



Valutazione della fattibilità della chiusura dei passaggi a livello ferroviario a basso traffico – Un quadro per i gestori dell'infrastruttura ferroviaria per assistere il processo decisionale efficace

Feasibility Assessment of Low Traffic Railway Level Crossings' Closure – A Framework for Railway Infrastructure Managers to Assist Effective Decision Making

Nikolaos DEMIRIDIS ^(*)
Evangelos MANTHOS ^(*)
Christos PYRGIDIS ^(**)

(<https://www.medra.org/servlet/view?lang=it&doi=10.57597/IF.11.2022.ART.2.>)

Sommario - Il presente documento di ricerca sviluppa e presenta un quadro che consente ai gestori dell'infrastruttura ferroviaria di valutare in modo efficace quale passaggio a livello ferroviario della loro rete possa essere riesaminato in modo critico e potenzialmente eliminato senza causare oneri irrevocabili e sbilanciati alle comunità limitrofe e agli utenti della rete stradale adiacente e di attraversamento. L'approccio metodologico proposto si applica sia ai passaggi a livello ferroviari passivi che a quelli attivi con un traffico stradale giornaliero minimo (≤ 100 veicoli stradali), in cui anche l'uso da parte dei pedoni è ridotto al minimo. Il quadro sviluppato fornisce un contributo per tutte le fasi del processo di chiusura di un passaggio a livello ferroviario, identificato attraverso la ricerca sulla rete ferroviaria greca e affronta ciò che è stato individuato, attraverso la ricerca attuale, come la sfida principale per la quale le iniziative di chiusura del passaggio a livello ferroviario spesso falliscono, cioè la contrapposizione delle parti interessate, in modo semplice, conciso e ponderato.

1. Simboli - Definizioni

1.1. Simboli

- ADT: traffico giornaliero medio.
- ADTM: momento del traffico giornaliero medio.
- ERA: agenzia ferroviaria europea.
- MCA: analisi multicriterio.

Summary - This research paper develops and presents a framework allowing railway infrastructure managers to effectively assess which railway level crossing of their network may be critically reviewed and potentially cancelled without causing irrevocable and unbalanced burden to the neighbouring communities and adjacent / vertical road network users. The proposed methodological approach applies to both passive and active railway level crossings with minimal only daily road traffic (≤ 100 road vehicles) where pedestrian use is also kept to a bare minimum. The framework developed contributes to all stages of a railway level crossing's closure process identified through research on the Greek railway network and addresses what has been pinpointed, through the current research, as the main challenge for which railway level crossing closure initiatives often fail – i.e. stakeholder resistance – in a simple, yet concise and frugal way.

1. Symbols - Definitions

1.1. Symbols

- ADT: Average Daily Traffic.
- ADTM: Average Daily Traffic Moment.
- ERA: European Railway Agency.
- MCA: Multi-Criteria Analysis.
- NPV: Net Present Value.
- RLC: Railway Level Crossing.
- RIM: Railway Infrastructure Manager.

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

^(**) 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.

^(**) Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki, Greece. Corresponding author. E-mail address: pyrgidis@civil.auth.gr.

- NPV: valore attuale netto.
- RLC: passaggio a livello ferroviario.
- RIM: gestore dell'infrastruttura ferroviaria.
- KP: punto kilometrico (progressiva).
- KPI (indicatore di prestazione chiave).
- S: distanza, misurata lungo la linea mediana del binario, tra la progressiva di passaggi a livello della ferrovia studiata e il passaggio su strada più vicino, in entrambi i sensi di marcia, indipendentemente dal fatto che sia a raso o meno con la linea ferroviaria.
- S_c: lunghezza di deviazione per gli utenti della strada interessati a seguito della chiusura del RLC oggetto di studio.

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): 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 attivo (ferroviario): 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 progettata del binario: 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 dai locali ferroviari ed E&M [3].
- Momento di traffico giornaliero: il numero di treni al giorno in entrambe le direzioni di marcia, moltiplicato per il numero di veicoli stradali che attraversano di qualsiasi tipo in entrambe le direzioni durante lo stesso periodo di ventiquattro ore [3][4].

2. Soggetto e campo di applicazione

Questo documento si occupa della chiusura dei passaggi a livello ferroviari (RLC) con solo traffico stradale giornaliero minimo (Fig. 1 e Fig. 2) [5][6][7]. L'attuale ricerca sviluppa e presenta un quadro che consente ai gestori dell'infrastruttura ferroviaria (RIM) di valutare efficacemente quali RLC possono essere rivisti in modo critico e potenzialmente eliminati senza causare oneri irrevocabili e sbilanciati alle comunità limitrofe e agli utenti della rete stradale adiacente / incrociante, come, ad esempio: ridurre l'uso del territorio locale o costringere i residenti locali a rinunciare ad attività a valore aggiunto a cui ave-

- KP: Kilometric Point (Chainage).
- KPI: Key Performance Indicator.
- S: Distance, measured along the track centre line, between the railway level crossing chainage being studied and the nearest road crossing, in either direction of travel, whether at grade with the railway line or not.
- S_c: Detour length for concerned road users following the closure of the RLC being studied.

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*



Figura 1 – RLC passivo – Attraversamento tra una linea ferroviaria principale a binario unico e una strada rurale con traffico stradale giornaliero minimo sulla rete ferroviaria greca [8].

Figure 1 – Passive RLC – Crossing between a single-track main railway line with a rural road with minimal daily road traffic on the Greek railway network [8].

vano accesso o incidere in modo significativo sul tempo necessario per svolgere queste attività.

L'approccio metodologico proposto riguarda solo gli RLC con traffico stradale giornaliero medio ≤ 100 veicoli stradali in cui anche l'uso da parte dei pedoni è ridotto al minimo. Questa categoria di traffico corrisponde a quella di RLC in cui gli attraversamenti della rete ferroviaria / stradale riguardano essenzialmente le linee ferroviarie principali o secondarie e le strade rurali o locali [5][6][7], che sono anche la maggior parte degli RLC presenti nella rete ferroviaria greca.

L'approccio metodologico proposto riguarda la valutazione di chiusura di RLC su base autonoma, supponendo che la chiusura di un RLC non sia seguita dalla sostituzione delle premesse/attività annullate, né presso la stessa ubicazione né in prossimità, né da un cavalcavia/sottopasso. La potenziale chiusura di un RLC riduce il numero di RLC per binario - km. L'approccio considera che, rimuovendo un RLC, esiste o potrebbe essere reso disponibile un collegamento stradale alternativo, che quindi non pesa negativamente, in termini di lunghezza e livello di servizio, sugli utenti della strada adiacente; consentendo loro di soddisfare ancora le loro esigenze utilizzando RLC adiacenti o sottopassi/cavalcavia stradali esistenti nella zona.

Vale la pena notare che molte reti ferroviarie, in caso di visibilità limitata ad un RLC con ADTM di piccole dimensioni, spesso installano sistemi di protezione automatici, come barriere e allarmi acustici/visivi [8][9].

