraversare con

segnale stradale disposto al rosso o, addirittura, mentre le barriere sono in fase di abbassamento. Sono anche frequenti gli abbattimenti a barriere già abbassate, complici la distrazione e la velocità delle auto. Nel capitolo 1 si è concluso che la maggior parte degli inconvenienti in un PL si hanno per condotta incauta (e quindi violante il Codice della Strada) degli utenti stradali, in particolar modo se automobilisti.

Analizzando la *Tabella 9*, già proposta nel Capitolo 1, si osserva come gli “indebiti tallonamenti barriera” siano le situazioni anomale più frequenti se confrontate con “indebita attraversamento da parte di veicoli”, “indebita attraversamento da parte di pedoni e ciclisti” e “indebita apertura delle barriere”. Le frequenze relative a indebita attraversamento comprendono anche i tallonamenti in fase di chiusura (i più frequenti) e apertura, in quanto vengono rilevati dal momento dell'accensione del segnale stradale in poi.

| PERICOLO | FATTORI CAUSALI IN BASE ALLE FREQUENZE (E-06) |
|--|---|
| PE 32 INDEBITA APERTURA DELLE BARRIERE | II. FWSI ≥ 0 N.° treni/giorno: 0÷50 (f=14,5) |
| PE 43.1 INDEBITO ATTRAVERSAMENTO DI PL DA PARTE DI VEICOLI | VII. FWSI ≥ 1 densità abitativa: 200÷600(f=60,8) VIII. FWSI ≥ 0 tempo di chiusura: 3,5 (f=30,5) IX. FWSI ≥ 0 intensità di traffico stradale: elevato/intenso (f=30,1) X. FWSI ≥ 0 tipologia di PL: barriere intere (f =29,6) XI. 0 < FWSI < 1 densità abitativa: 0÷200 (f=15,3) XII. FWSI ≥ 0 velocità massima linea: 121÷180 (f=7,9) |
| PE 43.2 INDEBITO TALLONAMENTO DI PL DA PARTE DI VEICOLI | III. FWSI ≥ 0 velocità massima linea: 31÷120 (f=37,3) IV. FWSI ≥ 0 N.° treni/giorno: 0÷50 (f=21,0) |
| PE 44 INDEBITO ATTRAVERSAMENTO DI CICLISTI E PEDONI | 2. FWSI ≥ 0 N.° treni/giorno: 0÷50 (f=11,7) |

Il sistema PAI-INFILL potrebbe essere applicabile a quei PL che sono tra i primi nella graduatoria di priorità stilata da RFI in collaborazione con La Sapienza di Roma, analizzando il ranking relativo al PE 43.2 e scegliendo PL inseriti su linee a semplice binario. In tal modo si risponderebbe positivamente alle richieste dell'ANSF circa l'implementazione di misure mitigative per i rischi in esame.

I passi ancora da compiere per validare l'idea sono:

- Verifica della necessità di variazioni al software SSB SCMT: essendo una configurazione non esistente è necessario che i progettisti SCMT si confrontino circa la possibilità di definizione delle variabili dei telegrammi secondo la sequenza proposta;
- Verifica circa la lunghezza massima del CDB INFILL: allo stato attuale il circuito massimo raggiungibile è di 400 m ma, variando le taglie dei trasformatori, è possibile raggiungere lunghezze più elevate;

- Fattibilità del riordino normativo circa il Regolamento Segnali: modificare il RS prevede un'azione che richiede una complessa valutazione a monte e una onerosa ricaduta formativa su gran parte degli attori che ogni giorno lavorano per le Imprese Ferroviarie e per i Gestori Infrastruttura (solo il gruppo FSI ha all'attivo 83167 dipendenti);
- Fattibilità circa il riordino normativo per i Regolatori della Circolazione, in particolar modo per la gestione dell'anormalità SCMT;
- Fattibilità circa il riordino normativo per gli Agenti della Manutenzione;
- Andranno valutati altri aspetti impiantistici quali, per esempio, la gestione degli ingressi encoder SCMT (attualmente gli ingressi sono dati dagli aspetti segnali mentre, in questo caso, dal controllo di chiusura del PL).

L'intero sistema va proposto, revisionato, sperimentato e validato, seguendo un rigido ITER che ne attesti gli standard di sicurezza e qualità.

La tesi ha come scopo iniziare questo processo, dimostrando la fattibilità della soluzione proposta e la convenienza dal punto di vista dell'esercizio in sicurezza dei Passaggi a Livello. Tale vantaggio è già stato dimostrato nella fase finale del capitolo 5 in cui si è sviluppata un Event Tree Analysis partendo dal Top Event "Indebito tallonamento con interferenza sagoma". A fronte di una $P_{DANNO_GRAVE} = 0,0006058$ iniziale, con la barriera aggiuntiva si raggiunge un $P_{DANNO_GRAVE} = 0,00000000532$, diminuendo la probabilità di danno grave del 99,99% (probabilità quasi annullata).

Uno degli svantaggi nel possibile utilizzo della soluzione proposta è l'installazione aggiuntiva di GII (Giunti isolati Incollati) che sono elementi sensibili dell'infrastruttura. Per contro l'introduzione delle traverse speciali in CAP tipo passacavi permettono l'appoggio del giunto su traversa unico, migliorando sensibilmente le condizioni di vincolo e le sollecitazioni: l'impiego di tale apparecchi di binario riduce notevolmente lo svantaggio cui sopra.

Lo schema e la logica PAI-INFILL sono state studiate per linee a semplice binario ma i PL protetti da segnali di partenza esistono anche sulle linee a doppio binario distanziate con Blocco Conta-assi o Blocco Automatico a Correnti Codificate o Correnti Fisse.

Nel primo caso il sistema potrebbe essere implementabile rivedendo gli schemi di principio in maniera simile al V308 e V305.

Nel secondo caso la codifica è vincolata allo stato dei PL presenti in tratta: è quindi una protezione simile ma che non utilizza i punti informativi SCMT ma bensì la ripetizione dei segnali continua (RSC).

Nel terzo caso è implementabile ma i PL inseriti in tali linee sono generalmente protetti da PBA e quindi a distanza minore rispetto ai casi analizzati nella tesi.

ANDREA DI MONTI

RETE FERROVIARIA ITALIANA SpA

ALLEGATO 1

ESTRATTO DEL REGOLAMENTO SEGNALI

Il regolamento segnali è uno dei due **regolamenti** (oltre al RCT) utilizzati sulla rete RFI dalle IF che contiene tutti i segnali necessari alla circolazione ferroviaria in sicurezza.

