

Un approccio a più criteri per la valutazione della sicurezza e il miglioramento dei Passaggi a Livello

A Multi-Criteria based Approach for Safety Assessment and Improvement of Railway Level Crossings (RLCs)

Georgios ARETOULIS (*)
Alexandros DOLIANITIS (*)
Christos PYRGIDIS (**)

(<https://www.medra.org/servlet/view?lang=it&doi=10.57597/IF.02.2023.ART.2.>)

Sommario - Il presente documento sviluppa uno “strumento decisionale” che aiuta i gestori dell’infrastruttura ferroviaria a stabilire gli interventi da effettuare a un determinato passaggio a livello ferroviario della rete, al fine di migliorare la sicurezza per il traffico ferroviario e per gli utenti della strada. La ricerca attuale si basa sull’analisi multicriterio, utilizzando la metodologia PROMETHEE. La metodologia proposta viene testata su due passaggi a livello ferroviari della Rete Ferroviaria Ellenica. Gli interventi considerati in questo studio includono la separazione a raso, la chiusura degli attraversamenti, il miglioramento delle caratteristiche dei passaggi a livello ferroviari e la riabilitazione dei passaggi a livello ferroviari con rendimenti inferiori, sulla base di specifiche standard. Lo scopo di questa ricerca è quello di classificare gli interventi di miglioramento qualificanti che si occupano della sicurezza degli attraversamenti ferroviari attraverso l’analisi decisionale multicriterio. Per ogni passaggio a livello ferroviario è stato utilizzato il software della versione *Visual PROMETHEE Academic Edition*, per classificare le azioni/interventi di miglioramento e selezionare le migliori soluzioni.

1. Notazioni-Definizioni

1.1. Abbreviazioni/Acronimi/Simboli

ADT:	Traffico Medio Giornaliero
ADTM:	Momento Traffico Medio Giornaliero
AUTH:	Università Aristotele di Salonicco
OSE:	Ferrovie Elleniche
PROMETHEE:	Metodo Preferenza Organizzazione Classificazione per l’Arricchimento delle Valutazioni

Summary - The present paper develops a “decision tool” that helps railway infrastructure managers decide the interventions to make at a given railway level crossing of the network in order to improve safety for rail traffic and road users. The current research is based on multicriteria analysis using the PROMETHEE methodology. The proposed methodology is tested on two railway level crossings of the Hellenic railway network. The interventions considered in this study include grade separation, crossing closure, improvement of railway level crossing characteristics, and rehabilitation of underperforming railway level crossings based on standard specifications. The aim of this research is to rank qualifying improvement interventions that deal with railway crossings’ safety through multi-criteria decision-making analysis. Visual PROMETHEE Academic Edition version software was used to rank the improvement actions/interventions and select the best ones for each railway level crossing.

1. Notations-Definitions

1.1. Abbreviations/Acronyms/Symbols

ADT:	Average Daily Traffic
ADTM:	Average Daily Traffic Moment
AUTH:	Aristotle University of Thessaloniki
OSE:	Hellenic Railways
PROMETHEE:	Preference Ranking Organization METHod for the Enrichment of Evaluations
RLC:	Railway Level Crossing
RIM:	Railway Infrastructure Manager
K.P.:	Kilometric Point (chainage)

(*) Dipartimento di Ingegneria Civile, Università Aristotele di Salonicco, 54124 Salonicco, Grecia.

(**) Autore corrispondente. Indirizzo e-mail: pyrgidis@civil.auth.gr.

(*) Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, 54124, Thessaloniki, Greece.

(**) Corresponding author. E-mail address: pyrgidis@civil.auth.gr.

OSSERVATORIO

PL:	Passaggio a livello ferroviario
GI:	Gestore dell'infrastruttura ferroviaria
K.P.:	Punto chilometrico (Progressiva)
V_d :	Velocità di progetto della linea
V_p :	Velocità ammissibile della linea
MCDM:	Processo decisionale multi-criterio
MCA:	Analisi multi-criterio

V_d :	Track design speed
V_p :	Permissible track speed
MCDM:	Multi-Criteria Decision Making
MCA:	Multi-Criteria Analysis

1.2. Definizioni

Passaggio a livello ferroviario: qualsiasi intersezione a livello tra una strada o un passaggio e una ferrovia, riconosciuta dal gestore dell'infrastruttura e aperta a utenti pubblici o privati. Sono esclusi i passaggi tra le banchine all'interno delle stazioni, nonché i passaggi su binari ad uso esclusivo dei dipendenti [1][2].

Passaggio a livello passivo (ferroviario): Un passaggio a livello senza alcuna forma di sistema di allarme o protezione attivato quando non è sicuro per l'utente attraversare il passaggio [1][2].

Passaggio a livello (ferroviario) attivo: Un passaggio a livello in cui gli utenti dell'attraversamento sono protetti o avvertiti del treno in avvicinamento da dispositivi attivati quando non è sicuro per l'utente attraversare il passaggio [1][2].

Velocità di progetto della linea: la velocità considerata nella progettazione dell'allineamento del binario e dell'infrastruttura ferroviaria corrispondente nel suo complesso – costituita dalla sovrastruttura e sottostruttura del binario, dalle strutture di ingegneria civile, nonché dai sistemi E&M e dai locali ferroviari [3].

Momento di traffico giornaliero: il numero di treni, in entrambe le direzioni di marcia, al giorno moltiplicato per il numero di veicoli stradali di qualsiasi tipo che attraversano in entrambe le direzioni durante lo stesso periodo di ventiquattro ore [3][4].

Velocità ammissibile della linea: la velocità massima che può essere sviluppata su un tratto di binario ferroviario al momento della messa in servizio di un determinato materiale rotabile. Questa velocità è determinata dal GI di una rete ferroviaria tenendo conto della qualità di movimento su binario e di altri aspetti relativi alla prestazione al momento [3].

Passaggio a livello inadeguato: passaggio a livello che non soddisfa le specifiche per le quali è stato originariamente costruito o avrebbe dovuto essere costruito.

2. Oggetto e campo di applicazione

La presente ricerca si occupa della gestione della sicurezza ai passaggi a livello ferroviari (PL). Nello specifico, sviluppa e propone uno “strumento decisionale” che aiuta un Gestore dell'Infrastruttura Ferroviaria (GI) a decidere quale intervento effettuare su un determinato PL della re-

1.2. Definitions

Railway level crossing: Any level intersection between a road or passage and a railway, as recognised by the infrastructure manager and open to public or private users. Passages between platforms within stations are excluded, as well as passages over tracks for the sole use of employees [1][2].

Passive (railway) level crossing: A level crossing without any form of warning system or protection activated when it is unsafe for the user to traverse the crossing [1][2].

Active (railway) level crossings: A level crossing where the crossing users are protected from or warned of the approaching train by devices activated when it is unsafe for the user to traverse the crossing [1][2].

Track design speed: the speed considered in the design of the track alignment and corresponding railway infrastructure as a whole – consisting of the track superstructure and substructure, the civil engineering structures, as well as railway and Electrical & Mechanical (E&M) systems and premises [3].

Daily traffic moment: The number of trains, in both directions of travel, per day multiplied by the number of crossing road vehicles of any type in both directions during the same twenty-four-hour period [3][4].

Permissible track speed: The maximum speed that may be developed on a railway track section at the time a given rolling stock is commissioned. This speed is determined by the RIM of a railway network taking into consideration the track ride quality as well as other performance aspects at the moment [3]

Inadequate level crossing: Level crossing that does not meet the specifications to which it was originally constructed or should have been constructed.

2. Subject and application field

The present research paper deals with the management of safety at Railway Level Crossings (RLCs). Specifically, it develops and proposes a “decision tool” that helps a Railway Infrastructure Manager (RIM) to decide which intervention to make on a particular RLC of the network he manages in order to improve safety for rail traffic and road users.

The alternative actions/interventions that a RIM can make on an RLC identified as “inadequate” are as follows [1][2][5][6]:

1. rehabilitation of the RLC to the specifications to which it was originally constructed or should have been constructed;

OSSEVATORIO

te da esso gestita, al fine di migliorare la sicurezza per il traffico ferroviario e per gli utenti della strada.

Le azioni/interventi alternativi che un GI può effettuare su un PL identificato come "inadeguato" sono i seguenti [1][2][5][6]:

1. riabilitazione del PL alle specifiche secondo le quali è stato originariamente costruito o avrebbe dovuto essere costruito;
2. miglioramento delle sue caratteristiche tecniche e operative;
3. chiusura del PL senza sostituirlo con un attraversamento a raso separato;
4. chiusura del PL con la sua sostituzione con un nuovo attraversamento stradale a raso separato (nella stessa posizione o in una posizione non lontana più di un chilometro).

Lo "strumento" proposto si basa su un'analisi multicriterio. Lo "strumento" è stato originariamente progettato come supporto per un sistema di gestione olistico e integrato degli attraversamenti ferroviari (vedi Fig. 1) sviluppato da AUTh per OSE nell'ambito di un progetto di ricerca [7]. Tuttavia, questo "strumento" può essere utilizzato anche per la gestione indipendente alle seguenti condizioni:

- lo stato attuale del PL in esame deve essere noto (le sue caratteristiche tecniche e operative);
- le specifiche con cui è stato costruito o avrebbe dovuto essere costruito devono essere note;
- lo "storico degli incidenti" sui PL negli ultimi 5 anni almeno deve essere noto;
- deve essere condotta una recente verifica dello stato funzionale esistente in relazione alla condizione in cui

2. improvement of its technical and operational characteristics;
3. closure of the RLC without replacing it with a grade-separated crossing;
4. closure of the RLC with its replacement by a new grade-separated road crossing (in the same or a close-kilometre location).

The proposed "tool" is based on multi-criteria analysis. It was originally designed as a supporting tool for a holistic and integrated railway crossings' management system (See Fig. 1) developed by AUTh for OSE within a research project [7]. However, this "tool" can also be used as an independent management "tool" under the following conditions:

- the current state of the RLC under consideration must be known (its technical and operational characteristics);
- the specifications to which it was built or should have been built must be known;
- the "accident history" of the RLC during the last 5 years at least must be known;
- a recent verification of its existing condition in relation to the condition in which it should have been in accordance to the initial specifications (ideal condition) must be conducted;
- on the basis of the above verification all the characteristics of the RLC that need to be corrected if it does not meet them (inadequate RLC) must be recorded;
- a first quantitative indication of the cost of construction, operation, and maintenance of each action/intervention, as well as of the time required for their implementation and of the impact in terms of accident frequency must be known.