L'approccio metodologico proposto affronta essenzialmente la prima fase del processo di chiusura di un RLC, come mappato attraverso ricerche relative sulla rete ferroviaria greca, per cui il RIM, sostenuto dal fatto che tali interventi hanno sempre un bilancio positivo (dal punto di vista operativo e di manutenzione) cerca e identifica gli RLC che possono essere proposti per la chiusura al relativo comitato di valutazione. Complementare al quadro proposto e alla prima fase del processo di chiusura di un RLC, il RIM è obbligato, in una seconda fase, a procedere ad una completa valutazione di fattibilità del RLC inizialmente individuato come candidato alla chiusura, utilizzando gli strumenti quantitativi e qualitativi a sua disposizione ad esempio analisi costi-benefici, metodo NPV, MCA, ecc. [10]. Durante questa fase del processo, l'attenzione si concentra sugli aspetti tecnici, economici e sociali della chiusura di un RLC al fine di valutare se sia sostenibile; esaminando l'intervento proposto da solo o tenendo conto di altri scenari di intervento, come ad esempio il



Figura 2 – RLC attivo – Attraversamento tra una linea ferroviaria principale a binario unico con una strada rurale/locale con traffico stradale giornaliero minimo sulla rete ferroviaria greca [8].

Figure 2 – Active RLC – Crossing between a single - track main railway line with a rural/local road with minimal daily road traffic on the Greek railway network [8].

when it is unsafe for the user to traverse the crossing [1][2].

- *Active (railway) level crossing: 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 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].*

2. Subject and application field

This paper deals with closure of Railway Level Crossings (RLC's) featuring only minimal daily road traffic (Fig. 1 and Fig. 2) [5][6][7]. The current research develops and presents a framework allowing Railway Infrastructure Managers (RIM's) to effectively assess which RLC may be critically reviewed and potentially cancelled without causing irrevocable and unbalanced burden to the neighbouring communities and adjacent / vertical road network users, such as, for instance: underserving local land use; or compelling local residents to forgo added-value activities they used to have access to; or significantly impacting on the time required for carrying out these activities.

mantenimento del soggetto RLC in quanto si sta ancora migliorando la sua costruzione e le sue caratteristiche operative o allo stesso modo, fornendo un sottopasso/calvacchia [6][8][9]. Durante la terza fase, il RIM, dopo aver esaminato i risultati della valutazione di fattibilità, propone al comitato di valutazione di chiudere l'RLC, portando così a una decisione presa nella quarta fase del processo e all'attuazione di tale decisione nella quinta e ultima fase dell'intera attività.

A questo proposito, il quadro analitico proposto contribuisce essenzialmente a tutte le fasi del processo di chiusura di un RLC e in particolare alla quarta, in quanto contribuisce ad affrontare efficacemente la sfida principale identificata durante l'intero processo, vale a dire il coinvolgimento delle parti interessate [5][6][7]. Inoltre, l'approccio metodologico proposto consente di delineare chiaramente l'insieme di ulteriori interventi tecnici che potrebbero essere necessari nell'area del RLC in esame, in modo che qualsiasi impatto negativo sui residenti locali (e le rispettive opposizioni come delineato sopra) sia mitigato con successo [11][12].

La chiusura di un RLC annulla essenzialmente i rischi di incidenti di sicurezza che avrebbero potuto verificarsi presso il soggetto RLC se fossero stati mantenuti. Tuttavia, il problema, in una certa misura, rimane, poiché è ancora possibile che l'RLC adiacente sia coinvolto a seguito del trasferimento del rischio derivante dal traffico stradale spostato, aumentando così l'ADTM nel RLC adiacente e di conseguenza il numero potenziale di incidenti in questi punti della linea [13][14][15][16]. Nei casi in cui entrambi gli RLC adiacenti sono abbastanza vicini da servire efficacemente gli utenti della strada deviata, la parte di traffico stradale servita dal RLC chiuso, che viene deviata verso ciascuna di esse, è solitamente calcolata in base alle distanze intermedie [8].

Quando i volumi di traffico stradale deviato sono particolarmente bassi, si può presumere che non verrà esercitato alcuno sforzo supplementare significativo sul RLC vicino. Tuttavia, quando il volume di traffico deviato è significativo, l'aumento risultante del numero potenziale di incidenti può essere calcolato con le formule di previsione degli incidenti esistenti che sono tipicamente basate sull'ADTM e su altre caratteristiche strutturali e operative del RLC [8][9].

Nonostante il problema rimanga in una certa misura, la chiusura di un RLC con traffico stradale giornaliero minimo e il transito del traffico stradale verso RLC adiacenti determinano considerevoli "economie di scala", poiché dal punto di vista della sicurezza, il traffico stradale migrante non è linearmente correlato con eventuali nuovi incidenti presso l'RLC adiacente; di conseguenza, il numero totale di incidenti di sicurezza, considerando sia l'RLC eliminato che quelli a sopportare il traffico stradale migrante è sempre inferiore a quello originale. Questo è irrilevante anche nel caso in cui il traffico stradale cancellato sia canalizzato attraverso una strada esistente sottopasso/calvacchia dove il rischio è mitigato in pieno.

The proposed methodological approach only covers RLC's with average daily road traffic ≤ 100 road vehicles where pedestrian use is also kept to a bare minimum. This traffic usage corresponds to RLC's where rail / road network crossings essentially concern main or secondary railway lines and rural or local roads [5][6][7], which also happen to be the majority of RLC's found in the Greek railway network.

The proposed methodological approach deals with RLC's closure appraisal on a standalone basis, assuming that closure of an RLC is not followed by replacing the cancelled premisses/assets, neither at the same or a close by location, nor by a road over/underpass. Potential closure of an RLC reduces the number of RLC's per track - km. The approach considers that, in removing an RLC, an alternative road connection exists or could be made available, henceby not weighing negatively, in terms of length and service level, on the adjacent road users; allowing them to still serve their needs using either neighbouring RLC or existing road under/overpasses in the area.

It is worth noting that many railway networks, in case of limited visibility at an RLC with small ADTM, often dictate automatic protection systems, such as barriers and audible/visual alarms [8][9].

The proposed methodological approach essentially addresses the first stage of an RLC's closure process, as mapped through relevant research on the Greek railway network, whereby the RIM, propped by the fact that such interventions have always (from an operations and maintenance perspective) a positive balance, seeks and identifies RLC's that may be proposed for closure to the relevant appraisal panel. Complementary to the proposed framework and the first stage of an RLC's closure process, the RIM is obliged, at a second stage, to proceed to a full feasibility assessment of the RLC initially identified as a candidate for closure, using the quantitative and qualitative tools available to them e.g. cost-benefit analysis, NPV method, MCA, etc. [10]. During this phase of the process, focus is on the technical, economic and social aspects of an RLC's closure in order to assess whether it is sustainable; either looking at the proposed intervention on its own or with consideration to other intervention scenarios, such as for instance, maintaining the subject RLC as is yet improving its construction and operational features or similarly, by providing a road under/overpass [6][8][9]. During the third stage, the RIM, having considered the results of the feasibility assessment, proposes to the appraisal panel the RLC to be closed, thereby leading to a decision being taken in the fourth stage of the process, and the implementation of that decision in the fifth and final stage of the entire undertaking.

In this respect, the proposed analytical framework contributes essentially to all stages in an RLC's closure process and specifically the fourth one since it helps to tackle effectively the main challenge that was identified throughout the entire process i.e. stakeholder buy-in [5][6][7]. In addition, the methodological approach proposed allows to clearly outline the ensemble of additional technical interventions that

Il quadro proposto e la relativa metodologia sono quindi ritenuti uno strumento utile che il RIM può sfruttare per valutare la chiusura di RLC in modo ponderato ed efficace, consentendo il confronto con tutte le parti interessate coinvolte nel processo, sia private che pubbliche. In ogni caso, è uno strumento che può aiutare il RIM a gestire efficacemente la sicurezza di RLC quando è chiamata a prendere decisioni su potenziali interventi, vale a dire se chiudere RLC, sostituirli con un sottopasso/cavalcavia o semplicemente migliorarne le caratteristiche tecniche e operative [9].