Un agente di condotta (AdC nel seguito) regola la marcia del treno in base alle segnalazioni che riceve in linea, nelle stazioni, nei bivi, in prossimità dei PL e nelle località di servizio in genere. Essi possono essere così suddivisi:

- SEGNALI DEI TRENI;
- SEGNALI DELLA LINEA E DELLE STAZIONI;
- SEGNALI PER LE MANOVRE CON LOCOMOTIVA;
- SEGNALI SUSSIDIARI ED ACCESSORI;
- SEGNALETICA COMPLEMENTARE.

I segnali dei treni sono fischi, tabelle per l'individuazione della coda del treno, per l'identificazione della testa del treno, segnalazioni presenti in cabina di guida (RIPETIZIONE DEI SEGNALI CONTINUA SU LINEE CON BLOCCO AUTOMATICO A CORRENTI CODIFICATE O CON BLOCCO RADIO): sono quindi quelle segnalazioni proprie di un treno, in carico alle IF.



I segnali della linea e delle stazioni sono principalmente di tipo luminoso (a mano e fissi) e hanno la funzione di dare le prescrizioni all'AdC atte alla regolazione della marcia del treno nelle stazioni (località di servizio) e in linea. L'assenza di segnali indica che la via è libera salvo quanto previsto per le linee munite con sistema ERTMS/ETCS e in caso di mancata o imperfetta indicazione dei segnali: **nel qual caso la marcia deve essere arrestata immediatamente.**

I segnali possono essere fissi o a mano (presentati da un agente incaricato), luminosi e non. Quelli luminosi danno le segnalazioni a mezzo di una luce fissa proiettata sia di giorno che di notte da dei fanali speciali (a incandescenza, diodi o led) applicati a uno schermo dipinto di nero con contorno bianco (volgarmente detto “vela del segnale”), installati su di uno stante (palificazione) con colorazione diversa a seconda della funzione del segnale. I segnali luminosi sono di 1ª categoria o di avviso: i primi possono essere disposti a via impedita (nel qual caso non oltrepassabili dal treno) e proteggono punti singolari quali stazioni, raccordi in linea, passaggi a livello etc. I segnali di avviso sono normalmente a via libera e sono posti a una distanza tale da permettere al macchinista di portarsi a 30 km/h 200 metri prima del segnale di 1ª categoria a cui fanno avviso (DISTANZA DI FRENATURA): infatti in caso di avviso di via impedita il treno deve arrestarsi. A un segnale di 1ª categoria può essere associata la funzione di avviso del segnale di 1ª categoria immediatamente a valle: in tal caso si parla di avviso accoppiato.

I segnali di 1ª categoria si suddividono, a seconda della funzione che esercitano:

- **Segnali di protezione:** normalmente a via impedita e proteggono le località di servizio quali stazioni, raccordi in linea, bivi, etc.
- **Segnali di partenza:** normalmente a via impedita che comandano le partenze dei treni dalle stazioni o il transito degli stessi.
- **Segnali permissivi di blocco automatico (PBA):** appartenenti alla linea e normalmente a via libera eccezion fatta per quei segnali che proteggono PL di linea. Sono utilizzati nelle linee con blocco automatico (BACC, blocco automatico a correnti codificate e BACF, blocco automatico a correnti fisse).
- **Segnali di posto di blocco intermedi (PBI):** normalmente a via libera eccezion fatta per quei segnali che hanno anche la funzione di protezione dei PL. Vengono utilizzati nelle linee esercite con Bca (blocco conta assi).

Tutti segnali luminosi sono di norma posti alla sinistra del binario o sull'asse dello stesso (attraverso l'utilizzo di portali) e in questo caso la vela è tonda; nel caso siano installati a destra lo schermo è di forma quadrata.

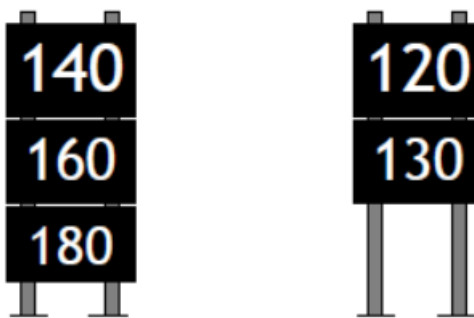
I segnali vengono ubicati a destra:

- Sulle linee banalizzate (dove il sistema di distanziamento prevede la marcia sinistra e destra) e per i binari di corsa destra delle stazioni;
- In casi particolari che vengono comunque riportati nell'orario di servizio.

Per gli scopi della presente tesi si ritiene necessaria la conoscenza dei seguenti segnali fissi:

1. **INDICATORI DI VELOCITA' MASSIMA (RANGHI DI VELOCITA'):** sono tabelle rettangolari indicanti i ranghi di velocità massima indicati nell'orario di servizio determinati in base alla tipologia di treno, ossia alla dinamica di marcia del convoglio (ovvero a come sono costituiti i carrelli, le sospensioni, l'assetto e la disposizione delle masse); essi sono tre: A, B e C. La cifra superiore, scritta con caratteri maggiori rispetto alle inferiori sta a indicare il rango A, generalmente attribuibile ai treni merci (che sono pesanti e con frenatura continua

automatica delle carrozze a ceppi piuttosto che a disco); a seguire dal basso verso l'alto vengono indicati i ranghi B e C. Generalmente tali segnalazioni sono presenti in piena linea per individuare i punti di variazione delle velocità massime risultanti dall'orario di servizio.



Gli indicatori che segnalano un passaggio di velocità con scarto notevole (da maggiore a inferiore) sono preceduti da due indicatori sussidiari aventi le stesse caratteristiche ma contrassegnati da due strisce bianche oblique, per l'indicatore sussidiario incontrato per primo dai treni, e da una striscia obliqua per quello incontrato per secondo. Generalmente segnalazioni si utilizzano per variazioni di velocità in decelerazione con scarto superiore ai 30 km/h.



2. SEGNALI DI PRIMA CATEGORIA E DI AVVISO: sono segnali luminosi che possono presentare i seguenti aspetti.

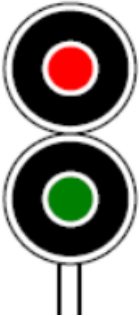
2.1. SEGNALI DI 1^A CATEGORIA: palificazione (stante) bianca.



ROSSO: via impedita, l'AdC deve arrestare il treno senza oltrepassare il segnale.