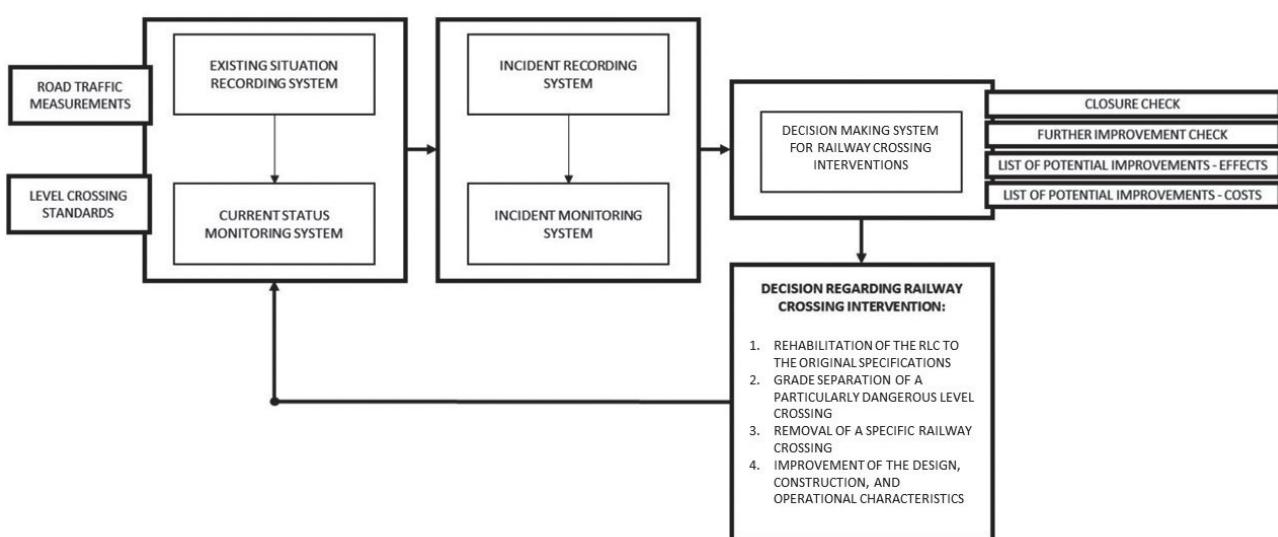


Figura 1 – Sistema di Gestione Integrato della sicurezza nei PL [7].
Figure 1 – Integrated Management System of safety at RLCs [7].

avrebbe dovuto essere conforme alle specifiche iniziali (condizione ideale);

- sulla base della verifica di cui sopra devono essere registrate tutte le caratteristiche del PL che devono essere corrette se non le soddisfa (PL inadeguato);
- deve essere nota una prima indicazione quantitativa dei costi di costruzione, esercizio e manutenzione di ciascuna azione/intervento, nonché dei tempi necessari per la loro attuazione e dell'impatto in termini di frequenza degli incidenti.

Il metodo utilizzato per l'analisi multicriterio è PROMETHEE e in particolare l'applicazione Visual PROMETHEE che è l'applicazione più recente, completa e aggiornata [8]. I criteri su cui si basa la decisione sono di tipo tecnico, economico e ambientale e sono in numero di otto. Questi criteri sono stati definiti sulla base della letteratura internazionale, della pratica internazionale e del consenso di dieci esperti del settore [7].

Un aspetto importante della metodologia è la ponderazione di ciascun criterio e la valutazione delle prestazioni di ciascun intervento in relazione a ciascun criterio. Entrambe queste procedure sono state eseguite dai suddetti esperti. In particolare, e solo per la valutazione delle prestazioni di ciascun intervento, va sottolineato che il metodo ha un'applicazione generalizzata per tutti i PL ma può e deve essere differenziata in una certa misura a seconda della specificità di ciascun PL in esame.

Tutti i criteri sono valutati esclusivamente su una scala qualitativa di cinque punti. Lo "strumento" di gestione proposto funge da ausilio nel prendere la decisione finale da parte del GI sugli interventi da effettuare in un determinato PL. Come mostrato nella Fig. 1 e descritto in dettaglio nella letteratura di riferimento [7], i risultati di tale approccio puramente qualitativo dovrebbero essere accompagnati dai risultati quantitativi di un approccio tecnico-economico come, ad esempio, l'analisi dei costi-benefici [9]. Il campo di applicazione dello "strumento scientifico" proposto è la ferrovia a velocità convenzionale a lunga percorrenza, la ferrovia regionale e la ferrovia suburbana poiché i PL sono implementati in queste categorie di sistemi ferroviari.

Lo "strumento" proposto viene quindi applicato a due PL della rete ferroviaria greca. La metodologia proposta è ritenuta uno strumento utile per il GI di una rete in quanto consente di avere una prima visione robusta e rapida, semplice ed economica, per decidere le azioni/interventi che devono potenzialmente essere eseguiti su un PL problematico della rete ferroviaria.

3. Definizione del problema

I PL, come punti di interscambio dei flussi di traffico di treni e veicoli stradali, sono considerati un punto chiave della rete ferroviaria. I PL registrano il maggior numero di incidenti che si verificano su una rete ferroviaria

The method used for the multi-criteria analysis is PROMETHEE and specifically the Visual PROMETHEE application which is the latest and most comprehensive and up-to-date application [8]. The criteria on which the decision is based are technical, economic, and environmental and are eight in number. They were defined on the basis of international literature, international practice, and the consensus of ten experts in the field [7].

An important aspect of the methodology is the weighting of each criterion and the evaluation/assessment of the performance of each intervention in relation to each criterion. Both of these procedures were carried out by the above-mentioned expert scientists. In particular, and only for the assessment/evaluation of the performance of each intervention, it should be stressed that it has a generalized application to all RLCs but can and should be differentiated to some extent depending on the specificity of each RLC under consideration.

All criteria are assessed solely qualitatively on a five-point qualitative scale. The proposed management "tool" acts as an aid in making the final decision taken by the RIM on the interventions to be made in a particular RLC. As shown in Fig. 1 and described in detail in the associated literature reference [7], the results of such a purely qualitative approach should be accompanied by the quantitative results of a techno-economic approach such as e.g., Cost-Benefit Analysis [9]. The field of application of the proposed "scientific tool" is the long-distance conventional speed railway, the regional railway, and the suburban railway since in these categories of railway systems RLCs are implemented.

The proposed "tool" is then applied to two RLCs of the Greek railway network. The proposed methodology is believed to be a useful tool for the RIM of a network as it allows him to have a first solid picture quickly, easily, and economically for deciding on the actions/interventions he has to potentially make on a problematic RLC of his network.

3. Problem statement

The RLCs, as points of interchange of traffic flows of trains and road vehicles, are considered a key point of the railway network. The RLCs record the highest number of incidents occurring on a conventional railway network [3]. At the same time, most of the incidents are serious, as they mainly involve pedestrian drifts and collisions between trains and road vehicles, which usually cause fatalities and/or serious injuries. For these reasons, RLCs should be considered as a separate source of railway incidents [3].

In this context, all RIMs are required to manage the safety provided by the RLCs on their network. The question they are concerned with is what actions/interventions they should make on RLCs that are considered dangerous in order to improve the level of safety on them and in particular to achieve a specific objective in terms of reducing the frequency and severity of incidents [10].

OSSEVATORIO

convenzionale [3]. Allo stesso tempo, la maggior parte degli incidenti sono gravi, in quanto coinvolgono principalmente pedoni liberi e collisioni tra treni e veicoli stradali, che di solito causano morti e/o feriti gravi. Per questi motivi, i PL dovrebbero essere considerati come una fonte separata di incidenti ferroviari [3].

In questo contesto, tutti i GI sono tenuti a gestire la sicurezza fornita dai PL sulla loro rete. La domanda che essi si pongono è quali azioni/interventi dovrebbero effettuare sui PL considerati pericolosi al fine di migliorare il loro livello di sicurezza e in particolare di raggiungere un obiettivo specifico in termini di riduzione della frequenza e della gravità degli incidenti [10].

Migliorare la sicurezza dei PL è costoso, ma ciò che non è sempre noto è il rapporto tra sicurezza e costi coinvolti poiché la successiva domanda chiave è “quanto denaro dovrebbero essere investiti in base alle misure richieste e quale percentuale di miglioramento della sicurezza tale investimento porterà” [10]. Uno studio di fattibilità convenzionale può rispondere alla domanda di cui sopra. Nello studio tecnico-economico e spesso socioeconomico, tale valutazione può basarsi unicamente su indicatori quantitativi (rapporto costo-beneficio, valore attuale netto dell'investimento, tasso di rendimento interno) ma può anche, giustamente, essere integrata da criteri qualitativi non quantificabili [7].

La necessità di un metodo di valutazione qualitativa è supportata dal fatto che i parametri che influenzano la sicurezza di un PL sono numerosi e non tutti possono essere quantificati. Allo stesso tempo, ci sono molte azioni/interventi alternativi e, soprattutto, è molto difficile stimare il tasso di riduzione degli incidenti a seconda dell'intervento.

Questa ricerca vuole contribuire a risolvere questi problemi creando e proponendo un sistema decisionale sul tipo di interventi da eseguire su un particolare PL al fine di migliorarne la sicurezza. Il sistema si basa su analisi multicriterio e in particolare su un benchmarking qualitativo di vari parametri tecnici, operativi ed economici che influenzano la decisione.

Il metodo utilizzato per l'analisi multicriterio è PROMETHEE ed in particolare l'applicazione Visual PROMETHEE [8]. PROMETHEE è uno dei metodi di supporto decisionale multicriterio più utilizzati e appartiene alla categoria di “Sintesi attraverso relazioni di superiorità”. Sulla base di questo metodo, le relazioni binarie (relazioni di predominanza o dominanza) sono inizialmente costruite per rappresentare le preferenze dei decisorii. Quindi le relazioni di predominanza possono essere utilizzate per suggerire soluzioni specifiche.

4. Processo decisionale multi-criterio e PROMETHEE

È stato affermato che il processo decisionale è molto semplice, purché dipenda da un unico criterio [11][12]. In questo caso, l'alternativa scelta è quella che segna il valore

Improving the safety of RLCs is costly, but what is not always known is the relationship between safety and the costs involved as the further key question is “how much money should be invested based on the measures required and what percentage of safety improvement such an investment will bring about” [10]. A conventional feasibility study can answer the above question. In the techno-economic and often socio-economic study, this assessment can be based solely on quantitative indicators (cost-benefit ratio, net present value of the investment, internal rate of return) but it can also, and rightly so, be complemented by qualitative criteria that cannot be quantified [7].

The need for a qualitative evaluation method is supported by the fact that the parameters affecting the safety of an RLC are numerous and not all of them can be quantified. At the same time, there are many alternative actions/interventions and, most importantly, it is very difficult to estimate the rate of reduction of incidents depending on the intervention.

The present research attempts to contribute to solving these problems by creating and proposing a decision-making system on the type of interventions to be performed on a particular RLC in order to improve its safety. The system is based on multi-criteria analysis and in particular on a qualitative benchmarking of various technical, operational, and economic parameters influencing the decision.

The method used for the multi-criteria analysis is PROMETHEE and in particular the Visual PROMETHEE application [8]. PROMETHEE is one of the most widely used multi-criteria decision support methods and belongs to the category of “Synthesis through Superiority Relationships”. Based on this method, binary relations (predominance or dominance relations) are initially constructed to represent the preferences of decision makers. Then the predominance relations can be used to suggest specific solutions.

4. Multi-criteria decision making and PROMETHEE

It has been stated that the process of decision making is very simple, as long as it depends on one single criterion [11][12]. In this case, the chosen alternative is the one that scores the highest value on the single criterion. On the other hand, when multiple criteria are taken into consideration, during the decision-making process, things become complicated, as there is a need to compare the significance of each selection criterion [13][14]. The purpose of Multi-Criteria Decision Making (MCDM) or Multi-Criteria Analysis (MCA) is to integrate into the decision-making process, all the economic and environmental costs and benefits, measured at different scales [15].