Questo documento è strutturato in sei sezioni. La Sezione 1 fornisce i simboli e le definizioni utilizzati nel testo. La Sezione 2 delinea l'oggetto e il campo di applicazione del documento. La Sezione 3 descrive il problema e convalida la necessità della ricerca intrapresa. Ciò è corroborato da ricerche in letteratura sull'argomento. La Sezione 4 presenta la metodologia proposta per valutare la fattibilità della chiusura dell'RLC, mentre la Sezione 5 presenta l'applicazione dell'approccio metodologico proposto in due RLC della rete ferroviaria greca. Infine, la Sezione 6 riassume i risultati della ricerca.

3. Descrizione del problema

Gli RLC sono installati su tutte le principali reti ferroviarie, *intercity*, velocità convenzionale, nonché su ferrovie urbane e moderni sistemi tranviari. La loro presenza, in tutti i casi detti, è ritenuta necessaria in quanto consentono l'attraversamento di binari ferroviari a raso sia per gli utenti della strada che per i pedoni, servendo quindi attività locali. Pur avendo impatti positivi sulle comunità in cui si trovano, gli RLC sopportano anche impatti e rischi negativi importanti [5][6][7][11][12][17]:

- L'esercizio ferroviario è significativamente degradato, soprattutto nel caso di RLC passivo, poiché in diverse occasioni il passaggio del treno avviene a velocità inferiori alla velocità di progetto del binario.
- L'RLC attivo aumenta i costi operativi e di manutenzione della rete.
- Gli RLC sono uno dei principali detrattori in termini di eccellenza della sicurezza dei binari, con il maggior numero di incidenti di sicurezza nelle reti principali con velocità convenzionale che si verificano presso gli RLC [8][9]. Inoltre, la maggior parte degli incidenti è grave, relazionata a pedoni colpiti da treni e/o collisioni di ferroviarie-veicoli stradali, che spesso provocano la morte e/o lesioni gravi. Non sorprende che, indipendentemente dal sistema o dai sistemi utilizzati per la loro protezione (RLC attivi o passivi), il numero di RLC per binario-km costituisca uno degli indicatori chiave di prestazione adottati dalle autorità ferroviarie per valutare qualitativamente la sicurezza e la sofisticazione offerte dalla rete ferroviaria [8][9]. Questo KPI deve essere il più basso possibile. A titolo indicativo, nell'UE-28 vi sono in media 5 RLC per 10 km di linea ferroviaria o 0,5 RLC/binario-km [18].

are likely to be needed around the RLC under study, so that any negative impact on residents (and respective resistance as outlined above) is successfully mitigated [11][12].

Closing an RLC essentially cancels out risks of safety incidents that could have taken place at the subject RLC if it were to be maintained. Nevertheless, the problem, to a certain extent remains, as it is still possible for the adjacent RLC to be affected because of the risk transfer deriving from the road traffic being transferred over, hence increasing ADTM in the adjacent RLC and as a result the potential number of incidents at these locations [13][14][15][16]. In cases where both neighbouring RLCs are close enough to effectively serve diverted road users, the portion of the road traffic served by the closed RLC that is diverted to each one is typically calculated based on the intervening distances [8].

When the diverted road traffic volumes are particularly low, it could be assumed that no significant extra strain will be placed on the neighbouring RLC. However, when the diverted traffic volume are significant, the resulting increase in the potential number of incidents may be calculated with existing accident prediction formulas that are typically based on the ADTM as well as other structural and operational characteristics of the RLC [8][9].

Despite the problem remaining to an extent, closure of an RLC featuring minimal daily road traffic and transiting of road traffic to adjacent RLC drives considerable "economies of scale", as from a safety standpoint, the migrating road traffic is not linearly correlated with any new incidents at the neighbouring RLC; as a result, the total number of safety incidents considering both the RLC being cancelled and the ones to bear the migrating road traffic is always less than the original one. This is irrelevant though in case the cancelled road traffic is channelled through an existing road under/overpass where the risk is mitigated in full.

The proposed framework and relevant methodology are hence believed to be a useful tool that RIM may leverage to assess RLC's closure frugally and effectively, allowing them to deal with all involved stakeholders in the process, both private and public. In any case, it is a tool that can assist RIM in managing RLC safety effectively when called upon to make decisions on potential interventions, that is whether to close RLC, replace them with an under/overpass or simply improve their technical and operational characteristics [9].

This paper is structured into six sections. Section 1 provides the symbols and definitions used in the text. Section 2 outlines the subject and application field of the paper. Section 3 describes the problem and validates the need for the research undertaken. This is underpinned by literature research on the subject matter. Section 4 presents the proposed methodology for assessing the feasibility of RLC closure, whilst Section 5 presents the application of the proposed methodological approach in two RLCs of the Greek railway network. Finally, Section 6, summarises the research results.

A tale riguardo, gli RLC nelle linee ferroviarie a velocità convenzionale dovrebbero essere limitati ai casi in cui sono necessari solo per attività non ferroviarie.

Gli RLC soggetti ad essere valutati come candidati idonei per l'eliminazione possono essere classificati in due gruppi:

- Quelli in cui la loro chiusura non sarà sostituita da un sottopasso/cavalcavia. In questo caso, il traffico stradale, se presente, è convogliato attraverso la rete di servizi stradali esistente e rispettivamente attraverso l'RLC successivo o precedente o sottopasso/cavalcavia. Questa categoria comprende gli RLC che non presentano un traffico stradale significativo e che possono essere caratterizzati come «non essenziali» [5]. La rimozione di questi RLC trova le autorità ferroviarie desiderose di agire, ma l'intera impresa può inciampare nell'opposizione dei residenti vicini e di terzi, spesso determinando conflitti a lungo termine e indecisione, come dimostrato dall'esperienza.
- Quelli in cui l'eliminazione di RLC è seguita dalla costruzione di un nuovo sottopasso/cavalcavia, nella stessa località o nelle vicinanze. Il traffico stradale, in questo caso, è convogliato attraverso la rete stradale esistente e attraverso il nuovo sottopasso/cavalcavia. Questo gruppo di RLC riguarda installazioni con grandi valori ADTM e molto spesso, importanti precedenti di incidenti: quindi questi RLC sono di solito considerati come «non efficaci». La chiusura di questi RLC spesso trova in accordo le autorità ferroviarie e le comunità vicine, poiché l'intervento congiunto elimina i rischi di incidente in quell'area, garantendo comunque un accesso altamente efficace dei residenti alle strutture locali, consentendo al contempo ai treni di circolare alle loro velocità nominali. Pur positiva dal punto di vista della sicurezza e del servizio, questa soluzione ha un costo di implementazione elevato e potenzialmente pesa negativamente, in termini di sostenibilità e integrazione urbana.