VERDE: via libera.



LUCE ROSSA SOVRAPPOSTA A LUCE VERDE: via libera con conferma di riduzione di velocità per itinerario deviato a 30 km/h, 60 km/h o 100 km/h secondo l'indicazione data dall'avviso precedente.

2.2. SEGNALI DI AVVISO: palificazione (stante) a bande bianco e nere.



LUCE GIALLA: avviso di via impedita indicante che il successivo segnale di 1° categoria è a via impedita e quindi l'AdC deve regolare la marcia del treno in maniera tale da portarsi a a 30 km/h a una distanza maggiore o uguale a 200 m dal suddetto segnale di 1° categoria per poi arrestarsi in prossimità dello stesso.



LUCE GIALLA LAMPEGGIANTE: avviso anticipato di via impedita, indicante che il successivo segnale è a via libera per un itinerario di corretto tracciato ma si trova a distanza ridotta (mai inferiore a 600 m) rispetto al segnale successivo che è disposto a via impedita oppure a via libera per un itinerario deviato. L'AdC deve quindi regolare la marcia per mettersi in condizioni di rispettare l'ultimo segnale.



GRUPPO DI LUCI GIALLA E VERDE FISSA: avviso di via libera a 30 km/h, indicante un successivo segnale di 1ª categoria da impegnarsi con velocità non superiore a 30 km/h. L'agente di condotta deve oltrepassare detto segnale e percorrere il gruppo di scambi con una velocità non superiore a 30 km/h. Le velocità massime sono dettate dalle caratteristiche costruttive degli scambi e dalle apparecchiature di sicurezza ad essi applicati.



GRUPPI DI LUCI GIALLA E VERDE LAMPEGGIANTI CONTEMPORANEAMENTE: avviso di via libera a 60 km/h indicante che il successivo segnale di 1^a categoria è a via libera per un itinerario da percorrere con velocità non superiore a 30 km/h.



GRUPPI DI LUCI GIALLA E VERDE LAMPEGGIANTI ALTERNATIVAMENTE: avviso di via libera a 100 km/h, indicante che il successivo segnale di 1^a categoria è disposto a via libera per un itinerario da percorrere con velocità minore o uguale a 100 km/h. In questo caso il gruppo di scambi facenti parte dell'ingresso sono di tipo oleodinamico



GRUPPO DI DUE LUCI GIALLE (con palificazione bianca): avviso di via impedita a distanza anormalmente ridotta oppure con arresto su binario di ricevimento ingombro o corto, indicante che il successivo segnale di 1^a categoria o di arresto (binario tronco) è ubicato a una distanza minore o uguale a 600 m o su un binario parzialmente ingombro. Detti segnali sono sempre preceduti da un avviso con luce gialla.:



LUCE VERDE: avviso di via libera senza limitazioni di velocità. Il successivo segnale di 1^a categoria è disposto a via libera per un itinerario percorribile senza speciali (se non quelle dettate dai ranghi di velocità) limitazioni di velocità.

3. **SEGNALI PERMISSIVI DI BLOCCO AUTOMATICO:** nelle linee con blocco automatico (sia a correnti codificate che fisse) i segnali di 1^a categoria cambiano aspetto in base all'effettiva marcia dei treni: da qui la dizione automatica. Non vi è l'intervento del regolatore della circolazione se non nell'applicazione di prescrizioni in caso di anomalità o guasto al sistema di distanziamento. Detti segnali sono normalmente disposti a via libera tranne nel caso in cui abbiano la funzione di proteggere uno o più passaggi a livello.



RFI con Disposizione di Esercizio n.1 del 13/02/2013 in ottemperanza alla Direttiva ANSF n.1/2012 ha deliberato che i segnali di blocco automatico disposti a via impedita possono essere oltrepassati d'iniziativa dall'AdC solo con prescrizione del RdC una volta che questi ha accertato la libertà della via. Precedentemente a tale disposizione l'AdC con il segnale permissivo a via impedita poteva superarlo d'iniziativa dopo 3 minuti con marcia a vista non superando la velocità di 30 km/h fino al successivo segnale di 1^a

categoria disposto a via libera.



Nel caso il segnale permissivo che protegge uno o più PL sia disposto a via impedita il RdC può autorizzare il movimento del treno all'AdC il quale dovrà effettuare una marcia a vista specifica non superando la velocità di 4 km/h e potrà oltrepassare il PL solo qualora l'attraversamento sia sgombro e le barriere siano integre, oppure sia protetto da agenti RFI o di polizia. Tale procedura è disciplinata dalla DE 08 del 30 giugno 2014 di RFI (ottemperante al decreto 4/2012 emanato da ANSF).

SEGNALI MUNITI DELLE LETTERE LUMINOSE "D" ED "A": nelle linee esercite con il blocco elettrico manuale o il blocco conta assi i segnali di 1^a categoria possono avere in dotazione delle lettere luminose su tabella a fondo nero avente le seguenti funzioni.



L'accensione delle lettere notificano all'AdC che il posto di servizio non è presenziato da RdC ma comandato e controllato da remoto.

La lettera luminosa D può essere accesa a luce fissa o lampeggiante e viene applicata ai segnali di protezione delle stazioni; nel primo caso l'AdC dopo la fermata ha l'obbligo su prescrizione del RdC di riprendere la marcia non superando la velocità di 30 km/h sull'itinerario di arrivo. Nel caso tale segnale protegga uno o più PL vale ancora la DE 08/2014 vista precedentemente. Nel secondo caso l'AdC ha l'obbligo di controllare la regolare disposizione dell'itinerario di arrivo, ossia che i deviatori siano nella corretta posizione e fermascambiati. Se la lettera D è spenta, una volta accertato l'impresenziamento dell'impianto, l'AdC dovrà mettersi in comunicazione con il RdC il quale darà le opportune prescrizioni per poter superare il segnale a via impedita.



La lettera luminosa A può essere spenta, a luce fissa o lampeggiante e viene applicata ai segnali di partenze delle stazioni, ai segnali di PBI, ai segnali di protezione di raccordi in linea nelle linee esercite con blocco conta assi. In caso di A accesa sia a luce fissa che lampeggiante garantisce il via libera di blocco elettrico (ossia il tratto di linea che protetto dal segnale è libero da rotabili). Se un AdC incontra un segnale di 1^a categoria con A lampeggiante deve effettuare, previa prescrizione del RdC, marcia a vista non superando i 30 km/h e controllando la regolare disposizione dell'itinerario di partenza: ossia i deviatori devono essere nella corretta

posizione e fermascambiate. Tale procedura è disciplinata dalla DE 06/2015.