The MCDM methodology has been utilized for prioritizing RLCs for grade separation or other major improvements with the inclusion of, for instance, safety, economic, environmental, and community/livability related criteria [16].

OSSERVATORIO

più alto sul criterio individuale. D'altra parte, quando vengono presi in considerazione più criteri, durante il processo decisionale, l'analisi diventa complicata, poiché è necessario confrontare il significato di ciascun criterio di selezione [13][14]. Lo scopo del processo decisionale multicriterio (MCDM) o dell'analisi multicriterio (MCA) è integrare nel processo decisionale tutti i costi e i benefici economici e ambientali, misurati su scale diverse [15].

La metodologia MCDM è stata utilizzata per dare priorità ai PL per la separazione a raso o altri importanti miglioramenti con l'inclusione, ad esempio, di criteri relativi alla sicurezza, economici, ambientali e di comunità/vivibilità [16]. In termini di sicurezza, i criteri possono assumere la forma di frequenza o gravità della collisione [17]. Un approccio simile per la valutazione dell'attraversamento rapido è stato sviluppato dalle ferrovie israeliane a causa dell'aumento delle velocità e delle frequenze dei treni, associate all'espansione della loro rete [18]. Anche i problemi di sicurezza sui PL sono stati associati alle prestazioni. Ad esempio, uno studio recente presenta un approccio quantitativo multicriterio che si basa su questioni di sicurezza e considerazioni come ad esempio gli attraversamenti bloccati [19].

Esistono vari metodi di MCDM nella letteratura internazionale e la loro documentazione e sinergie sono state al centro di diversi studi [20][14][21]. Uno dei principali metodi di MCDM è PROMETHEE (*Preference Ranking Organization METHod for the Enrichment of Evaluations*) [22]. Ogni decisore è in grado di assegnare priorità a seconda dei criteri [23]. I vantaggi di PROMETHEE includono l'assistenza nel superamento del requisito di interdipendenza e, allo stesso tempo, la partecipazione delle varie parti interessate al processo di valutazione [24].

PROMETHEE e il software correlato, come Visual PROMETHEE, sono stati utilizzati con successo in una varietà di campi. Gli esempi includono l'ingegneria strutturale con la selezione di un tipo di ponte ottimale [25], l'analisi ambientale con la classificazione degli approcci per affrontare le fuoriuscite di olio [26] e l'ingegneria ferroviaria con la selezione del percorso ottimale per le principali linee [27].

Diventa evidente che le aree di applicazione dell'analisi multicriterio sono significative per numero e ampie per contenuto. Il processo decisionale potrebbe anche comportare la selezione di fornitori [28] sulla base di un'equazione lineare o potrebbe implementare approcci più sofisticati. La metodologia PROMETHEE è stata utilizzata per scegliere i tipi di contratto [29], si è identificato il personale competente del progetto [30][31] classificato le società [32] e selezionato il metodo di compensazione [33]. Inoltre, il processo decisionale multicriterio si è concentrato sulla determinazione dei prezzi dei prodotti nelle ferrovie [34], ha dato priorità agli interventi di prossimità ferroviaria [35], ha selezionato le direttive ferroviarie [27], ha valutato la disposizione dei binari [36], ha assegnato stazioni di trasporto ferroviario [37] e infine ha facilitato la valutazione della sicurezza per l'infrastruttura [38].

In terms of safety, the criteria may take the form of collision frequency or severity [17]. A similar approach for rapid crossing evaluation has been developed by the Israeli railways due to the increased train speeds and frequencies associated with the expansion of their network [18]. Safety issues in RLCs have also been associated with performance. For instance, a recent study presents a quantitative multicriteria approach that relies on safety issues and considerations such as blocked crossings [19].

*Various methods of MCDM exist in the international literature and their documentation and synergies have been the focus of several studies [20][14][21]. One of the prominent methods of MCDM is PROMETHEE (*Preference Ranking Organization METHod for the Enrichment of Evaluations*) [22]. Each decision maker is capable of assigning priorities depending on the criteria [23]. Advantages of PROMETHEE include the assistance in overcoming the interdependency requirement and at the same time including the various stakeholders' participation in the assessment process [24].*

PROMETHEE and related software, such as Visual PROMETHEE, have been successfully utilized in a variety of fields. Examples include structural engineering with the selection of an optimal bridge type [25], environmental analysis with the ranking of approaches to address oil spills [26] procurement and railway engineering with the selection of optimal routing for major lines [27].

It becomes evident that the areas of application of multicriteria analysis are significant in number and broad in content. Decision making could also involve the selection of suppliers [28] based on a linear equation or could implement more sophisticated approaches. PROMETHEE methodology was used to choose contract types [29], identified competent project personnel [30][31] ranked companies [32], and selected method of compensation [33]. Furthermore, multicriteria decision making has focused on product pricing in railways [34], prioritized railway proximity interventions [35], selected railroad routes [27], evaluated track layout [36], allocated railway transport stations [37], and finally facilitated security assessment for infrastructure [38].

5. The proposed decision-making tool

The steps followed to formulate the proposed decision-making tool for the interventions to be made in an RLC in order to improve its safety are presented in Fig. 2.

Each step is described in further detail in the following subsections. The presentation is of a general nature however some of the steps can and should be adapted to the specific RLC under consideration.

5.1. Definition of alternative actions/interventions

In the first step, the alternative actions/interventions that can potentially be implemented in an RLC regardless of

5. Strumento decisionale proposto

La Fig. 2 rappresenta i passaggi seguiti per formulare lo strumento decisionale proposto per gli interventi da effettuare in un PL al fine di migliorarne la sicurezza.

Ogni passaggio è descritto in maggior dettaglio nei seguenti paragrafi. La presentazione è di natura generale, tuttavia, si rimarca che alcune delle fasi possono e devono essere adattate allo specifico PL in esame.

5.1. Definizione di azioni/interventi alternativi

Nella prima fase, vengono elencate le azioni/interventi alternativi che possono essere potenzialmente implementati in un PL indipendentemente dal modo in cui è protetto (attivo o passivo). Come accennato nella sezione 2, questi interventi sono i seguenti:

1. riabilitazione del PL alle specifiche secondo le quali è stato originariamente costruito o avrebbe dovuto essere costruito;
2. miglioramento delle sue caratteristiche tecniche e operative;
3. chiusura del PL senza sostituirlo con un attraversamento a raso separato;
4. chiusura del PL con la sua sostituzione con un nuovo attraversamento stradale a raso separato (nella stessa posizione o in una posizione vicina al chilometro).

Per quanto riguarda l'intervento 1, questa è un'alternativa, nel caso in cui il PL in esame, e dopo la verifica della situazione esistente, sia considerato non conforme a tutti i requisiti di un PL standard. Il PL specifico, in questo caso, è considerato "inadeguato". Se i requisiti sono soddisfatti, allora è considerato "sufficiente". Tuttavia, ciò non preclude, per il PL, di prendere in considerazione gli altri tre interventi, se viene ritenuto che questo particolare PL sia ad alto rischio o se questo PL possa essere rimosso. Uno strumento di supporto che consente la caratterizzazione del rischio di un PL e la decisione sulla necessità di un ulteriore miglioramento o meno di un PL adeguato è proposto in un rapporto sviluppato in precedenza [7]. Nello stesso rapporto e in [39], viene proposto un altro strumento di supporto per caratterizzare che uno specifico PL potrebbe essere rimosso o meno.

L'intervento 2 può riguardare una o più delle caratteristiche tecniche e operative di un PL (es. cambio modalità di protezione, installazione telecamere di sorveglianza).

Considerando l'intervento 4, l'attraversamento strada-

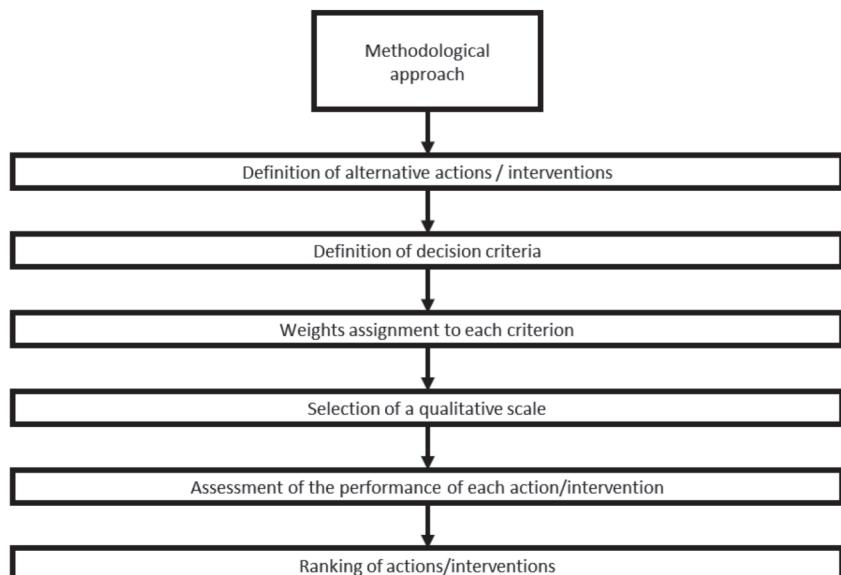


Figura 2 – Approccio metodologico per la formulazione dello strumento decisionale proposto per migliorare la sicurezza sui PL.

Figure 2 – Methodological approach for the formulation of the proposed decision tool for improving safety in RLCs.

the way it is protected (active or passive) are listed. As mentioned in section 2, these interventions are as follows:

1. *Rehabilitation of the RLC to the specifications to which it was originally constructed or should have been constructed.*
2. *Improvement of its technical and operational characteristics.*
3. *Closure of the RLC without replacing it with a grade-separated crossing.*
4. *Closure of the RLC with its replacement by a new grade-separated road crossing (in the same or a close-kilometre location).*

Regarding intervention 1, this is an alternative, in case the RLC under consideration, and after the existing situation verification, is considered not to meet all the requirements of a standard RLC. The specific RLC, in this case, is considered to be "inadequate". If it does meet them, then it is considered "adequate". However, this does not preclude the RLC from considering the other three interventions if it considers that this particular RLC is of high risk or if this RLC could be removed. A supporting tool that allows the characterization of the risk of an RLC and the decision on the need for further or not improvement of an adequate RLC is proposed in a previously conducted report [7]. In the same report and the reference [39], another supporting tool is proposed for characterizing whether that a specific RLC could be removed or not.

Regarding intervention 2, it may concern one or more of the technical and operational features of an RLC (e.g.,

le a raso separato può essere un cavalcavia o un sottopasso. L'elenco definitivo degli interventi, sia al primo livello (quale dei quattro interventi si qualificherà per essere preso in considerazione) che al secondo livello (tipo di attraversamento separato a raso da costruire e quali caratteristiche del passaggio a livello saranno migliorate) varierà a seconda del PL in esame e dopo che sarà stata verificata la condizione esistente del PL e saranno state registrate le misure correttive/migliorative richieste.