Il presente documento si concentra sul primo gruppo di eliminazione di RLC elencato sopra. L'eliminazione di un RLC senza prevedere una sostituzione attraverso un sottopasso/cavalcavia stradale ha impatti sia positivi (+) che negativi (-) [17]. In particolare:

Per il RIM e la linea ferroviaria in cui si trova l'RLC candidato alla chiusura:

- + Un miglioramento della sicurezza ferroviaria.
- + Riduzione dei tempi di percorrenza (ferroviaria).
- + Aumento della capacità del binario.
- + Una riduzione dei costi di esercizio e manutenzione, soprattutto nel caso di RLC attivi.
- + La possibilità di riassegnare i fondi ad altri RLC e/o impianti della rete in cui i miglioramenti possono avere un impatto maggiore per libbra nel territorio.
- Costo finanziario dei lavori necessari per l'eliminazione degli RLC.

3. Problem description

RLC's are installed across all main, intercity, conventional speed, railway networks, as well as urban railways and modern tramway systems. Their presence, in all previous cases, is deemed necessary as they allow for crossing of railway tracks at grade for both road users and pedestrians, thereby deserving local activities. Whilst having positive impacts on the communities where they are located, RLC's also bear significant negative impacts and risk [5][6][7][11][12][17]:

- *Rail operation is significantly degraded, especially in the case of passive RLC, as on several occasions, train pass-by occurs at speeds lower than track design speed.*
- *Active RLC increase operational and maintenance costs of the network.*
- *RLC's are a major detractor in terms of track safety excellence with the greatest number of safety incidents across conventional speed mainline networks occurring at RLC's [8][9]. In addition, majority of incidents is serious, relating to pedestrians being struck by trains and/or railway-road vehicle collisions often resulting in death and/or serious injuries. Unsurprisingly and irrespective of the system(s) used for their protection (active or passive RLC), the number of RLC's per track-km constitutes one of the KPI's adopted by railway authorities for qualitatively assessing the safety and sophistication offered by the railway network [8][9]. This KPI needs to be as low as possible. Indicatively, in EU-28, there are on average 5 RLC's per 10km of railway line or 0.5 RLC / track-km [18].*

In this respect, RLC's in conventional speed railway lines ought to be limited to those cases where only necessary for any non-railway related activities.

RLC's susceptible to being appraised as suitable candidates for closure may be classified in two groups:

- *Those whereby their closure will not be replaced by a road under/overpass. In these occasions, road traffic, if existing, is channelled through the existing road service network and via the next or previous RLC or under/overpass respectively. This category comprises RLC's that do not feature significant road traffic and which may be characterised as 'non-essential' [5]. Removal of these RLC's finds railway authorities eagerly willing to act, yet the entire undertaking may stumble on resistance from nearby residents and third parties, often ending up in long-term conflict and indecision-making as proven by experience.*
- *Those where RLC's closure is followed by construction, at the very same or nearby location, of a new road under/overpass. Road traffic, in this instance, is channelled through the existing road service network and via the new under/overpass. This group of RLC's concerns installations with great ADTM values and very often, a significant history of accidents, hence these RLC's are usually seen as 'non-effective'. Closure of these RLC's often*

Per i residenti nelle vicinanze e gli utenti locali della strada:

- + Aumento del valore dei terreni vicini [19].
- Un aumento della distanza che gli utenti della strada devono percorrere in modo che svolgano le stesse attività di prima della chiusura del RLC.
- Un calo nella facilità di accesso per gli utenti locali della strada e residenti. Lo stesso può influire sui servizi di emergenza.

Per la società in generale:

- + Una riduzione del numero di incidenti di sicurezza/km di linea e quindi una riduzione dei costi sociali.

Tenuto conto di quanto sopra, i gestori delle reti ferroviarie e i proprietari delle infrastrutture mirano generalmente a mantenere basso il numero di RLC per binario-km, esaminando e perseguendo potenziali opportunità di chiusura, ove possibile. Di conseguenza, in molti paesi la chiusura di RLC è diventata un'importante strategia per migliorare la sicurezza della rete ferroviaria nel suo complesso ed è un argomento di crescente attenzione per il RIM.

“Ci sono alcuni paesi o regioni in tutto il mondo che hanno programmi specifici di chiusura dei passaggi a livello per vari scopi” [6]. “Questi programmi forniscono supporto finanziario e una guida tecnica per risolvere i problemi incontrati durante il processo di chiusura sulla base dell'esperienza precedente. Inoltre, considerando che la chiusura di alcuni attraversamenti si rivela un'iniziativa audace e spesso complessa a causa dell'opposizione locale, di solito vengono adottate misure di incentivazione per facilitare il piano di chiusura, come dare denaro ai residenti vicini e stabilire zone tranquille” [12].

“Diversi sforzi nel passato descritti in letteratura hanno portato a quattro metodi principali per il supporto decisionale sulla chiusura di attraversamenti, tra cui la diagnosi di esperti, il rating euristico, il modello di albero decisionale e l'analisi dei costi-benefici basata sul rischio” [6].

“La diagnosi degli esperti è essenzialmente una decisione basata sulla conoscenza e sul giudizio professionale. Di solito comporta lo svolgimento di ispezioni in loco, la consultazione con le parti interessate e l'adozione di decisioni collettive da parte di un gruppo di funzionari governativi e rappresentanti dell'azienda ferroviaria e dell'autorità stradale” [6][20]. “Gran Bretagna, Australia e Canada hanno utilizzato questo metodo per molti anni. L'approccio diagnostico esperto è generalmente di natura soggettiva e spesso manca di strumenti di valutazione quantitativa sul rischio per la sicurezza. Inoltre, il processo può richiedere molto tempo, soprattutto quando si chiude in modo proattivo un gran numero di passaggi a livello da una vasta gamma di opzioni”.

“In un secondo approccio, viene utilizzata una classificazione euristica per determinare la priorità dei singoli attraversamenti ai fini della loro chiusura. L'idea alla base di

finds both railway authorities and nearby communities congruent since joint intervention cancels out accident risks in that area, still ensuring highly effective access of residents to local facilities whilst allowing trains to run at their nominal speeds. Whilst positive from a safety and service standpoint, this solution has a high implementation cost and potentially weighs negatively, in terms of sustainability and urban integration.

The present paper focusses on the first group of RLC's closure enumerated above. Closure of an RLC without foreseeing a replacement through a road under/overpass has both positive (+) and negative (-) impacts [17]. More in particular:

For the RIM and the railway line where the candidate for closure RLC is located:

- + *An improvement in railway safety.*
- + *A reduction in (railway) trip times.*
- + *An increase in track capacity.*
- + *A reduction in operation and maintenance costs, especially in the case of active RLC.*
- + *The possibility to reallocate funds to other RLC's and/or installations of the network where improvements may have a bigger impact per pound in the ground.*
- *Financial cost for works required for the elimination of the RLC.*

For nearby residents and local road users:

- + *An increase in value of nearby land [19].*
- *An increase in travel distance road users need to cover so that they fulfil the same activities as before the RLC closure.*
- *A drop in ease of access for local road users and residents. The same may affect emergency services.*

For society generally:

- + *A reduction in the number of safety incidents / km of line and therefore a reduction in social costs.*

Considering the above, railway network managers and infrastructure owners generally aim to keep the number of RLC's per track - km low by looking at and pursuing potential closure opportunities, where so possible. As a result, closing RLC has become an important strategy for improving the safety of the railway network as a whole in many countries and is an area of increasing focus for RIM.