Nel caso la A sia spenta l'AdC una volta accertatosi che l'impianto non è presenziato da RdC dovrà ricevere le prescrizioni dallo stesso per il superamento del segnale stesso.

Ad ambedue i segnali può essere associata anche la protezione di uno o più passaggi a livello, in tal caso sotto la citata lettera dovrà essere applicata una tabella recante on colore nero la scritta PL e il numero dei passaggi a livello da impegnare con marcia a vista specifica secondo le modalità viste precedentemente.

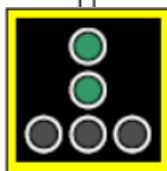
4. SEGNALI DEI PASSAGGI A LIVELLO DOTATI DI PROTEZIONE PROPRIA

I passaggi a livello con barriere possono essere dotati di protezione propria realizzata attraverso le seguenti modalità:

- Per PL azionati automaticamente dal treno o meno mediante segnali fissi luminosi a cui può essere accoppiato l'avviso del successivo segnale di 1^a categoria;
- Per passaggi a livello azionati esclusivamente dai treni mediante segnali così costituiti:



SEGNALE DI PROTEZIONE avente due gruppi di luci: tre luci rosse orizzontali che danno indicazione di via impedita e due luci verdi verticali che danno indicazione di via libera.



SEGNALE DI PROTEZIONE con indicazione di via libera.



SEGNALE DI AVVISO con due gruppi di luci: tre luci gialle orizzontali che danno indicazione di via libera con preavviso di via impedita a 1200 metri e due luci verdi verticali che danno indicazione di via libera.

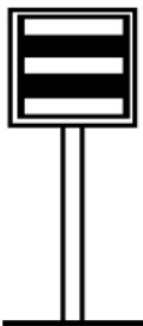


SEGNALE DI AVVISO con indicazione di via libera.

I segnali precedentemente indicati vengono volgarmente detti “Articolo 53 Regolamento Segnali” (Art. 53 RS nel seguito) in quanto trattati nel citato articolo. Possono essere utilizzati per proteggere più PL fino a un massimo di 4 nell'estensione massima di 2000 metri: in questo caso il solo segnale di protezione deve avere indicata una tabella indicante la scritta PL e il numero degli stessi.

La visibilità dei segnali di 1^a categoria e di avviso, dei segnali art.53 RS e relativi avvisi devono essere visibili, in condizioni normali, alla distanza di almeno 150 m nelle linee con velocità massima pari a 90 km/h e di almeno 200 m per velocità superiori al limite sopraindicato.

5. TABELLA DI IDENTIFICAZIONE DEI PL



Per facilitare al personale di condotta l'identificazione dei PL protetti da segnali di blocco permissivi e segnali art.53 RS essi sono preceduti da una o due tabelle di forma rettangolare che presentano al treno due strisce orizzontali bianche su fondo nero.

Vengono altresì utilizzate le seguenti tabelle:

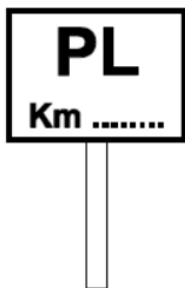


Tabella indicante la scritta PL e la chilometrica a cui si riferisce (nella linea in cui è inserito); dev'essere posizionata a una distanza di circa 50 m dall'attraversamento.

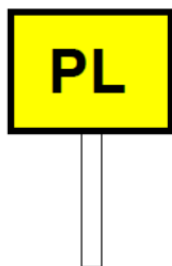


Tabella a fondo giallo recante la scritta PL e dev'essere ubicata alla distanza di frenatura dalla tabella precedente qualora il PL (o i PL se sono più di uno) sono ubicati a una distanza maggiore di 2000 m dal segnale che li protegge.

ALLEGATO 2

METODOLOGIA DI CALCOLO PER LA MEDIA PONDERATA DEGLI INDICATORI DI SICUREZZA DELLA CIRCOLAZIONE FERROVIARIA

La media ponderata degli indicatori di sicurezza della circolazione ferroviaria (ove richiesta) viene calcolata con lo stesso algoritmo definito dalla Decisione 460/2009/CE utile al calcolo degli NRV.

In questo caso vengono individuate sei categorie di rischio aventi ognuna delle unità di misura e le basi di graduazione come riportato nella tabella sottostante. La tabella è relativa all'indicatore Incidenti Significativi.

| Categoria di rischio | Unità di misura | Basi di graduazione |
|---|---|------------------------------|
| 1.Passeggeri | 1.1 Numero di passeggeri FWSI per anno derivante da incidenti gravi/numero di km-treno passeggeri per anno | Km-treno passeggeri per anno |
| | 1.2 Numero di passeggeri FWSI per anno derivante incidenti gravi/numero di km-passeggeri per anno | Km-passeggeri per anno |
| 2.Dipendenti o Imprese appaltatrici | Numero di dipendenti FWSI per anno derivante da incidenti gravi/numero di km-treno per anno | Km-treno per anno |
| 3.Utilizzatori dei PL | Numero di utilizzatori di PLFWSI per anno derivante da incidenti gravi/numero di km-treno per anno | km-treno per anno |
| 4a.Altra persona sul marciapiede | Numero annuale di FWSI a persone appartenenti alla categoria "altri" derivante da incidenti gravi/numero di km-treno per anno | Km-treno per anno |
| 4b.Altra persona che non si trova sul marciapiede | | |
| Persona che attraversa indebitamente la sede ferroviaria | Numero di FWSI a persone per anno derivante da incidenti gravi/numero di km-treno per anno | Km-treno per anno |

L'algoritmo per il calcolo della media ponderata dell'indicatore IND_Y , dove Y è l'anno di calcolo, è così definito:

1. Come base dei riferimenti di tempo per le osservazioni si utilizzano i precedenti anni dall'anno di calcolo;
2. Calcolo delle Osservazioni OBS_i (dove i è l'anno di osservazione) ottenuta dalle unità di misura corrispondente elencate nella tabella precedente;
3. Calcolo della media aritmetica n-anno (AV) delle osservazioni annuali OBS_i ;
4. Calcolo del valore assoluto della differenza $ABSDIFF_i$ tra ogni osservazione annuale OBS_i e la AV. Se

$$ABSDIFF_i < 0.01 \times AV$$

Ad $ABSDIFF_i$ viene attribuito un valore costante pari a

$$0.01 \times AV$$

5. Calcolo del fattore ponderale W_i per ogni singolo anno i assumendo

$$W_i = \frac{1}{ABSDIFF_i}$$

6. Calcolo dell'indicatore nella forma media ponderata dato da:

$$IND_Y = \frac{\sum_{i=x}^N W_i \times OBS_i}{\sum_{i=x}^N W_i}$$

Dove i è un numero naturale e

$$x = Y - 7 ; N = Y - 2$$

ALLEGATO 3

TABELLA HAZOP PER TOP EVENT “INDEBITO TALLONAMENTO BARRIERA”

| ATTRIBUTO | PAROLA CHIAVE | HAZARD | CAUSA | PRE-MITIGAZIONE | MITIGAZIONE | NOTE |
|-----------------------------|---------------|--------|---|---|--|--|
| visibilità segnale stradale | Parte di | 43.2 | Ostacoli | VDS semestrali | VDS stagionali | Generalmente è la vegetazione lungo le strade che ostruisce la visibilità: intensificare nei mesi estivi. |
| Visibilità segnale stradale | NO | 43.2 | Basso isolamento cavi | Verifiche annuali e controllo MDI | Utilizzo cavi corazzati per alimentazione illuminazione. | Nella maggior parte dei casi è l'azione dei roditori a determinare il basso isolamento. |
| Visibilità segnale stradale | NO | 43.2 | Fine vita lampada incandescenza | Sostituzione annuale o semestrale | Installazione matrice led rossi con vita utile superiore ai 10 anni. | La matrice LED garantisce il funzionamento per almeno 10 anni (componente SIL4). |
| Visibilità segnale stradale | NO | 43.2 | Cedimento stante segnale | Verifiche manutentive SDS | Sperimentazione diagnostica a ultrasuoni nel basamento. | Il cedimento può essere prevenuto con visite ispettive intrusive o tramite strumenti diagnostici a ultrasuoni. |
| Visibilità barriera | Parte di | 43.2 | Catarifrangenza compromessa causa agenti atmosferici. | Verifiche manutentive | Sostituzione quinquennale adesivo rifrangente. | - |
| Visibilità barriera | NO | 43.2 | Tallonamento barriera | Verifiche sul preavviso, VDS semestrali | - | - |

| ATTRIBUTO | PAROLA CHIAVE | HAZARD | CAUSA | PRE-MITIGAZIONE | MITIGAZIONE | NOTE |
|---------------------|----------------------------------|--------|--|--|--|--|
| Visibilità barriera | NO | 43.2 | Tallonamento causa cattiva condotta di guida. | Verifica visibilità tabelle distanziometriche lato strada. | Aumento numero segnali stradali. | Previsto negli interventi mitigativi indicati nel Capitolo 1 secondo la graduatoria di priorità d'intervento. |
| Visibilità barriera | NO | 43.2 | Tallonamento causa infrazione codice della strada. | Sanzioni amministrative. | Installazione TRED PL e aumento sanzioni amministrative fino alla sospensione patente. | La cultura della sicurezza va distribuita anche a mezzo di sanzioni più severe visto il livello di rischio in un PL. |
| Tempo di preavviso | Parte di (minore della taratura) | 43.2 | Malfunzionamento temporizzatori. | VDS semestrali con compilazione ISB2. | Diagnostica centralizzata a remoto con segnalazione di allarme. | Sono in sperimentazione delle diagnostiche collegate a un posto centrale che possono rilevare in tempo reale dette anomalie. |
| Tempo di preavviso | NO | 43.2 | Malfunzionamento temporizzatori. | VDS semestrali con compilazione ISB2. | Diagnostica centralizzata a remoto con segnalazione di allarme. | Sono in sperimentazione delle diagnostiche collegate a un posto centrale che possono rilevare in tempo reale dette anomalie. |
| Tempo di chiusura | Parte di (minore di 15 s) | 43.2 | Malfunzionamento circuito idraulico | VDS semestrali con compilazione ISB2. | Diagnostica centralizzata a remoto con segnalazione di allarme. | Sono in sperimentazione delle diagnostiche collegate a un posto centrale che possono rilevare in tempo reale dette anomalie. |
| Tempo di chiusura | NO | 43.2 | Malfunzionamento circuito idraulico. | VDS semestrali con compilazione ISB2. | Diagnostica centralizzata a remoto con segnalazione di allarme. | Sono in sperimentazione delle diagnostiche collegate a un posto centrale che possono rilevare in tempo reale dette anomalie. |

| ATTRIBUTO | PAROLA CHIAVE | HAZARD | CAUSA | PRE-MITIGAZIONE | MITIGAZIONE | NOTE |
|---------------------|----------------------|--------|--|--------------------|-------------|---|
| Avvisatore acustico | Parte di (attenuato) | 43.2 | Malfunctionament o suoneria elettronica. | VDS semestrale. | - | Non si ritengono necessarie mitigazioni ulteriori. |
| Visibilità barriera | NO | 43.2 | Guasto suoneria elettronica. | VDS semestrale. | - | Non si ritengono necessarie mitigazioni ulteriori. |

ALLEGATO 4

NORME COMPORTAMENTALI DEGLI UTENTI STRADALI

Gli incidenti interessanti i Passaggi a Livello raramente sono imputabili al sistema ferroviario ma bensì al mancato rispetto del Codice della Strada (Articolo 147) dovuto alla fretta e a comportamenti abitudinari errati. L'UIC (Union International des Chemins de fer) ogni anno organizza una giornata di sensibilizzazione ai rischi connessi all'uso di comportamenti errati nell'attraversare un passaggio a livello: tali giornate vengono chiamate ILCAD (International Level Crossing Awareness Day). Tale programma rientra in quella che è la campagna di diffusione della cultura della sicurezza sostenuta da RFI ed estesa anche alle scuole dei paesi aderenti: lo scopo è istruire i giovani fin da subito.

Di seguito vengono indicati i comportamenti da tenere nell'attraversare un Passaggio a Livello.