5.2. Definizione dei criteri decisionali

In questa seconda fase vengono specificati i criteri su cui deve basarsi la decisione e, nel contempo, viene formulato se sia auspicabile massimizzare o minimizzare l'esecuzione dell'intervento su ciascun criterio.

I criteri selezionati in un'analisi multicriterio dovrebbero essere molteplici e sufficienti in numero, con l'obiettivo di esprimere obiettivi e aspirazioni contrastanti, ma anche di rivelare i vantaggi e gli svantaggi di ciascuna alternativa. I criteri sono di natura tecnica, finanziaria e ambientale e sono otto di numero (vedi Fig. 3). I criteri sono stati selezionati dopo uno studio dettagliato di letteratura simile, prendendo in considerazione l'esperienza pratica internazionale ma anche l'accordo di dieci esperti del settore [7].

Il criterio C1 (Riduzione del costo dell'intervento) riguarda la valutazione della performance dell'intervento selezionato in relazione al costo di realizzazione dell'azione/intervento proposto. È auspicabile scegliere la soluzione associata al costo più basso. In questo contesto, il decisore dovrebbe almeno conoscere l'ordine di grandezza del costo di ciascun intervento.

Il criterio C2 (Riduzione dei costi di manutenzione e di esercizio) si concentra sui costi di manutenzione e di esercizio della soluzione/intervento prescelto. È auspicabile scegliere la soluzione associata ai costi operativi e di manutenzione più bassi. Anche in questo caso, il decisore deve essere almeno consapevole dell'ordine economico di grandezza del costo d'esercizio e manutenzione di ciascun intervento e del suo grado di difficoltà.

Il criterio C3 (Riduzione del tempo necessario per attuare l'intervento) riguarda il tempo necessario per attuare un intervento. È auspicabile scegliere la soluzione associata al tempo di implementazione più breve. Anche in questo caso, il decisore deve avere una visione d'insieme del tempo necessario per attuare ciascun intervento.

Il criterio C4 (Riduzione dei costi economici e sociali degli incidenti) tie-

change of protection mode, installation of surveillance cameras).

Considering intervention 4, the grade-separated road crossing may be an overpass or an underpass. The final list of interventions, both at the first level (which of the four interventions will qualify to be considered) and at the second level (type of the grade-separated crossing to be built and which features of the level crossing will be improved) will vary depending on the RLC under consideration and after the existing condition of the RLC has been checked and the required corrective/improvement measures have been recorded.

5.2 Definition of decision criteria

In this second step, the criteria on which the decision is to be based are specified and, at the same time, it is formulated whether it is desirable to maximise or minimise the performance of the intervention on each criterion.

The criteria selected in a multi-criteria analysis should be multifaceted and sufficient in number, aiming to express conflicting goals and aspirations, but also to reveal the advantages and disadvantages of each alternative. The criteria are of technical, financial, and environmental nature and are eight in number (See Fig. 3). The criteria were selected after a detailed study of similar literature, taking into consideration the practical international experience but also the agreement of ten experts in the field [7].

Criterion C1 (Reduction of the cost of the intervention) relates to the assessment of the performance of the selected intervention in relation to the cost of constructing the proposed action/intervention. It is desirable to choose the solution associated with the lowest cost.

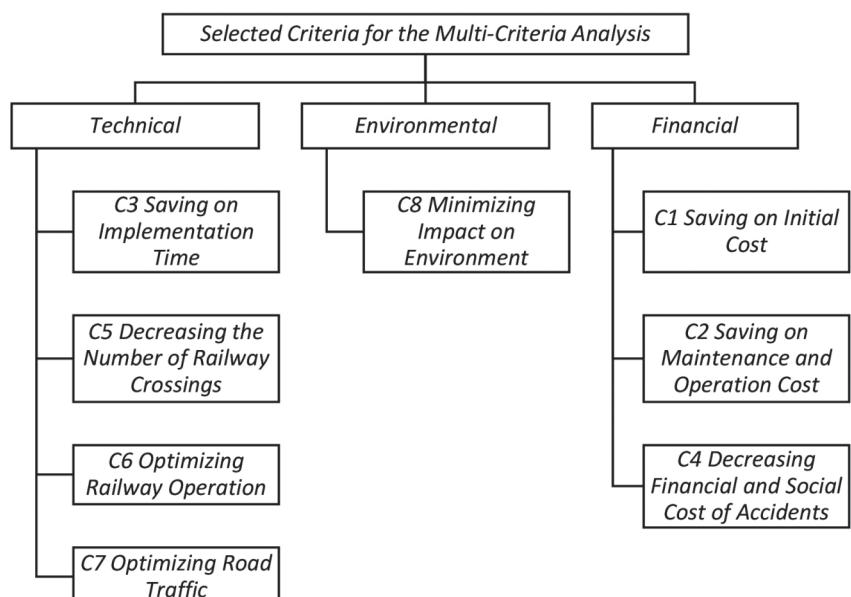


Figura 3 – Criteri selezionati per l'analisi multicriterio.
Figure 3 – Selected criteria for the multi-criteria analysis.

ne conto dei costi economici e sociali degli incidenti. Lo scopo di ogni intervento è quello di minimizzare o eliminare questi costi. È auspicabile scegliere l'intervento che comporterà la maggiore riduzione del numero di incidenti che possono verificarsi in un PL e quindi il costo più basso.

Il decisore dovrebbe essere a conoscenza dello "storico degli incidenti" di un PL per almeno gli ultimi cinque anni e, in ogni caso, avere un'idea della riduzione della frequenza degli incidenti causati da un particolare intervento.

Il criterio C5 (variazione del numero di passaggi a livello ferroviari per chilometro-binario) si concentra sulla variazione del numero di passaggi a livello per km di linea ferroviaria causata da un intervento. La modifica si riferisce alla linea su cui si trova il PL. L'obiettivo è che il numero dei PL diminuisca. Si afferma che la chiusura di un PL (con o senza separazione a raso) riduce il numero di cui sopra.

Il criterio C6 (impatto sull'esercizio della linea ferroviaria) valuta le prestazioni di ciascun intervento di potenziamento/miglioramento dell'esercizio complessivo della linea ferroviaria (aumento delle velocità di marcia dei treni, aumento della capacità dei binari, riduzione dei ritardi dei treni in transito).

Il criterio C7 (impatto sul traffico stradale) valuta l'impatto degli interventi considerati sul traffico stradale (congestione stradale nell'area dell'attraversamento, aumento dei tempi di percorrenza per gli utenti della strada). L'obiettivo è registrare se l'intervento in questione migliorerà o ostacolerà il traffico stradale. Cioè, in questo criterio, è auspicabile che ogni intervento abbia il minor impatto possibile sulla circolazione stradale.

Il criterio C8 (impatto ambientale) valuta l'impatto ambientale degli interventi in esame. L'obiettivo è stabilire se l'intervento in questione avrà un impatto sull'ambiente. È auspicabile ridurre al minimo questo criterio. Cioè, in questo criterio, è auspicabile che ogni intervento abbia il minor impatto possibile sull'ambiente. A titolo di esempio, la costruzione di un attraversamento stradale a raso separato ha solitamente un impatto ambientale negativo.

5.3. Assegnazione del peso a ciascun criterio

Un punto importante del metodo proposto è la determinazione dei pesi dei criteri. La Tab. 1 riporta i pesi proposti. Essi sono stati elaborati dopo uno scambio di opinioni con i dieci esperti coinvolti nella seconda fase e dopo un consenso finale.

5.4. Selezione di una scala qualitativa

In questo studio, è stata scelta una scala qualitativa di cinque punti per sette degli otto criteri per valutare le prestazioni di ciascun intervento. La scala di valutazione è:

- Pessimo.
- Inadeguato.

ution that is associated with the lowest cost. In this context, the decision maker should at least know the order of magnitude of the cost of each intervention.

Criterion C2 (Reduction of maintenance and operation costs) focuses on the maintenance and operation costs of the chosen solution/intervention. It is desirable to choose the solution associated with the lowest operation and maintenance cost. In this case, too, the decision maker must be at least aware of the economic order of magnitude of the operation and maintenance cost of each intervention and its degree of difficulty.

Criterion C3 (Reduction of the time needed to implement the intervention) relates to the time needed to implement an intervention. It is desirable to choose the solution that is associated with the shortest implementation time. In this case too, the decision maker must have an overview of the time required to implement each intervention.

Criterion C4 (Reduction of the economic and social costs of accidents) considers the economic and social costs of accidents. The aim of each intervention is to minimize or eliminate these costs. It is desirable to choose the intervention that will bring about the greatest reduction in the number of accidents that can occur in an RLC and thus the lowest cost.

The decision maker should be aware of the "accident history" of an RLC for at least the last five years and, in any case, have an idea of the reduction in the frequency of incidents brought about by a particular intervention.

Criterion C5 (change in the number of railway level crossings per track km) focuses on the change in the number of level crossings per km of railway line caused by an intervention. The change refers to the line on which the RLC is located. The objective is that the number of RLCs should decrease. It is stated that the closure of an RLC (with or without grade-separation) reduces the above number.

Criterion C6 (impact on the operation of the railway line) assesses the performance of each intervention in upgrading/improving the overall operation of the railway line (increase of train running speeds, increase of track capacity, reduction of delays of passing trains).

Criterion C7 (impact on road traffic) assesses the impact of the considered interventions on road traffic (road congestion in the area of the crossing, increase in travel time for road users). The aim is to record whether the intervention in question will improve or impede road traffic. That is, in this criterion, it is desirable that each intervention should have as little effect on road traffic as possible.

Criterion C8 (environmental impact) assesses the environmental impact of the interventions under consideration. The aim is to establish whether the intervention in question will have an impact on the environment. It is desirable to minimize this criterion. That is, in this criterion, it is desirable that each intervention should have as little impact on the environment as possible. By way of example, the construction of a grade-separated road crossing usually has a negative environmental impact.

- Mediocre.
- Buono.
- Ottimo.

Nello specifico per il criterio 5 (variazione del numero di PL/km binario) si è deciso di dare due valori a tale criterio. Un valore indica che vi è effettivamente una riduzione del numero (indicato da: sì) e l'altro valore (no) indica che non vi è alcuna modifica/riduzione del numero di PL. L'intervento che si preferisce è quello che riduce il numero di PL.

5.5. Valutazione delle prestazioni di ciascuna azione rispetto a ciascun criterio

Un passo importante nella metodologia è la valutazione delle prestazioni di ciascun intervento rispetto a ciascun criterio. In questo contesto, le tabelle da Tab. 2 a Tab. 4 forniscono i punteggi delle prestazioni dei diversi interventi rispetto ai criteri. Essi sono stati ottenuti dopo uno scambio di opinioni con i dieci esperti e un consenso finale.

Le prestazioni, incluse in Tab. 2, Tab. 3, Tab. 4, sono generalizzate. Va tuttavia notato che i punteggi proposti possono essere adeguati, sulla base di informazioni riguardanti il PL in particolare oggetto di valutazione, come ad esempio le sue attuali caratteristiche strutturali ed operative o la natura e l'entità degli interventi richiesti o desiderati.