“There are a few countries or regions around the world that have specific grade crossing closure programs for various purposes” [6]. “These programs provide funding support and technical guidance to solve the issues encountered during the closure process based on previous experience. Moreover, considering that closing some crossings proves a daring and often complex initiative due to local opposition, incentive measures are usually adopted to facilitate the closure plan, such as giving cash to nearby residents and establishing quiet zones” [12].

questo approccio è quella di applicare un'equazione multi-variabile per calcolare i punteggi per ogni attraversamento, che è una misura di priorità per la chiusura. Prima di applicare la formula di classificazione, i ricercatori di solito restringono gli attraversamenti candidati impostando soglie su alcune variabili. Ad esempio, il Dipartimento dei Trasporti della Florida [6][21] ha suggerito sei criteri per restringere l'elenco degli attraversamenti candidati per la chiusura: traffico giornaliero medio annuo <2000, numero giornaliero di treni >2, distanza massima dagli attraversamenti vicini <1300 piedi, attraversamenti a raso con un angolo di inclinazione estremo, non sulle rotte dei veicoli di emergenza, passaggi a livello a raso lungo un binario di linea di 1,6 km >5.

Come parte di uno studio a sostegno del programma di consolidamento del passaggio a livello a raso del Kansas, RUSSELL e MUTABAZI [5] hanno proposto una formula di valutazione euristica per classificare il rischio di sicurezza e la priorità di chiusura di un attraversamento. Sono stati incorporati sei fattori di rischio nella formula di classificazione finale sulla base del parere di un comitato consultivo, tra cui l'angolo di attraversamento, la distanza visiva, il grado di avvicinamento, il numero di treni giornaliero, la velocità del treno e il numero di binario. Il punteggio per un dato incrocio è definito come la somma dei pesi dei sei fattori. Tuttavia, questo studio considera solo la priorità della chiusura dal punto di vista del rischio per la sicurezza, ignorando alcuni fattori importanti come l'accessibilità spaziale. In un altro recente studio in Europa, ČIROVIĆ e PAMUČAR [22] hanno creato un modello di sistema di inferenza neuro-adattativo per prendere decisioni sull'investimento in attrezzature di sicurezza per passaggi a livello a raso. Questo sistema può essere adottato per il problema della chiusura del passaggio a livello a raso.

“In un terzo approccio, l'opportunità di chiudere un attraversamento è determinata da un modello ad albero decisionale, formato utilizzando i dati delle decisioni di chiusura passate per la mappatura tra le decisioni di chiusura (sì o no) e gli attributi di attraversamento. Questo approccio consiste essenzialmente nel cercare di apprendere le conoscenze di dominio degli esperti di sicurezza sulle decisioni relative alle chiusure degli attraversamenti utilizzando un modello di apprendimento automatico, il che significa anche che la precisione del modello dipenderebbe dalla correttezza delle decisioni prese in passato. Ad esempio, SOLEIMANI *et al.* [23] hanno sviluppato un modello di classificazione basato sull'apprendimento automatico chiamato XGboost per fornire supporto decisionale sulla chiusura dell'attraversamento.”

“In un quarto approccio, un'analisi costi-benefici basata sul rischio può comprendere il problema della chiusura dal punto di vista dell'allocazione delle risorse e della riduzione del rischio di sicurezza allo stesso tempo. Questo metodo sembra essere più compatibile e flessibile. Tuttavia, per sostenere questo approccio è necessario sviluppare gli strumenti di valutazione dei costi e dei benefici in termini di sicurezza. In uno studio di SIYUAN QIU [6] viene

“Several past efforts described in the literature have resulted in four main methods for decision support on crossing closure, including expert diagnosis, heuristic rating, decision tree model, and risk-based benefit-cost analysis” [6].

“Expert diagnosis is essentially a decision which is based on professional knowledge and judgement. It usually involves conducting onsite inspections, consulting stakeholders, and making collective decisions by a team of government officials and representatives from the railway company and road authority” [6][20]. “Britain, Australia, and Canada have used this method for many years. The expert diagnosis approach is generally subjective in nature and often lacks quantitative assessment tools on safety risk. In addition, the process may take a long time, especially when proactively closing a large number of crossings from a wide range of options”.

“In a second approach, a heuristic rating is used to determine the priority of individual crossings for being considered for closure. The idea behind this approach is to apply a multi-variable equation to calculate scores for each crossing, which is a measure of priority for closure. Before applying the rating formula, researchers usually narrow down candidate crossings by setting thresholds on some variables. For example, Florida Department of Transportation [6][21] suggested six criteria for narrowing the list of candidate crossings for closure: average annual daily traffic <2000, daily number of trains >2, maximum distance to the nearby crossings <1300 ft, grade crossings at an extreme skewed angle, not on the routes of emergency vehicles, grade crossings along a 1.6-km line track >5.

As part of a study to support Kansas's grade crossing consolidation program, RUSSELL and MUTABAZI [5] proposed a heuristic rating formula for ranking a crossing's safety risk and closure priority. Based on the opinion of an advisory committee, six risk factors were incorporated into the final rating formula, including crossing angle, sight distance, approach grade, daily train number, train speed, and track number. The rating score for a given crossing is defined as the sum of weights of the six factors. However, this study only considers the priority of closure from the safety risk aspect, ignoring some important factors such as spatial accessibility. In another recent study in Europe, ČIROVIĆ and PAMUČAR [22] created an adaptive neuro fuzzy inference system model to making decisions about investing in safety equipment for grade crossings. This system can be adopted to the grade crossing closure problem”.

*“In a third approach, whether a crossing should be closed is determined by a decision tree model, which is trained using data of past closure decisions for mapping between closure decisions (yes or no) and crossing attributes. This approach is essentially about trying to learn the domain knowledge of the safety experts on decisions pertaining to crossing closures using a machine learning model, which also means that the accuracy of the model would depend on the correctness of the decisions made in the past. For example, SOLEIMANI *et al.* [23] developed a machine*

proposto un quadro basato sul rischio, che comprende uno *screening* preliminare e un modulo di analisi costi-benefici. Questo modulo determina i benefici previsti in termini di sicurezza, costi del tempo di percorrenza e costi di costruzione che potrebbero derivare dalla loro chiusura. Il beneficio in termini di sicurezza della chiusura di un determinato attraversamento è stimato utilizzando una serie di modelli di rischio di collisione per la frequenza e la gravità della collisione. Per stimare il costo del tempo di percorrenza extra che gli utenti della strada dovrebbero sostenere a causa della chiusura di un attraversamento, viene creato uno strumento di analisi dell'accessibilità in una ArcMap per calcolare la distanza di percorrenza extra, utilizzando i dati spaziali della rete stradale e ferroviaria. Infine, i rapporti benefici-costi del ciclo di vita di tutti gli attraversamenti candidati per la chiusura possono essere calcolati e utilizzati come criterio di classificazione per determinare la loro priorità di chiusura. L'applicazione e la razionalità del quadro proposto sono esaminate attraverso uno studio casistica di tre province canadesi."

Il quadro proposto in questo documento può essere considerato come una combinazione di una diagnosi esperta e uno strumento di valutazione euristica che può essere efficacemente implementato dal RIM per aiutare a valutare l'eliminazione di RLC in modo ponderato.

4. Quadro per verificare la fattibilità della chiusura del RLC

Come accennato in precedenza, per la chiusura di un RLC, pur non sostituendolo con un sottopasso/cavalcavia, non dovrebbe esserci alcun impatto avverso e negativo sulle attività dei residenti locali e in particolare degli utenti della strada.