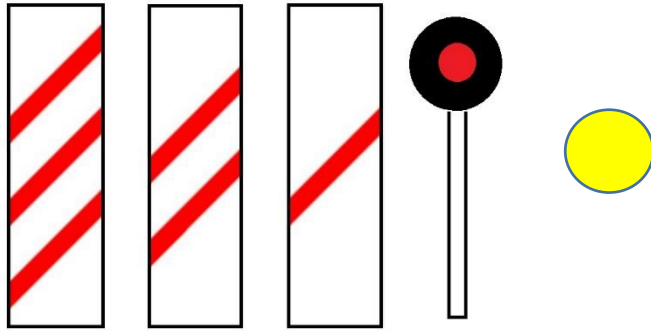
**ATTRAVERSARE SOLO
QUANDO LE BARRIERE
SONO COMPLETAMENTE
ALZATE**



**FERMARSI QUANDO LE
BARRIERE SONO IN
CHIUSURA E ATTENDERE
LA RIAPERTURA**



**NON SCAVALCARE NÉ
PASSARE LE BARRIERE
QUANDO SONO CHIUSE O
TENTARE DI SOLLEVARLE!**



**RISPETTARE LA
SEGNALETICA E I
SEMAFORI STRADALI**



**NEL CASO SI RIMANGA
INTRAPPOLATI TRA LE
BARRIERE CERCARE IN
TUTTE LE MANIERE DI
PORTARE FUORI IL
VEICOLO DAI BINARI
ANCHE ABBATTENDO UNA
BARRIERA SE NECESSARIO**

Le conseguenze derivanti dall'inosservanza di dette norme possono essere anche catastrofiche, da qui l'importanza di utilizzare tutte le cautele nell'attraversare un passaggio a livello.

Il mancato rispetto delle norme del Codice della Strada prevede delle sanzioni amministrative finanziarie che dovrebbero essere riviste e rese più severe, vista la frequenza con cui vengono disattese e le conseguenze potenziali derivanti.

INDICE DELLE FIGURE

| | |
|--|----|
| FIGURA 1 PARTE DELL'ORGANIGRAMMA RFI COINVOLTO NEL SGS | 14 |
| FIGURA 2 ARCHITETTURA DEGLI INDICATORI PRESTAZIONALI DI SICUREZZA | 17 |
| FIGURA 3 ACCADIMENTO EVENTI INDESIDERATI E MISURE DI SICUREZZA | 23 |
| FIGURA 4 PARTICOLARE DI PL CON STRADE PARALLELE INTERSECANTI SULL'ATTRAVERSAMENTO | 26 |
| FIGURA 5 MODALITÀ DI CORRELAZIONE TRA I PARAMETRI CARATTERISTICI DEI PL | 29 |
| FIGURA 6 FREQUENZE DI ACCADIMENTO RELATIVE AL PE 43.2 CORRELATE A TIPOLOGIA PL, N. TRENI GIORNO E VEL. MASSIMA | 30 |
| FIGURA 7 FREQUENZE DI ACCADIMENTO RELATIVE AL PE 43.2 CORRELATE A TEMPO DI CHIUSURA, VELOCITÀ AL PL E MOMENTO DI TRAFFICO | 30 |
| FIGURA 8 FREQUENZE DI ACCADIMENTO RELATIVE AL PE 43.2 CORRELATE A NUM BINARI, DISTANZA ROTAIA-BARRIERA, DISTANZA BARRIERA-BARRIERA E ANGOLO INTERSEZIONE | 31 |
| FIGURA 9 FREQUENZE DI ACCADIMENTO IN FUNZIONE DEL POSIZIONAMENTO IN CORRISPONDENZA DI INCROCIO STRADALE E ANGOLO DI INTERSEZIONE | 31 |
| FIGURA 10 FREQUENZE DI ACCADIMENTO IN RELAZIONE ALLA DENSITÀ ABITATIVA CON FWSI > 0 | 32 |
| FIGURA 11 BARRIERE DI UN PL CON APPLICATI I GREMBIALI | 36 |
| FIGURA 12 PROCESSO DI ANALISI DEL RISCHIO | 38 |
| FIGURA 13 PROCESSO LOGICO HAZOP | 48 |
| FIGURA 14 PROCESSO LOGICO FTA | 50 |
| FIGURA 15 CONNETTORI LOGICI UTILIZZATI NELLA FTA | 50 |
| FIGURA 16 SIGNIFICATO DEL TASSO DI GUASTO | 51 |
| FIGURA 17 BATHTUBE CURVE PER COMPONENTI INDUSTRIALI | 51 |
| FIGURA 18 COSTRUZIONE ETA | 55 |
| FIGURA 19 PEDALE DIREZIONALE TIPO SILEC FORFEX | 62 |
| FIGURA 20 DETTAGLIO DEL PEDALE DIREZIONALE TIPO SILEC FORFEX | 63 |
| FIGURA 21 DETTAGLIO DELLA CASSA DI MANOVRA OLEODINAMICA TIPO TD96/2 | 65 |
| FIGURA 22 DETTAGLIO DELLA CASSA DI MANOVRA OLEODINAMICA TIPO TM2000 | 65 |
| FIGURA 23 SEGNALE LUMINOSO STRADALE E TABELLE DISTANZIOMETRICHE | 67 |
| FIGURA 24 AVVISATORE ACUSTICO FS64 E TM2000 | 67 |
| FIGURA 25 PEDALE DI LIBERAZIONE TIPO P70 | 68 |
| FIGURA 26 PEDALE NON DIREZIONALE TIPO SILEC CAUTOR | 69 |
| FIGURA 27 RAPPRESENTAZIONE CDB LIBERO E OCCUPATO DA ASSE TRENO | 70 |
| FIGURA 28 RELÈ FS58 UTILIZZATI NELL'IMPIANTISTICA RFI | 71 |
| FIGURA 29 PIANO SCHEMATICO DI STAZIONE | 74 |
| FIGURA 30 PIANO SCHEMATICO V308 | 75 |
| FIGURA 31 CIRCUITO DI RICHIESTA CHIUSURA V308 | 75 |
| FIGURA 32 CIRCUITI DI COMANDO CHIUSURA PL V308 | 77 |
| FIGURA 33 CIRCUITO REMPL V308 | 78 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 34 CIRCUITO RELÈ CONSENSO E CONCORDANZA PL | 79 |
| FIGURA 35 CIRCUITO INVIO CONSENSO ALLA STAZIONE LIMITROFA | 81 |
| FIGURA 36 CIRCUITO DI CONTROLLO PEDALE DI LIBERAZIONE P70 | 82 |
| FIGURA 37 SCHEMA ELETTRICO CIRCUITO DI BINARIO | 82 |
| FIGURA 38 CIRCUITO PER LA LIBERAZIONE DEL PL | 83 |
| FIGURA 39 CIRCUITO COMBINATORE M IN FASE DI LIBERAZIONE PL | 84 |
| FIGURA 40 CIRCUITO RELÈ DI FINE CICLO | 85 |
| FIGURA 41 CIRCUITO ALLARME B PL | 86 |
| FIGURA 42 CIRCUITO ALLARME C | 86 |
| FIGURA 43 PIANO SCHEMATICO V305 | 88 |
| FIGURA 44 CIRCUITO RICHIESTA DESTRA V305 | 88 |
| FIGURA 45COMANDO DI CHIUSURA SINISTRO V305 | 89 |
| FIGURA 46 CIRCUITO DI CONSENSO E MANOVRA SEGNALI V305 | 90 |
| FIGURA 47 SSB E SST DEL SISTEMA CMT | 92 |
| FIGURA 48 CURVA DI FRENATURA SCMT | 94 |
| FIGURA 49 ESTENSIONE DELLE RETI ATC IN ITALIA | 95 |
| FIGURA 50 PARTICOLARE ANTENNA EUROBALISE | 96 |
| FIGURA 51 PARTICOLARE CAPATORI RSC | 97 |
| FIGURA 52 CRUSCOTTO DI BORDO DEI ROTABILI ITALIANI | 98 |
| FIGURA 53ARCHITETTURA SISTEMA DI ACQUISIZIONE SCMT | 99 |
| FIGURA 54 ARCHITETTURA COMPLETA SISTEMA SCMT | 100 |
| FIGURA 55 ESEMPIO ANDAMENTO CODICE 120 | 103 |
| FIGURA 56 ESEMPIO DI SEQUENZA CODIFICATA IN UNA TRATTA BACC | 103 |
| FIGURA 57 CAPTATORI RSC | 104 |
| FIGURA 58 CURVA DI FRENATURA SCMT TRA AVVISO E SEGNALE A V.I. | 108 |
| FIGURA 59 INDICAZIONE SUL CRUSCOTTO DI VRIL10 | 108 |
| FIGURA 60 CASO APPLICATIVO VRIL10 SU ITINERARI CONVERGENTI | 109 |
| FIGURA 61 CASO APPLICATIVO VRIL10 A PROTEZIONE PL DI STAZIONE | 109 |
| FIGURA 62 CASO APPLICATIVO VRIL10 CON SEGNALE DI PARTENZA COMUNE | 110 |
| FIGURA 63 INDICAZIONI SUL CRUSCOTTO DEL MACCHINISTA ALLA RICEZIONE DEL CODICE INFILL | 111 |
| FIGURA 64 CURVE DI FRENATURA SCMT INFILL | 111 |
| FIGURA 65 ARCHITETTURA A BLOCCHI SISTEMA INFILL | 112 |
| FIGURA 66 CDB A DOPPIA FUGA ISOLATA PER INFILL | 113 |
| FIGURA 67 SCHEMA ELETTRICO DISPOSITIVO RDD DEL CIRCUITO INFILL | 114 |
| FIGURA 68 APPLICAZIONE DELLA VRIL10 AL PL V308 | 117 |
| FIGURA 69 PIANO SCHEMATICO SCMT PER TRANSITI SINISTRI | 119 |
| FIGURA 70 CURVE DI FRENATURA SCMT ASSOCIATE ALL'INTERVENTO MITIGATIVO | 120 |
| FIGURA 71 SCHEMA CIRCUITALE APPLICATIVO INFILL | 121 |
| FIGURA 72 CONNESSIONE INDUTTIVA "ZOPPA" | 122 |