5.6. Classifica degli interventi

Nel metodo PROMETHEE, vengono calcolati tre “Flussi di preferenze” per consolidare i risultati dei confronti a coppie delle azioni e per classificare tutte le azioni dalla migliore alla peggiore [8]. I tre diversi flussi calcolati sono i flussi di preferenza positivi (Φ_+), negativi (Φ_-) e netti (Φ_n) [8]. Il flusso di preferenza positivo misura quanto un'azione individuale è preferita ad altre, il flusso di preferenza negativo misura quanto le altre azioni sono preferite all'azione individuale e il flusso di preferenza netto è la somma algebrica degli altri due flussi [8]. Il flusso positivo è una misura globale dei punti di forza dell'azione individuale mentre il flusso negativo delle sue debolezze. La funzione “Flussi di preferenza” apre una finestra che visualizza, in forma tabellare, i punteggi di flusso netto uni-criterio nonché i punteggi di flusso multicriterio [8] ed è selezionata come mostrato nella casella blu nella Fig. 4 (3 dei 4 possibili interventi sono considerati in questo esempio indicativo e in particolare i tipi di intervento 2,3 e 4 come quelli che sono stati definiti precedentemente). Per ciascun criterio vengono visualizzati i flussi netti uni-criterio insieme ai flussi positivi, negativi e netti multicriterio.

Questo comando produce una tabella che dà la priorità alle operazioni come mostrato nella Fig. 5.

L'intervento migliore è quello con il più alto valore Φ_n positivo. In questo esempio, il miglior intervento è la chiusura dell'incrocio. Segue l'opzione della chiusura

Tabella 1 – *Table 1*

Fattori di ponderazione per i criteri di decisione
Weighting factors for the decision criteria

Codice Criterio <i>Criterium Codes</i>	Criteri <i>Criteria</i>	Pesi <i>Weights</i>	
C1	Risparmio sul costo iniziale <i>Saving on initial cost</i>	W_1	25%
C2	Risparmio sui costi di manutenzione ed esercizio <i>Saving on maintenance and operation cost</i>	W_2	5%
C3	Risparmio di tempo di implementazione <i>Saving on implementation time</i>	W_3	5%
C4	Diminuzione dei costi finanziari e sociali degli incidenti <i>Decreasing financial and social cost of accidents</i>	W_4	35%
C5	Diminuzione del numero di attraversamenti ferroviari <i>Decreasing the number of railway crossings</i>	W_5	5%
C6	Ottimizzazione dell'esercizio ferroviario <i>Optimizing railway operation</i>	W_6	15%
C7	Ottimizzazione del traffico stradale <i>Optimizing road traffic</i>	W_7	5%
C8	Riduzione dell'impatto sull'ambiente <i>Minimizing impact on environment</i>	W_8	5%

5.3. Weight Assignment to each criterion

An important point of the proposed method is the determination of the weights of the criteria. The proposed weights are given in Tab. 1. They were derived after an exchange of views with the ten experts involved in the second step and after a final consensus.

5.4. Selection of a qualitative scale

In the present study, a five-point qualitative scale was chosen for seven of the eight criteria to evaluate the performance of each intervention. The scale rating is:

- Very bad.
- Bad.
- Average.
- Good.

OSSEVATORIO

Tabella 2 – *Table 2*

Valutazione delle prestazioni di ciascun intervento rispetto a ciascuno dei criteri tecnici
Assessment of the performance of each intervention against each one of the technical criteria

Intervento alternativo/ Criteri <i>Alternative intervention/ Criteria</i>	Risparmio di tempo di implementazione (C3) <i>Saving on implementation time (C3)</i>	Diminuzione del numero di attraversamenti ferroviari (C5) <i>Decreasing the number of railway crossings (C5)</i>	Ottimizzazione dell'esercizio ferroviario (C6) <i>Optimizing railway operations (C6)</i>	Ottimizzazione del traffico stradale (C7) <i>Optimizing road traffic (C7)</i>
Riabilitazione di PL inadeguato <i>Rehabilitation of inadequate RLC</i>	Buono <i>Good</i>	No	Inadeguato <i>Bad</i>	Mediocre <i>Average</i>
Miglioramento delle caratteristiche tecniche ed operative di PL (Conversione da passivo ad attivo) <i>Improvement of the technical and operational characteristics of RLC (Conversion from passive to active)</i>	Mediocre <i>Average</i>	No	Buono <i>Good</i>	Inadeguato <i>Bad</i>
Chiusura incrocio <i>Crossing closure</i>	Buono <i>Good</i>	Sì <i>Yes</i>	Ottimo <i>Very good</i>	Pessimo <i>Very bad</i>
Separazione a raso <i>Grade separation</i>	Pessimo <i>Very Bad</i>	Sì <i>Yes</i>	Ottimo <i>Very good</i>	Inadeguato <i>Bad</i>

Tabella 3 – *Table 3*

Valutazione delle prestazioni di ciascun intervento rispetto a ciascuno dei criteri finanziari
Assessment of the performance of each intervention against each one of the financial criteria

Intervento alternativo/Criteri <i>Alternative intervention/Criteria</i>	Risparmio sul costo iniziale (C1) <i>Saving on initial cost (C1)</i>	Risparmio sui costi di manutenzione ed esercizio (C2) <i>Savings on maintenance and operating costs (C2)</i>	Diminuzione dei costi finanziari e sociali degli incidenti (C4) <i>Reduction of the financial and social costs of accidents (C4)</i>
Riabilitazione di PL inadeguato <i>Rehabilitation of inadequate RLC</i>	Buono <i>Good</i>	Mediocre <i>Average</i>	Inadeguato <i>Bad</i>
Miglioramento delle caratteristiche tecniche ed operative di PL (Conversione da passivo ad attivo) <i>Improvement of the technical and operational characteristics of RLC (Conversion from passive to active)</i>	Mediocre <i>Average</i>	Inadeguato <i>Bad</i>	Mediocre <i>Average</i>
Chiusura incrocio <i>Crossing closure</i>	Mediocre <i>Average</i>	Ottimo <i>Very good</i>	Ottimo <i>Very good</i>
Separazione a raso <i>Grade separation</i>	Pessimo <i>Very bad</i>	Mediocre <i>Average</i>	Ottimo <i>Very good</i>

OSSERVATORIO

Tabella 4 – Table 4

Valutazione delle prestazioni di ciascun intervento rispetto al criterio ambientale

Assessment of the performance of each intervention against the environmental criterion

Interventi alternativi/ Criterio <i>Alternative interventions/ Criterion</i>	Riduzione dell'impatto sull'ambiente (C8) <i>Minimizing impact on environment (C8)</i>
Riabilitazione di PL inadeguato <i>Rehabilitation of inadequate RLC</i>	Mediocre <i>Average</i>
Miglioramento delle caratteristiche tecniche ed operative di PL (Conversione da passivo ad attivo) <i>Improvement of the technical and operational characteristics of RLC (Conversion from passive to active)</i>	Mediocre <i>Average</i>
Chiusura incrocio <i>Crossing closure</i>	Ottimo <i>Very good</i>
Separazione a raso <i>Grade separation</i>	Pessimo <i>Very bad</i>

- *Very Good.*

Specifically for criterion 5 (change in the number of RLC/track km), it was decided to give two values to this criterion. One value indicates that there is indeed a reduction in the number (denoted by: yes) and the other value (no) indicates that there is no change/reduction in the number of RLC. The intervention that is preferred is the one that reduces the number of RLCs.

5.5 Assessment of the performance of each action against each criterion

An important step in the methodology is the assessment/evaluation of the performance of each intervention against each criterion. In this context, tables from Tab. 2 to Tab. 4 give the performance scores of the different interventions against the criteria. They were obtained after an exchange of views with the ten experts and a final consensus.

The performances, included in Tab. 2, Tab. 3, Tab. 4, are of a generalized nature. It should however be noted that based on information regarding the particular RLC under evaluation, such as its current structural and operational characteristics or the nature and extent of the required or desired interventions, the proposed scores may be adjusted.

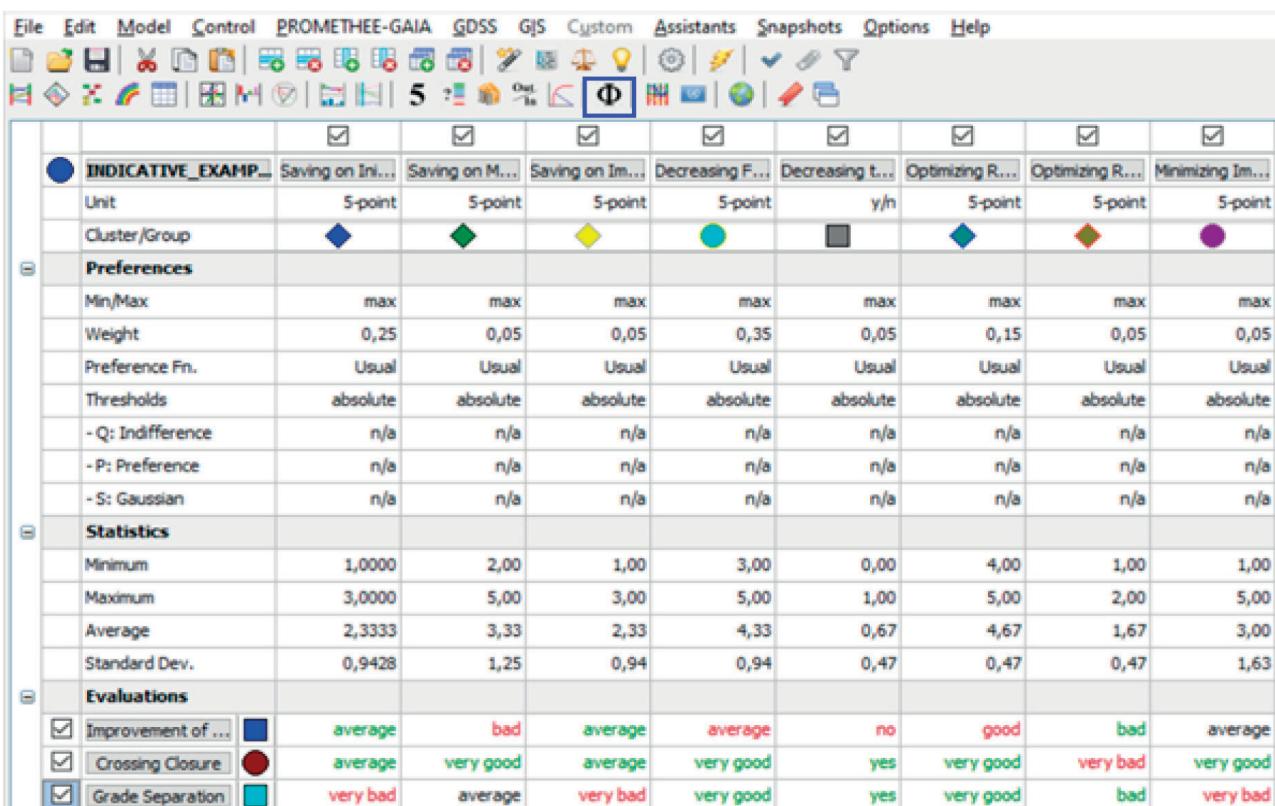


Figura 4 – Esempio di funzione “Flussi di preferenze” - Esempio indicativo.
Figure 4 – “Preference Flows” Function-Indicative example.