A questo proposito, all'interno di questo documento viene sviluppato e proposto un quadro analitico che supporta il RIM nel:

- Valutare e identificare gli RLC potenzialmente idonei per la chiusura che potrebbero poi essere presentati alla rispettiva autorità di pianificazione per una decisione. Questi RLC possono essere classificati come "non essenziali" e presentare caratteristiche che non dovrebbero avere un peso negativo sostanziale sugli utenti della strada.
- Elaborare e formulare, se del caso, un insieme di interventi tecnici in relazione alla rete di servizi stradali adiacente e ai beni esistenti al fine di consentire il corretto funzionamento di percorsi alternativi – essenzialmente deviazioni – in modo da non sollevare obiezioni da parte dei vicini in merito alla rimozione di RLC.

Il quadro proposto include una procedura di controllo in due parti in cui entrambi i controlli devono rimanere veri allo stesso tempo; ciò include a) un controllo algoritmico relativo alla chiusura del RLC e b) un controllo di accessibilità stradale alternativo (deviazione).

learning-based classification model called XGboost for providing decision support on crossing closure".

"In a fourth approach a risk-based cost-benefit analysis can understand the closure problem from the perspective of resource allocation and safety risk reduction at the same time. This method seems to be more compatible and flexible. However, the tools for evaluating the costs and safety benefit are needed to be developed to support this approach. In a study contacted by SIYUAN QIU [6] a risk-based framework is proposed, including a preliminary screening and a cost-benefit analysis module. This module determines the expected safety benefit, travel time cost, and construction cost that could result from their closure. The safety benefit of closing a given crossing is estimated using a set of collision risk models for collision frequency and collision severity. To estimate the extra travel time cost that road users would experience due to the closure of a crossing, an accessibility analysis tool is created in a ArcMap to calculate the extra travel distance, using the spatial data of road and railway network. Lastly, the life-cycle benefit-cost ratios of all candidate crossings for closure can be calculated and used as a ranking criterion for determining their priority of closure. The application and rationality of the proposed framework are examined through a case study of three provinces in Canada".

The framework proposed in this paper may be considered as a combination of an expert diagnosis and a heuristic rating tool that can be effectively deployed by RIM to help assess RLC closure frugally.

4. A framework for checking RLC closure feasibility

As mentioned above, for closing an RLC whilst not replacing it with a road under/overpass, there should be no irrevocable, adverse impact on the local residents' activities and in particular road users.

In this respect, within this paper it is developed and proposed an analytical framework that supports RIM in:

- *Assessing and identifying RLC's potentially suitable for closure that could be then brought forward for a decision to the respective planning authority. These RLC's may be characterised as 'non-essential' and have features that are not expected to weigh negatively materially on road users.*
- *Shaping and formulating, where relevant, an ensemble of technical interventions in relation to the adjacent road service network and existing assets in order to enable alternative routes – essentially detours – to function adequately so as to waive any objections from nearby neighbours with regards to RLC removal.*

The proposed framework includes a two-part checking procedure where both checks need to stand true at the same time; this includes a) an algorithmic check pertaining to RLC closure, and b) an alternative road (detour) accessibility check.

α) Controllo algoritmico chiusura del RLC

L'algoritmo per consentire ad un RIM di decidere se proporre o meno un RLC per la chiusura è riportato di seguito:

1. Un RLC non è proposto per la chiusura se ci sono ragioni convincenti e speciali per il suo esercizio. Tali ragioni possono essere connesse, ad esempio, ad aspetti della sicurezza nazionale come il mantenimento dell'accesso senza ostacoli a un'installazione militare.
2. Un RLC non sarà proposto per la chiusura nel caso in cui non vi siano motivi speciali per mantenere il suo esercizio (come in 1 sopra), tuttavia il numero di veicoli stradali che attraversano al giorno (ADT) è zero e non si prevede che cambi nel prossimo futuro.
3. Un RLC può essere proposto per la chiusura nel caso in cui non vi siano motivi particolari per mantenere il suo funzionamento (come in 1 sopra) e siano soddisfatte le seguenti condizioni:
 - a. $10 \geq ADT > 0$, dove ADT è il traffico medio giornaliero di veicoli stradali di qualsiasi tipo.
 - b. $S \leq 3$ km, dove S è la distanza, misurata lungo la linea mediana del binario (cfr. Fig. 3) $S=FC$, tra il passaggio a livello della ferrovia in esame e il passaggio su strada più vicino, in entrambi i sensi di marcia, indipendentemente dal fatto che sia a raso con la linea ferroviaria o meno.
 - c. L'RLC più vicino o il sottopasso/cavalcavia stradale possono servire efficacemente il traffico stradale aggiuntivo derivante dal RLC chiuso (sia in termini di volume che di tipo di traffico).
4. Un RLC può essere proposto per la chiusura nel caso in cui non vi siano motivi particolari per mantenere il suo funzionamento (come in 1 sopra) e siano soddisfatte le seguenti condizioni:
 - a. $100 \geq ADT > 10$
 - b. $S \leq 2$ km, dove S è la distanza, misurata lungo la linea mediana del binario (cfr. Fig. 3) $S=FC$, tra il passaggio a livello della ferrovia in esame e l'attraversamento stradale più vicino, in entrambi i sensi di marcia, indipendentemente dal fatto che sia a raso con la linea ferroviaria o meno.
 - c. L'RLC più vicino o il sottopasso/cavalcavia possono servire efficacemente il traffico stradale aggiuntivo derivante dal RLC chiuso (sia in termini di volume che di tipo di traffico).

Note:

- È stato adottato il valore di 2 km per la distanza S previo consenso di otto esperti in materia [8][9]. Per ricavare il valore scelto, si è tenuto debitamente conto del numero medio di RLC per binario - km nell'UE-28, che secondo i dati dell'ERA e di Eurostat [18] è 0,525, corrispondente a 1 RLC per 2 km.
- Il caso di un ADT superiore non viene preso in considerazione nel presente documento. Vale la pena ricordare però che, considerando un numero giornaliero di treni in transito pari a 20 e un ADT pari a 100, l'ADTM

α) RLC closure algorithmic check

The algorithm to enable an RIM to decide whether or not to propose an RLC for closure is shown below:

1. An RLC is not proposed for closure if there are compelling, special reasons for its operation. Such reasons may be related to e.g. aspects of national security such as maintaining unimpeded access to a military installation.
2. An RLC will not be proposed for closure in case there are no special reasons for maintaining its operation (as in 1 above), yet the number of crossing road vehicles daily (ADT) are nil and it is not expected for this to change in the near future.
3. An RLC may be proposed for closure in case there are no special reasons for maintaining its operation (as in 1 above) and the following conditions are satisfied:
 - a. $10 \geq ADT > 0$, where ADT is the average daily traffic of road vehicles of any sort.
 - b. $S \leq 3$ km, where S is the distance, measured along the track centre line (see Fig. 3) $S=FC$, between the railway level crossing under study and the nearest road crossing, in either direction of travel, whether at grade with the railway line or not.
 - c. The nearest RLC or road under/overpass can service effectively the additional road traffic deriving from the closed RLC (both in terms of volume and type of traffic).
4. An RLC may be proposed for closure in case there are no special reasons for maintaining its operation (as in 1 above) and when the following conditions apply:
 - a. $100 \geq ADT > 10$
 - b. $S \leq 2$ km, where S is the distance, measured along the track centre line (see Fig. 3) $S=FC$, between the railway level crossing under study and the nearest road crossing, in either direction of travel, whether at grade with the railway line or not.
 - c. The nearest RLC or road under/overpass can service effectively the additional road traffic deriving from the closed RLC (both in terms of volume and type of traffic).