| | |
|---|-----|
| FIGURA 73 CIRCUITO COMANDO CODIFICA INFILL | 123 |
| FIGURA 74 CIRCUITO COMANDO CODIFICA CON ESCLUSIONE CEC | 124 |
| FIGURA 75 SCHEMATIZZAZIONE PEPL | 125 |
| FIGURA 76 PIANO SCHEMATICO V308 CON PEPL | 127 |
| FIGURA 77 CONNESSIONE INDUTTIVA A DUE FUGHE DI ROTAIA | 127 |
| FIGURA 78 CIRCUITO DI BINARIO INFILL CON CONNESSIONE INDUTTIVA | 128 |
| FIGURA 79 CIRCUITO DEL RELÈ DI CICLO CONTROLLANTE IL COMANDO CODIFICA | 128 |
| FIGURA 80 CIRCUITO DI RICHIESTA NEL CASO DI ANORMALITÀ INFILL | 129 |
| FIGURA 81 CIRCUITO ALLARME TALLONAMENTO | 130 |
| FIGURA 82 TABELLE DI AVVISO, INZIO E FINE SISTEMA INFILL CHE PROTEGGONO IL PL | 132 |
| FIGURA 83 FTA PER INDEBITO TALLONAMENTO PE 43.2 | 139 |
| FIGURA 84 ALBERO DEGLI EVENTI PRE INTERVENTO MITIGATIVO | 141 |
| FIGURA 85 ETA SENZA INTERVENTO MITIGATIVO CON INDICATE LE PROBABILITÀ | 145 |
| FIGURA 86 ALBERO DEGLI EVENTI CON PROTEZIONE SCMT INFILL | 146 |