Φ Preference Flows			
	Phi+	Phi-	Phi
Improvement of	0,2000	0,6250	-0,4250
Crossing Closure	0,5250	0,0500	0,4750
Grade Separation	0,3250	0,3750	-0,0500

Figura 5 – La valutazione dei “Flussi di preferenze”.
Figure 5 – The “Preference Flows” evaluation.

dell’attraversamento con la costruzione di un nuovo attraversamento stradale separato a raso (separazione a raso) e l’ultimo è il miglioramento delle caratteristiche tecniche e operative del PL.

6. Applicazione della metodologia proposta

È stato applicato lo strumento decisionale presentato in dettaglio nelle sezioni precedenti, nell’ambito di un progetto di ricerca condotto da AUTH, in un totale di 8 PL della rete ferroviaria greca selezionati da OSE [7]. Questo documento mostra i risultati dell’applicazione su due dei suddetti PL. La Fig. 6 raffigura i 2 PL e la Tab. 5 elenca le loro caratteristiche principali.

Come indicato nella sezione 2, per attuare lo strumento decisionale proposto, oltre ai dati della Tab. 5, devono essere note alcune azioni, quali:

- un inventario della situazione esistente del PL in esame;
- è stato effettuato una verifica recente del suo stato attuale;
- sulla base della verifica di cui sopra, sono state registrate tutte le caratteristiche del PL che devono essere corrette nel caso in cui non le soddisfi;
- gli scenari di intervento alternativi sono stati decisi e dovrebbero essere valutati e prioritizzati.

Di seguito è riportato un riepilogo dei risultati delle azioni di cui sopra e dei risultati dell’attuazione dello strumento decisionale proposto per ciascuno dei due PL. In questa particolare applicazione, la decisione degli scenari alternativi da considerare è stata presa dagli autori.

6.1. PL 1

A seguito del riesame della situazione esistente, il PL 1 è risultato “inadeguato” con i seguenti problemi:

- Sono necessari interventi per ripristinare la visibilità in tutti e quattro i quadranti. In particolare, uno di loro è invaso da un frutteto.
- Mancanza di illuminazione delle strade e dei binari.

5.6 Ranking of the interventions

In the PROMETHEE method, three “Preference Flows” are computed to consolidate the results of the pairwise comparisons of the actions and to rank all the actions from the best to the worst one [8]. The three different flows that are computed are the positive (Phi^+), negative (Phi^-), and net (Phi) preference flows [8]. The positive preference flow measures how much an individual action is preferred to other ones, the negative preference flow measures how much the other actions are preferred to the individual action, and the net preference flow is the algebraic sum of the two other flows [8]. The positive flow is a global measurement of the strengths of the individual action while the negative flow of its weaknesses. The “Preference Flows” function opens a window displaying, in tabular form, the single criterion net flow scores as well as the multicriteria flow scores [8] and is selected as shown in the blue box in Fig. 4 (3 of the 4 possible interventions are considered in this indicative example and specifically intervention types 2,3, and 4 as those have been previously defined). The single criterion net flows are displayed for each criterion along with the multicriteria positive, negative, and net flows.

This command produces a table that prioritizes the operations as shown in Fig. 5.

The best intervention is the one with the highest positive net Phi value. In this example, the best intervention is crossing closure. Next is the option of the crossing closure with the construction of a new grade-separated road crossing (grade separation) and last is the improvement of the technical and operational characteristics of RLC.

6. Application of the proposed methodology

The decision-making tool presented in detail in the above sections was applied, under the framework of a research project conducted by AUTH, in a total of 8 RLCs of the Greek railway network that were selected by OSE [7]. This paper showcases the results of the application on two of the aforementioned RLCs. Fig. 6 depicts the 2 RLCs and Tab. 5 lists their main characteristics.

As mentioned in section 2, in order to implement the proposed decision tool, in addition to the data in Tab. 5, certain actions must be known, such as:

- an inventory of the existing situation of the RLC under consideration;
- a recent audit of its current state has been carried out;
- on the basis of the above audit, all the characteristics of the RLC that need to be corrected in case it does not meet them have been recorded;

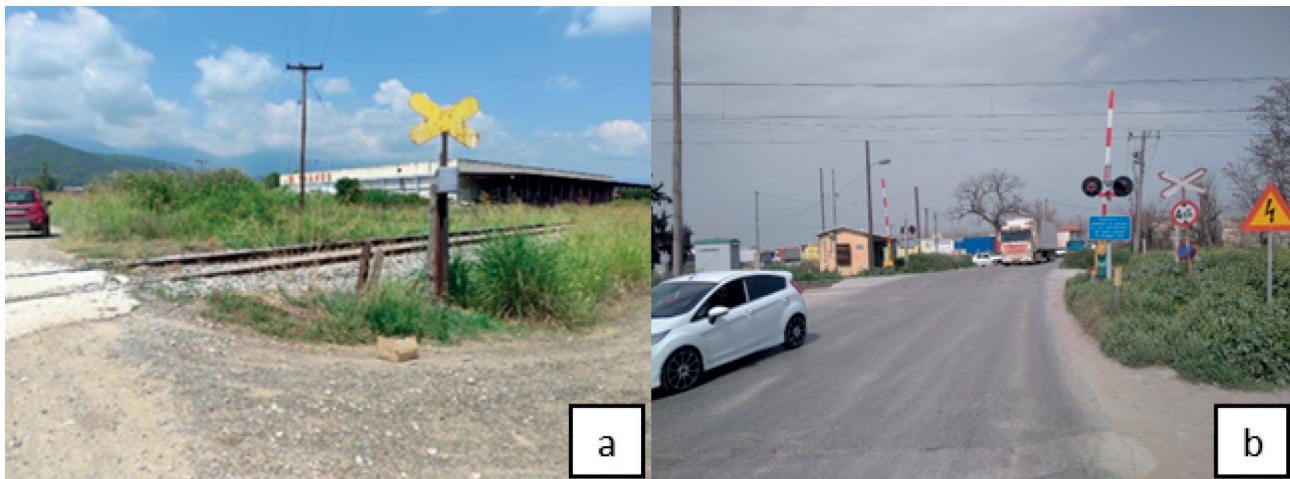


Figura 6 – PL1 (a) e PL2 (b).
Figure 6 – RLC1 (a) and RLC2 (b).

- Mancanza di un segno di Sant'Andrea. Posizionamento inadeguato della segnaletica esistente.
- I segnali di avvertimento stradali si trovano a distanze molto più brevi di quelle proposte.
- Assenza di un segnale di emergenza.
- Assenza di segnali di avvertimento rotaia.
- Presenza di danni e irregolarità sul manto stradale.
- I dislivelli richiesti tra il manto stradale e il binario non sono rispettati sulle strade di accesso.
- Cattive condizioni della superficie di attraversamento.

- the alternative intervention scenarios have been decided upon and should be evaluated and prioritized.

The following is a summary, for each of the two RLCs, of the results of the above actions and the results of the implementation of the proposed decision tool. In this particular application, the decision of the alternative scenarios to be considered was made by the authors.

6.1. RLC 1

Following the review of the existing situation, the RLC 1 was found to be "inadequate" with the following problems:

Tabella 5 – Table 5

Principali caratteristiche dei 2 PL della rete ferroviaria greca esaminati
Main characteristics of the 2 RLCs of the Greek railway network examined

	Linea ferroviaria principale Railway main line	Numero di binari / categoria stradale Number of tracks / Road category	Sistema di protezione sui PL RLC protection system	ADT (veicoli al giorno) ADT (vehicles per day)	ADMT	V_d/V_p (km/h)	Storico degli incidenti (ultimi 10 anni) Accident history (Last 10 years)
PL1 RLC1	Salonicco-Florina <i>Thessaloniki-Florina</i>	Binario unico - Strada rurale <i>Single track - Rural road</i>	Passivo <i>Passive</i>	74,5*	447**	120/120	Nessuno registrato <i>None recorded</i>
PL2 RLC2	Salonicco-Florina <i>Thessaloniki-Florina</i>	Binario doppio - Strada regionale <i>Double track - Regional road</i>	Attivo <i>Active</i>	5500	263352	70/60	3 incidenti <i>3 accidents</i>

(*) Si tratta della media dei valori di Traffico Medio Giornaliero estivo ed invernale.
 (**) Questo è il risultato della moltiplicazione dell'ADT con i 6 treni programmati al giorno.
 (*) This is the average of the summer and winter Average Daily Traffic values.
 (**) This is the result of the multiplication of the ADT with the 6 scheduled trains per day.

OSSEVATORIO

- Inaccettabile posizionamento verticale dello strato superficiale tra le rotaie rispetto alla superficie dei binari.

Si è deciso di considerare i tre seguenti possibili interventi per questo particolare PL passivo:

1. Riabilitazione del PL 1 in base alle specifiche adottate [7] per un passaggio a livello ferroviario passivo e per $V_p=120 \text{ km/h}$.
2. Riabilitazione del PL 1 in base alle specifiche adottate [7] per un passaggio a livello ferroviario attivo e per $V_p=120 \text{ km/h}$ (conversione da passivo ad attivo).
3. Chiusura del PL 1.

A questo punto va notato che nei riferimenti [7] e [39] è stata sviluppata e proposta una metodologia di supporto per consentire al GI di decidere se un PL a basso traffico può essere chiuso senza suscitare un'intensa reazione da parte degli utenti della strada e della comunità locale. Su tale base si è ritenuto poter chiudere il PL e come tale quel particolare tipo di intervento è stato incluso nel confronto.

L'intervento 1 prevede quanto segue:

- Garantire la visibilità totale in tutti e quattro i quadranti.
- Installazione di un'illuminazione adeguata dei binari e strade.
- Corretto posizionamento della segnaletica stradale.
- Posizionamento di una segnaletica ferroviaria aggiuntiva.
- Posizionamento di un ulteriore segnale di Sant'Andrea e corretto riposizionamento di quello esistente.
- Miglioramento delle condizioni del manto stradale.
- Garantire la corretta differenza di altezza tra lo strato del manto stradale e la superficie dei binari.
- Sostituzione della superficie di attraversamento.

L'intervento 2 richiede tutto il lavoro necessario per eliminare i problemi registrati ad eccezione del lavoro per ripristinare la piena visibilità. Tuttavia, richiede l'installazione di barriere e segnali acustici e luminosi automatici.

La Tab. 6 mostra i risultati dell'implementazione di PROMETHEE al PL 1.

Per quanto riguarda il costo di realizzazione, mentre la conversione in un PL attivo costerà di più, è stato considerato un costo aggiuntivo per la possibilità di mantenere il PL per compensare la rimozione del frutteto d'intralcio. Sulla base di quanto sopra e come mostrato nella Tab. 6, l'opzione di chiusura è stata considerata come il miglior intervento nel caso del PL 1. A questo punto, va notato che un'analisi costi-benefici condotta in precedenza [7] indicava altresì la chiusura come intervento ideale.