Notes:

- The value of 2 km for distance S has been adopted following consensus of eight subject matter experts [8][9]. To derive the chosen value, due consideration was paid to the average number of RLC's per track - km in EU-28 which according to ERA and Eurostat [18] data is 0.525 corresponding to 1 RLC per 2 km.
- The case of a higher ADT is not being considered in the present paper. It is worth mentioning though that, considering a number of passing trains daily equal to 20 and an ADT of 100, the ADTM equals 2000. According to the Greek regulation for railway level crossings, this value is considered to be the limit value for not installing active RLC on a line with good visibility [8][9].

è pari a 2000. Secondo la normativa greca per i passaggi a livello ferroviari, questo valore è considerato il valore limite per non installare RLC attivi su una linea con buona visibilità [8][9].

β) Controllo deviazione utente strada

Tale controllo richiede l'identificazione di tutti i percorsi alternativi da parte del RIM (idealmente in collaborazione con le autorità locali) che possono essere utilizzati dagli utenti della strada al momento della chiusura del RLC oggetto di studio. Ciò richiede una convalida obbligatoria in loco e include il calcolo della lunghezza della deviazione S_i ma richiede anche la conferma della fattibilità di tale opzione in relazione agli aspetti funzionali /di livello di servizio, ad esempio la qualità della superficie. Tenuto conto che, per l'ADT basso considerato, le strade di attraversamento sono spesso strade rurali, la verifica del percorso alternativo dovrebbe essere eseguita quando si prevede che le condizioni in loco siano le più sfavorevoli (ad esempio, durante la stagione invernale per la Grecia).

La lunghezza della deviazione è calcolata come la differenza tra la nuova lunghezza della strada che collega gli stessi due punti su ciascun lato del RLC in esame e la rispettiva lunghezza esistente. Si propone che questa lunghezza non sia più lunga di due volte la lunghezza S_{max} (vedi Eq. (1)). È stato adottato un fattore moltiplicatore pari a '2' in seguito al consenso tra otto esperti in materia [8][9].

$$S_i \leq 2 \cdot S_{max} \quad (1)$$

Un esempio di calcolo per la lunghezza di deviazione di un RLC fittizio è illustrato a titolo indicativo nella Fig. 3. Supponendo che la verifica della chiusura del RLC 'F' (punto 'F') sia in corso e che il traffico ferroviario sia convogliato al successivo RLC 'C' (punto 'C'). Nel caso specifico, si ritiene che un utente fittizio della strada inizi il suo viaggio al punto 'A' e termini dall'altra parte dell'RLC 'F', cioè al punto 'E'. Se l'RLC 'F' deve essere chiuso, l'utente della stra-

β) Road user detour / diversion check

This check necessitates identification of all alternative routes by the RIM (ideally in cooperation with local authorities) that may be used by road users upon closure of the RLC under study. This requires an obligatory on-site validation and includes calculating the detour length S_i yet also necessitates confirming feasibility of that option as it relates to functional / service level aspects, e.g. surface quality. Considering that, for the low ADT considered, crossing roads are often rural roads, alternative route verification should be performed when conditions on-site are expected to be the most adverse (e.g. winter time for Greece).

The detour length is calculated as the difference between the new road length connecting the same two points at each side of the RLC under study and the respective existing length. This length is proposed not to be longer than two times the length S_{max} (see Eq. (1)). A multiplying factor equal to '2' has been adopted following consensus between eight subject matter experts [8][9].

$$S_i \leq 2 \cdot S_{max} \quad (1)$$

Fig. 3 illustrates indicatively a calculation example for the detour length of a fictitious RLC. Assuming RLC 'F' (point 'F') is being checked for closure and that railway traffic is channelled to the next RLC 'C' (point 'C'). In this specific case, it is considered that a fictitious road user commences his journey at point 'A' and ends on the other side of RLC 'F', at point 'E' namely. If the RLC 'F' is to be closed, the road user would then still commence his journey at point 'A' and end at point 'E' yet executing route 'ABCDE'.

The detour length is

$$S_i = AB + BC + CD + DE - EF - FA \quad (2)$$

Since $S_i \leq 2 \cdot S_{max}$, the detour check is positive, where $S_{max} = 2 \text{ } \eta \text{ } 3$.

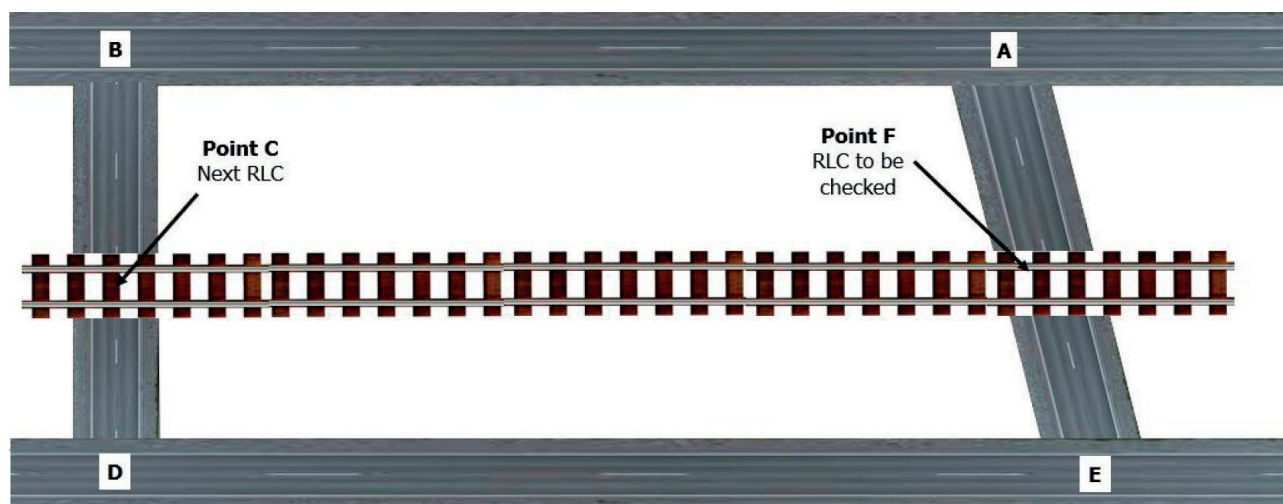


Figura 3 – Controllo della lunghezza della deviazione – Un esempio.
Figure 3 – Checking detour length – An example.

da inizierà comunque il suo viaggio al punto 'A' e terminerà al punto 'E', mentre eseguirà l'itinerario «ABCDE».

La lunghezza della deviazione è

$$S_i = AB + BC + CD + DE - EF - FA \quad (2)$$

Poiché $S_i \leq 2 \cdot S_{\max}$, il controllo della deviazione è positivo, dove $S_{\max} = 2 \cdot \eta \cdot 3$.

Lo stesso processo deve essere applicato per l'RLC adiacente, se presente.

Per garantire che la chiusura di un RLC sia possibile, quando si tratta della lunghezza della deviazione, è sufficiente che uno dei controlli in questo gruppo sia positivo e che la deviazione stessa sia percorribile da tutti i veicoli stradali durante tutto l'anno.