INDICE DELLE TABELLE

| | |
|---|-----|
| TABELLA 1 SUDDIVISIONE DEI PL IN FUNZIONE DEL TIPO DI PROTEZIONE E RELATIVI INCIDENTI | 21 |
| TABELLA 2 ANDAMENTO DEGLI INDICI PRESTAZIONALI DI SICUREZZA | 22 |
| TABELLA 3 PARAMETRI DI INFLUENZA DEL LIVELLO DI RISCHIO NELL'ESERCIZIO DI UN PL..... | 25 |
| TABELLA 4 CATEGORIZZAZIONE DEL MOMENTO DI TRAFFICO..... | 26 |
| TABELLA 5 NUMERO DI PL INTERESSATI DA EVENTI ANOMALI NEL PERIODO 2011-2016..... | 27 |
| TABELLA 6 NUMERO DI SITUAZIONI ANOMALE CORRELATE CON I TEMPI DI CHIUSURA | 27 |
| TABELLA 7 TEMPI DI CHIUSURA DEI PL CORRELATI A SITUAZIONI ANOMALE (SA) | 27 |
| TABELLA 8 SUDDIVISIONE IN CLASSI DEI PARAMETRI CARATTERIZZANTI I PL..... | 28 |
| TABELLA 9 CORRELAZIONI SIGNIFICATIVE TRA PERICOLI E PARAMETRI CARATTERISTICI DEI PL | 32 |
| TABELLA 10 FREQUENZE ATTESE PER PERICOLO E CLASSE DI PARAMETRO SIGNIFICATIVO | 34 |
| TABELLA 11 FREQUENZE DI ACCADIMENTO TIPICHE..... | 40 |
| TABELLA 12 DANNI/CONSEGUENZE TIPICI | 41 |
| TABELLA 13 MATRICE DI RISCHIO TIPICA | 41 |
| TABELLA 14 MATRICE DELLE FREQUENZE TIPICA..... | 44 |
| TABELLA 15 MATRICE DELLE CONSEGUENZE TIPICA..... | 44 |
| TABELLA 16 MATRICE DI CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO UTILIZZATA IN RFI..... | 45 |
| TABELLA 17 MODELLO PER L'ANALISI HAZOP UTILIZZATO IN RFI..... | 47 |
| TABELLA 18 LISTA PAROLE CHIAVE HAZOP | 49 |
| TABELLA 19 CORRELAZIONE TRA SIL, PFD_{AVG} , PFH E RRF | 59 |
| TABELLA 20 MODALITÀ DI COMANDO E CONTROLLO DI UN PL V308..... | 74 |
| TABELLA 21 MODALITÀ DI COMANDO E CONTROLLO DI UN PL V305..... | 87 |
| TABELLA 22 CODICI DEL BACC E CORRELAZIONE CON LE VELOCITÀ AMMESSE | 102 |
| TABELLA 23 VARIABILI SCMT | 105 |
| TABELLA 24 VALORI DELLE CONDIZIONI FAVOREVOLI ALL'ERRORE CFE, METODO HEART..... | 142 |
| TABELLA 25 PROBABILITÀ NOMINALE DI ERRORE METODO HEART..... | 142 |
| TABELLA 26 VALUTAZIONE DELLA PROBABILITÀ MACCHINISTA FRENA SENZA PROTEZIONE INFILL . | 143 |
| TABELLA 27 VALUTAZIONE DELLA PROBABILITÀ VEICOLO LIBERA L'INTERSEZIONE | 143 |

BIBLIOGRAFIA

1. RFI - IL PROCESSO DI MONITORAGGIO E DI MIGLIORAMENTO- COD. RFI LG 01 1 3
2. REGOLAMENTO SEGNALI IN USO SULL'INFRASTRUTTURA FERROVIARIA
3. DIRETTIVA 2014/88/UE DEL 9 LUGLIO 2014, CHE MODIFICA LA DIRETTIVA 2004/49/UE
4. LA TECNICA PROFESSIONALE- RIVISTA N. 9/SETTEMBRE 2019 EDITA dal Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani
5. RFI - LINEA GUIDA PER LA DEFINIZIONE DI GRADUATORIE DI PRIORITÀ D'INTERVENTO SUI PASSAGGI A LIVELLO PUBBLICI – COD. RFI DTC LGSE 01 1 0
6. RFI – RELAZIONE ANNUALE SULLA SICUREZZA – DATI ANNO 2018
7. RFI - INDIVIDUAZIONE DEI PERICOLI E VALUTAZIONE DEI RISCHI – COD RFI PSE 01 1 3
8. RFI – METODOLOGIE DI ANALISI DI RISCHIO DA APPLICARE NELLO SVILUPPO E REALIZZAZIONE DEI SISTEMI DI SEGNALAMENTO FERROVIARIO – COD. RFI TC PR IS 00 011 B
9. DISPENSE DEL CORSO “ANALISI DEL RISCHIO NELL’INDUSTRIA DI PROCESSO” TENUTO DAI PROFF. MASCHIO GIUSEPPE, VIANELLO CHIARA E MOCELLIN PAOLO DELL’UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA, A.A. 2017/18
10. RFI – METODOLOGIE DI ANALISI DI RISCHIO DA APPLICARE NELLO SVILUPPO E REALIZZAZIONE DI SISTEMI DI SEGNALAMENTO FERROVIARIO – COD. RFI TC PR IS 00 011 B
11. RFI - ISTRUZIONE PER L'ESERCIZIO DEI PASSAGGI A LIVELLO IN USO SULL'INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE- ED. 2003, RISTAMPA 2017
12. Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani- FINZI VITTORIO- MANUALE DEL FERRELETTICO – VOL. IV – PARTE I – APPARECCHIATURE E IMPIANTI DI SICUREZZA
13. RFI – ISTRUZIONE PER IL SERVIZIO DEI DEVIATORI – ED. 1994, RISTAMPA 1998
14. APPUNTI DELL'ABILITAZIONE IS PASSAGGI A LIVELLO – ED. 2009, DTP VENEZIA
15. RFI – SPECIFICA TECNICA DI FORNITURA – ASTE PER MANOVRE ELETTRICHE PER BARRIERE DEI PASSAGGI A LIVELLO
16. RFI – CAPITOLATO TECNICO PER L'ESECUZIONE DEGLI IMPIANTI DI SEGNALAMENTO, APPARATI CENTRALI ELETTRICI E BLOCCO
17. RFI – NORME PER L'ESERCIZIO DELLE APPARECCHIATURE TECNOLOGICHE
18. RFI – SISTEMA DI CLASSE B DI RFI SpA – SPECIFICA DEI REQUISITI DI SISTEMA SCMT - COD. RFI TC.PATC SR IS 13 D21 B
19. RFI –SPECIFICHE DEI REQUISITI DI SISTEMA CMT – SOTTOSISTEMA DI TERRA – APPENDICE A – REGOLE TELEGRAMMI SCMT – COD. RFI TC.PATC ST CM 02 D99 D
20. APPUNTI DEL CORSO RFI “PROGETTAZIONE SCMT” – ED. 2018 –
21. RFI- SISTEMA PEPL PER LA MANOVRA DEI PASSAGGI A LIVELLO – SPECIFICA DEI REQUISITI FUNZIONALI – COD. RFI DTC STSS TBSR IS 02 41 A
22. TESI DI LAUREA MAGISTRALE: “SICUREZZA NEL TRASPORTO FERROVIARIO: EFFETTI DI DISPOSITIVI DI PROTEZIONE AUTOMATICA INTEGRATIVA AI PASSAGGI A LIVELLO SUL RISCHIO D'ESERCIZIO” – POLITECNICO DI TORINO- -B.DE CRESCENZO-OTTOBRE 2018.

SITOGRAFIA

www.ansf.gov.it

www.rfi.it