- *Interventions are required to restore visibility in all four quadrants. In particular, one of them is encroached upon by an orchard.*
- *Lack of road and track lighting.*
- *Lack of a St. Andrew's sign. Inadequate positioning of the existing sign.*
- *Road warning signs are located at distances much shorter than proposed.*
- *Absence of an emergency sign.*
- *Absence of rail warning signs.*
- *Existence of damage and irregularities on the road surface.*
- *The required differences in height between the road surface and the railhead are not observed on the approach roads.*
- *Very poor condition of the crossing surface.*
- *Unacceptable vertical positioning of the surface layer between the rails in relation to the surface of the rail heads.*

It was decided to consider the following three possible interventions for this particular passive RLC:

1. *Rehabilitation of RLC1 based on the adopted specifications [7] for a passive railway level crossing and for $V_p=120\text{km/h}$.*
2. *Rehabilitation of RLC1 based on the adopted specifications [7] for an active railway level crossing and for $V_p=120\text{km/h}$ (Conversion from passive to active).*
3. *Closure of the RLC 1.*

At this point, it should be noted that in references [7] and [39] a supporting methodology was developed and proposed in order to allow the RIM to decide whether a low trafficked RLC may be closed without eliciting an intense reaction from road users and the local community. Based on that RLC was deemed as able to be closed and as such that particular type of intervention was included in the comparison.

Intervention 1 requires the following:

- *Ensuring total visibility in all four quadrants.*
- *Installing adequate track and road lighting.*
- *Proper placement of road signage.*
- *Placement of an additional railway sign.*
- *Placing an additional St. Andrew sign and properly repositioning the existing one.*
- *Improving the road surface condition.*
- *Ensuring the proper height difference between the road surface layer and the surface of the railheads.*
- *Replacing the crossing surface.*

Intervention 2 needs all the work required to remove the problems recorded except for the work to restore full visibility. However, it requires the installation of barriers and automatic sound and light signals.

Tabella 6 – Table 6

I risultati dell'implementazione di PROMETHEE al PL 1
Results of the implementation of PROMETHEE to the RLC 1

Classifica Interventi / Criteri <i>Interventions / Criteria Ranking</i>	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Punteggio* Points*
Chiusura del PL 1 <i>Closure of the RLC 1</i>	Mediocro Average	Ottimo Very good	Buono Good	Ottimo Very good	Sì Yes	Ottimo Very good	Pessimo Very bad	Ottimo Very good	0,625
Riabilitazione del PL 1 in base alle specifiche di un passaggio a livello passivo per $V_p=120\text{km/h}$ <i>Rehabilitation of the RLC 1 based on the specifications of a passive level crossing for $V_p=120\text{km/h}$</i>	Mediocro Average	Inadeguato Bad	Mediocro Average	Mediocro Average	No	Buono Good	Inadeguato Bad	Mediocro Average	-0,15
Riabilitazione del PL 1 in base alle specifiche di un passaggio a livello attivo per $V_p=120\text{km/h}$ <i>Rehabilitation of RLC 1 based on the specifications of an active level crossing for $V_p=120\text{km/h}$</i>	Mediocro Average	Mediocro Average	Buono Good	Inadeguato Bad	No	Inadeguato Bad	Mediocro Average	Mediocro Average	-0,475
(*) Come calcolato da Visual PROMETHEE (*) As calculated by Visual PROMETHEE.									

6.2 PL 2

Il PL 2 è stato considerato inadeguato con i seguenti problemi:

- Assenza di illuminazione stradale; illuminazione del binario insufficiente.
- Tipo di segnaletica di Sant' Andrea inappropriata.
- Assenza di segnaletica di avvertimento stradale.
- Assenza di segnaletica di avvertimento ferroviaria.
- La rete stradale in avvicinamento al PL 2 è particolarmente problematica, il che aumenta il suo rischio.

Si è deciso di considerare i seguenti tre possibili interventi:

1. Riabilitazione del PL 2 secondo le specifiche adottate [7] di un PL attivo per una velocità di $V_p = 60 \text{ km/h}$.
2. Separazione a raso del PL 2.
3. Riabilitazione del PL 2 e installazione di una protezione 24 ore su 24.

Va notato che, a causa dell'elevato valore di ADT, l'opzione di chiusura non si è potuta prendere in considerazione [7][39] senza la conversione in un incrocio a raso separato.

Tab. 6 shows the results of the implementation of PROMETHEE to the RLC 1.

In regard to the implementation cost, while the conversion to an active RLC will cost more, for the option of maintaining the RLC an additional cost was considered to compensate for the removal of the obstructing orchard. Based on the above and as shown in Tab. 6, the option of closure was considered as the best intervention in the case of RLC 1. At this point, it should be noted that a previously conducted cost-benefit analysis [7] also indicated closure as the ideal intervention.

6.2 RLC 2

RLC2 was considered to be inadequate with the following problems:

- Absence of road lighting; insufficient track lighting.
- Inappropriate type of St. Andrew's signage.
- Absence of road warning signs.
- Absence of railway warning signals.
- The road network on the approach to RLC 2 is particularly problematic, which increases its risk.

It was decided to consider the following three possible interventions:

OSSEVATORIO

L'intervento 1 prevede quanto segue:

- Installazione di un'illuminazione adeguata dei binari e strade.
- Miglioramenti legati al traffico nelle strade in avvicinamento.
- Collocazione della segnaletica di avvertimento stradale.
- Posizionamento dei contrassegni di marciapiede.
- Posizionamento segnaletica di avvertimento ferrovia.
- Adeguamento della segnaletica di Sant'Andrea.

Per quanto riguarda i miglioramenti legati al traffico nelle strade in avvicinamento, si dovrebbe condurre uno studio specializzato sul traffico. I miglioramenti indicativi del traffico includono:

- revocare l'accesso al PL dalle due strade parallele e consentire l'attraversamento solo tramite la strada principale perpendicolare;
- installazione di un impianto semaforico specializzato che cooperi con il sistema di protezione del PL.

L'intervento 2 non richiede nessuna delle suddette azioni. Tuttavia, richiede la costruzione di ampie opere civili (attraversamento separato a raso). Questa, a sua volta, richiede uno studio di fattibilità.

L'intervento 3 richiede tutte le azioni di cui sopra ad eccezione dei miglioramenti relativi al traffico. Inoltre, è necessaria una protezione 24 ore su 24.

La Tab. 7 mostra i risultati dell'implementazione di PROMETHEE sul PL 2. La separazione degli attraversamenti a raso è designata come intervento ottimale. A questo punto, va notato che questo risultato coincide con quello derivante dall'analisi costi-benefici intrapresa [7].

7. Conclusioni

I passaggi a livello ferroviari sono uno dei luoghi più sensibili alla sicurezza su una rete ferroviaria. Lo scopo del presente documento è di presentare uno "strumento decisionale" che aiuti i gestori dell'infrastruttura ferroviaria a decidere gli interventi da effettuare a un determinato passaggio a livello ferroviario della rete al fine di migliorare la sicurezza per il traffico ferroviario e gli utenti della strada. Il processo decisionale multicriterio e Visual PROMETHE sono stati scelti per analizzare due attraversamenti ferroviari scelti in base alle loro caratteristiche. Si trovano lungo un'unica linea ferroviaria nel nord della Grecia.

Sono state identificate azioni adeguate a migliorare la sicurezza in questi PL. Oltre a ripristinare o migliorare le caratteristiche di un PL passivo o attivo, sono state prese in considerazione anche la separazione a raso e la chiusura. Inoltre, la metodologia proposta ha utilizzato otto criteri, con pesi diversi per ciascuno. Mentre i criteri e i loro pesi sono stati il risultato della consultazione di un grup-

1. Rehabilitation of RLC 2 according to the adopted specifications [7] of an active RLC for a speed of $V_p = 60 \text{ km/h}$.
2. Grade Separation of the RLC 2.
3. Rehabilitation of the RLC 2 and installation of a 24-hour guard.

It should be noted that due to the high ADT value the option of closure could not be considered [7][39] without the conversion to a grade-separated crossing.

Intervention 1 requires the following:

- *Installing adequate track and road lighting.*
- *Traffic-related improvements in the approaching roads.*
- *Placement of road warning signage.*
- *Placement of pavement markings.*
- *Placement of railroad warning signage.*
- *Adjustment of the St Andrew's signage.*

Regarding the traffic-related improvements in the approaching roads a specialized traffic study should be conducted. Indicative traffic improvements include:

- *revoking access to the RLC from the two parallel roads and allowing crossing only via the perpendicular main road;*
- *installing a specialised traffic light system that cooperates with the RLC protection system.*

Intervention 2 does not require any of the aforementioned actions. However, it requires the construction of extensive civil works (grade-separated crossing). This, in turn, requires a feasibility study.

Intervention 3 requires all the aforementioned actions except the traffic-related improvements. In addition, a 24-hour guard is required.

Tab. 7 shows the results of the implementation of PROMETHEE to RLC 2. Grade separation is nominated as the optimal intervention. At this point, it should be noted that this result coincides with the one stemming from the undertaken cost-benefit analysis [7].

7. Conclusions

Railway level crossings are one of the most safety-sensitive locations on a railway network. This paper aimed to present a "decision tool" that helps railway infrastructure managers decide the interventions to make at a given railway level crossing of the network in order to improve safety for rail traffic and road users. Multi-criteria decision-making and Visual PROMETHE were chosen to analyze two railway crossings that were chosen based on their characteristics. They are located along a single railway line in north Greece.

Proper actions to improve safety at these RLCs were identified. Besides restoring or improving the characteristics of a passive or active RLC, grade separation and closure were also considered. In addition, the proposed methodol-

Tabella 7 – Table 7

I risultati dell'implementazione di PROMETHEE al PL 2
Results of the implementation of PROMETHEE to the RLC 2

Classifica Interventi / Criteri <i>Interventions / Criteria Ranking</i>	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Punteggio Points
Separazione a raso del PL 2 <i>Grade separation of the RLC 2</i>	Pessimo <i>Very bad</i>	Ottimo <i>Very good</i>	Pessimo <i>Very bad</i>	Ottimo <i>Very good</i>	Sì <i>Yes</i>	Ottimo <i>Very good</i>	Inadeguato <i>Bad</i>	Pessimo <i>Very bad</i>	0,275
Riabilitazione del PL 2 per $V_p=60\text{km/h}$ e istituzione di una protezione 24 ore su 24 <i>Rehabilitation of the RLC 2 for $V_p=60\text{km/h}$ and installation of a 24-hour guard</i>	Inadeguato <i>Bad</i>	Buono <i>Good</i>	Inadeguato <i>Bad</i>	Mediocro <i>Average</i>	No	Mediocro <i>Average</i>	Inadeguato <i>Bad</i>	Mediocro <i>Average</i>	0,200
Riabilitazione del PL 2 secondo le specifiche [7] di un PL attivo per una velocità di $V_p = 60 \text{ km/h}$ <i>Rehabilitation of RLC 2 according to the specifications of an active RLC for a speed of $V_p = 60$ km/h</i>	Mediocro <i>Average</i>	Pessimo <i>Very bad</i>	Mediocro <i>Average</i>	Buono <i>Good</i>	No	Buono <i>Good</i>	Pessimo <i>Very bad</i>	Mediocro <i>Average</i>	-0,475

po di esperti, ogni operatore ferroviario ha il potere e la capacità di definire i pesi dei criteri in modo tale da seguire le proprie priorità.

L'applicazione della metodologia ha suggerito che gli interventi proposti per i PL esaminati sono conformi a quelli suggeriti nelle analisi costi-benefici condotte in precedenza. Come parte della ricerca futura, questo approccio dovrebbe essere testato per aggiungere PL di diverse caratteristiche e registri degli incidenti. Il numero di criteri potrebbe aumentare con una successiva ricalibrazione dei pesi associati. Inoltre, invece di esprimere i criteri solo in modo qualitativo, le analisi future potrebbero includere criteri sia qualitativi che quantitativi. Ciò potrebbe tradursi in una migliore accuratezza e in un confronto più facile con metodi più mirati dal punto di vista finanziario come il rapporto costi-benefici. L'uso di questa metodologia potrebbe fornire informazioni preziose ai gestori dell'infrastruttura, mentre l'identificazione e l'uso di dati disponibili al pubblico potrebbero fare lo stesso da un punto di vista accademico.

ogy employed eight criteria, with different weights for each. While the criteria and their weights were the results of the consultation of a panel of experts, each stakeholder has the potential and the capability to define the criteria weights in such a way that they follow their priorities.

The application of the methodology suggested that proposed interventions to the examined RLCs are in accordance with the ones that were suggested in previously conducted cost-benefit analyses. As part of future research, this approach should be tested to add RLCs of varying characteristics and accident records. The number of criteria could increase along with a subsequent recalibration of the associated weights. Moreover, instead of expressing criteria only in a qualitative manner, future analyses could include both qualitative and quantitative criteria. This could result in better accuracy and easier comparison with more financially focused methods such as cost-benefit. The use of this methodology could provide valuable insight to infrastructure managers, while the identification and use of publicly available data could do the same from an academic perspective.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] European Union, Official Journal of the European Union, "Directive 2004/49/EC of the European Parliament and of the Council as regards common safety indicators and common methods of calculating accident costs", L 201, 2014, pp. 9-17, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L:2014:201:FULL&from=RO>.
- [2] European Union, "Directive (EU) 2016/798 of the European Parliament and of the Council of 11 May 2016 on railway safety" (Text with EEA relevance), <http://data.europa.eu/eli/dir/2016/798/oj>.
- [3] C. PYRGIDIS (2021), "Railway Transportation Systems: Design, Construction and Operation", second edition, Taylor and Francis.
- [4] Office of Rail Regulation (2010), "Managing Level Crossings: Guide for designers, operators and users" - Consultation, April.
- [5] GEORGE B. (1999), "Passages à niveaux: Comment améliorer la sécurité?", Rail International, Brussels, June, pp. 24-27.
- [6] MALLET P. (1987), "Passages à niveau: 15 ans de suppressions", RGCF, No. 5, France, pp. 19-23.
- [7] Aristotle University of Thessaloniki (2022), "Provision of support services for the development of a safety management system for level crossings" - Pilot implementation in level crossings of the Greek railway network, Research Program, AUTH/OSE, April, Thessaloniki, Greece.
- [8] VPSolutions (2013), "Visual PROMETHEE 1.4 Manual. In Visual PROMETHEE 1.4 Manual (Vol. 1)". <moz-extension://0393c2ac-7d50-4668-9bd8-7852c01fe506/enhanced>.
- [9] PREST A.R. , TURVEY R. (1966), "Cost-benefit analysis: a survey. In Surveys of economic theory", pp. 155-207, Palgrave Macmillan, London.
- [10] IOANNIDOU A.M., PYRGIDIS C. (2014), "The Safety Level of Railway Infrastructure and Its Correlation with the Cost of Preventive and Mitigation Measures". International Journal of Railway Research, 1(1), pp. 19-30.
- [11] TZENG G.H. & HUANG J.J. (2011), *Multiple attribute decision making: methods and applications*. CRC press.
- [12] ANTONIOU F., KONSTANTINIDIS D., ARETOULIS G.N. (2016), "Application of the multi attribute utility theory for the selection of project procurement system for Greek highway projects". International Journal of Management and Decision Making, 15(2). <https://doi.org/10.1504/IJMMD.2016.077761>.
- [13] CHATZIPOULIDIS G., ARETOULIS G., KALFAKAKOU G. (2017), "A multicriteria ranking of Thessaloniki's public hospitals based on their infrastructure adequacy". In Springer Optimization and Its Applications (Vol. 128, pp. 177-196). https://doi.org/10.1007/978-3-319-65338-9_10.
- [14] GRAVAS M., KARAMBAS T., ZAFEIRAKOU A., ARETOULIS G. (2022), "Multi-criteria analysis of selected coastal protection measures in areas with a low tidal range". Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration. <https://doi.org/10.1007/s41207-022-00311-9>.
- [15] RANKKA K. (2005), "Socio-economic methods for evaluating decisions in coastal erosion management: State-of-the-art". <Http://Www.Interreg-Messina.Org/>.
- [16] MATHEW J., BENEKOHAL R.F., BERNDT M., BECKETT J., MCKERROW J. (2021), "Multi-criteria prioritization of highway-rail grade crossings for improvements: a case study". Urban, Planning and Transport Research, 9(1), 479-518.
- [17] DEZHAKAM B., ESLAMI S.M. (2017), "A review of methods for highway-railway crossings safety management process". International Electronic Journal of Mathematics Education, 12(3), 561-568.
- [18] HAKKERT A.S., GITELMAN V. (1997), "Development of evaluation tools for road-rail crossing consideration for grade separation". Transportation Research Record, 1605(1), 96-105.
- [19] PRODAN A., SAKHRANI V., ROY M.-A., DIETRICH M., PHINNEY S.N., MCCLORY M. (2022), "Quantitative multi-criteria decision support approach for prioritizing grade crossings to address the problem of blocked crossings". Transportation Research Record, 2676(1), 142-151.
- [20] MACHARIS C., SPRINGAEL J., DE BRUCKER K., VERBEKE A. (2004), "PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis.: Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP". European Journal of Operational Research, 153(2), 307-317.
- [21] ROUKOUNIS C. N., ARETOULIS G., KARAMBAS T. (2020), "A combination of PROMETHEE and goal programming methods for the evaluation of water airport connections". International Journal of Decision Support System Technology (IJDSST), 12(2), 50-66.

OSSERVATORIO

- [22] BRANS J.P., MARESCHAL B. (2005), "PROMETHEE methods". In Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys (pp. 163-186). Springer.
- [23] MACHARIS C., TURCKSIN L., LEBEAU K. (2012), "Multi actor multi criteria analysis (MAMCA) as a tool to support sustainable decisions: State of use". Decision Support Systems, 54(1), 610-620.
- [24] GAGATSI E., GIANNOPoulos G., AIFANTOPOULOU G., CHARALAMPOUS G. (2017), "Stakeholders-based multi-criteria policy analysis in maritime transport: from theory to practice". Transportation Research Procedia, 22, 655-664.
- [25] TEGOS N.I., ARETOULIS G.N. (2019), "Proposal for an effective decision support system for the pre-selection of the type of concrete highway bridges". International Journal of Multicriteria Decision Making, 8(1). <https://doi.org/10.1504/IJMCMD.2019.098030>.
- [26] ZAFIRAKOU A., THEMELI S., TSAMI E., ARETOULIS G. (2018), "Multi-criteria analysis of different approaches to protect the marine and coastal environment from oil spills". Journal of Marine Science and Engineering, 6(4). <https://doi.org/10.3390/jmse6040125>.
- [27] VILKE S., PETROVIĆ I.P., & TADIĆ F. T. (2022), "Evaluation and Selection of the Railroad Route between Rijeka and Zagreb". <https://doi.org/10.3390/app12031306>.
- [28] ARETOULIS G.N., KALFAKAKOU G.P., STRIAGKA F. Z. (2010), "Construction material supplier selection under multiple criteria". Operational Research, 10(2), 209-230. <https://doi.org/10.1007/s12351-009-0065-3>.
- [29] ANTONIOU, FANI, ARETOULIS G.N., KONSTANTINIDIS D., PAPATHANASIOU J. (2014), "Choosing the most appropriate contract type for compensating major highway project contractors". Journal of Computational Optimization in Economics and Finance, 6(2), 77.
- [30] ARETOULIS G.N., TRIANTAFYLLODIS C.H., PAPATHANASIOU J., ANAGNOSTOPOULOS I.K. (2015), "Selection of the most competent project designer based on multi-criteria and cluster analysis". International Journal of Data Analysis Techniques and Strategies, 7(2), 172-186. <https://doi.org/10.1504/IJDATS.2015.068749>.
- [31] ARETOULIS G.N., PAPATHANASIOU J., ANTONIOU F. (2019), "PROMETHEE-based ranking of project managers based on the five personality traits". Kybernetes, 49(4), 1083-1102. <https://doi.org/10.1108/K-10-2018-0551>.
- [32] VOGIATZIS P., ARETOULIS G.N., PAPATHANASIOU J. (2018), "A multi-criteria-based ranking of Greek construction companies listed in Athens Stock Exchange using investment ratios". International Journal of Decision Support Systems, 3(1/2), 71. <https://doi.org/10.1504/IJDSS.2018.094262>.
- [33] ANTONIOU, FANI & ARETOULIS G. (2019), "A multi-criteria decision-making support system for choice of method of compensation for highway construction contractors in Greece". International Journal of Construction Management, 19(6), 492-508. <https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1452103>.
- [34] ZHANG X., LI Y., FANG Y., ZHANG X., LI Y. (2022), "Citation: Fang, Y mathematics Article Research on Multicriteria Decision-Making Scheme of High-Speed Railway Express Product Pricing and Slot Allocation under Competitive Conditions". <https://doi.org/10.3390/math10091610>.
- [35] GONÇALVES J., SANTOS B., OLIVEIRA A. (2022), "Prioritization of railway proximity interventions: The case of the Portuguese railway network". Case Studies on Transport Policy, 10(1), 559-571. <https://doi.org/10.1016/J.CSTP.2022.01.016>.
- [36] BELOŠEVIĆ I., JOVANOVIĆ P., PAVLOVIĆ N., MILINKOVIĆ S. (2022), "A Two-Phase VIKOR Model for Track Layout Evaluation of Passenger Rail Stations". Promet - Traffic&Transportation, 34(1), 103-115. <https://doi.org/10.7307/PTT.V34I1.3856>.
- [37] GIUFFRIDA N., FAZIO M., LE PIRA M., INTURRI G., IGNACCOLO M. (2022), "Connecting university facilities with railway transport stations: the case of Catania". Transportation Research Procedia, 60, 568-575. <https://doi.org/10.1016/J.TRPRO.2021.12.073>.
- [38] OLIVA G., FARAMONDÌ L., SETOLA R., TESEI M., ZIO E. (2021), "A multi-criteria model for the security assessment of large-infrastructure construction sites". International Journal of Critical Infrastructure Protection, 35. <https://doi.org/10.1016/J.IJCP.2021.100460>.
- [39] DEMIRIDIS N., MANTHOS E., PYRGIDIS C. (2022), "Feasibility Assessment of Lightly Trafficked Railway Level Crossings' Closure – A Framework for Railway Infrastructure Managers to Assist Effective Decision Making", Ingegneria Ferroviaria, n. 11, CIFi, Roma.