Note:

- Se eventuali asset all'interno del percorso alternativo (ad esempio rete stradale, RLC adiacente, sottopasso /cavalcavia non soddisfacenti i criteri di servizio richiesti per la deviazione per essere percorribile), allora il RIM è costretto a plasmare gli interventi tecnici necessari richiesti per migliorarlo. Nel caso in cui non ci sia una rete di assistenza collaterale, va da sé che, se i proprietari di terreni adiacenti/le parti interessate sono d'accordo, ciò può essere fornito da zero.
- I punti 'A' ed 'E' possono differire a seconda dei casi e delle condizioni specifiche applicabili a ciascun RLC. Potrebbero riferirsi ai punti di partenza-destinazione della maggior parte degli utenti della strada, ma potrebbero anche riferirsi alla media geometrica della distanza tra due RLC consecutivi.

Vale la pena notare che il quadro suggerito dal presente documento non considera la costruzione, l'installazione o le caratteristiche operative di un RLC (come, ad esempio, la visibilità del RLC, l'angolo di attraversamento, l'allineamento stradale orizzontale/incrociante, il numero di binari ferroviari, la cronologia degli incidenti di sicurezza, i sistemi di protezione RLC, il traffico giornaliero medio dei treni, la velocità massima di marcia dei treni, l'illuminazione del RLC o altro) che sebbene siano stati riscontrati nella ricerca come fattori contribuenti, sono stati valutati come non rilevanti per i casi di studio esaminati nel presente documento. Questo è importante per garantire che il processo rimanga diretto, frugale e semplice da usare rispetto ad altri *toolbox* più generici presenti in letteratura.

5. Esempi applicativi

5.1. Valutazione del RLC con conseguente mantenimento dell'attraversamento

Considerando l'RLC passivo situato alla progressiva 24+002 della linea ferroviaria Salonicco-Alessandropoli della rete ferroviaria greca. Questo specifico RLC presenta una protezione attiva che è fuori servizio (Fig. 4 - Attraversamento 1).

A seguito delle più recenti misurazioni del traffico stradale, si applica quanto segue:

The same process needs to be applied for the adjacent, if existing, RLC.

To ensure the closure of an RLC is possible, when it comes to the detour length, it is enough for one of the checks in this group to be positive and the detour itself to be trafficable by all road vehicles throughout the year.

Notes:

- *If any assets within the alternative route (e.g., road network, adjacent RLC, road under/overpass do not meet the service criteria required for the detour to be trafficable), then the RIM is compelled to shape the necessary technical interventions required to improve this. In case there is no side service network, it goes without saying that, if adjacent landowners/stakeholders agree, this may be provided from scratch.*
- *Points 'A' and 'E' may differ per case and depend on the specific conditions applicable to each RLC. They might refer to points of departure-destination of most road users, but, they might also refer to the geometric mean of the distance between two consecutive RLC's.*

It is worth noting that the framework suggested by the current paper does not consider construction, installation or operational characteristics of an RLC (such as, for instance, RLC visibility, crossing angle, horizontal/vertical road alignment, railway tracks' number, safety incident history, RLC protection systems, average daily train traffic, maximum train running speed, RLC lighting or else) which although found in research to be contributing factors, have been assessed as not relevant for the case studies examined herein. This is important in ensuring the process remains straight forward, frugal and simple to use compared to other more generic toolboxes found in the literature.

5. Case examples

5.1. RLC assessment resulting in maintaining the crossing

Considering the passive RLC located at KP 24+002 of the railway line Thessaloniki-Alexandroupolis of the Greek railway network. This specific RLC features active protection that is out of service (Fig. 4 - Crossing 1).

Following the latest road traffic measurements, the following apply:

- $ADTM = 134$.
- *Number of road vehicles passing during the summer period (24 h) = 8.*
- *Number of road vehicles passing during the winter period (24 h) = 17.*
- $ADT = (8 + 17) / 2 \approx 13$.

α) *RLC closure algorithmic check*

Considering the information out of the field surveys, the ADT of the subject RLC 1 is 13 vehicles, that is the condition enumerated previously applies i.e. $100 \geq 13 > 10$. It has been

- ADTM=134.
- Numero di veicoli stradali che transitano durante il periodo estivo (24 ore)=8.
- Numero di veicoli stradali che transitano durante il periodo invernale (24 ore)=17.
- $ADT=(8+17)/2 \approx 13$.

α) Controllo algoritmico chiusura RLC

Considerando le informazioni al di fuori delle indagini sul campo, l'ADT del soggetto RLC 1 è di 13 veicoli, ossia si applica la condizione enumerata in precedenza cioè $100 \geq 13 > 10$. È stato inoltre confermato che non vi sono particolari motivi che vietino la chiusura del soggetto RLC 1.

Di conseguenza, per proporre la chiusura del soggetto RLC 1, almeno una delle seguenti tre condizioni dovrebbe essere vera e certamente la quarta (vedi Tab. 1).



Figura 4 – Immagine del RLC 1.

Figure 4 – Picture of RLC 1.

Tabella 1 – Table 1

Condizioni relative alla chiusura del RLC 1

Conditions pertaining to closure of RLC 1

	Condizioni Conditions	Note Observations	Conclusioni Conclusions
1	$S \leq 3$ km, dove S è la distanza, misurata lungo la linea mediana del binario, tra il passaggio a livello ferroviario in esame e l'attraversamento stradale più vicino <i>$S \leq 3$ km, where S is the distance, measured along the track centre line, between the railway level crossing under study and the nearest road crossing</i>	Il precedente RLC è molto lontano (Progressiva 14+650) <i>The previous RLC is at a great distance afar (KP 14+650)</i>	Non è vero (9,352 > 3) <i>Not true</i> (9,352 > 3)
2	$S \leq 3$ km, dove S è la distanza, misurata lungo la linea mediana del binario, tra il passaggio a livello ferroviario in esame e l'attraversamento stradale più vicino <i>$S \leq 3$ km, where S is the distance, measured along the track centre line, between the railway level crossing under study and the nearest road crossing</i>	Il prossimo RLC (Progressiva 27+764) è a 3,798 km di distanza <i>The next RLC (KP 27+764) is at 3.798 km afar</i>	Non è vero 3.762 > 3 <i>Not true</i> 3.762 > 3
3	$S \leq 3$ km, dove S è la distanza, misurata lungo la linea mediana del binario, tra il passaggio a livello ferroviario in esame e l'attraversamento stradale più vicino <i>$S \leq 3$ km, where S is the distance, measured along the track centre line, between the railway level crossing under study and the nearest road crossing</i>	C'è un sottopasso / cavalcavia a 6 km di distanza (a valle) <i>There is a road under / overpass at 6 km afar (downstream)</i>	Non è vero (6 > 3) <i>Not true</i> (6 > 3)
4	L'RLC più vicino o il sottopasso/cavalcavia possono servire efficacemente il traffico stradale aggiuntivo derivante dal RLC chiuso (sia in termini di volume che di tipo di traffico) <i>The nearest RLC or road under/overpass may service effectively the additional road traffic deriving from the closed RLC (both in terms of volume and type of traffic)</i>	Utilizzando questi sottopassi/cavalcavia esistenti la deviazione è troppo lunga. La rete stradale dopo "Petroto" non è percorribile <i>The detour using these existing under/overpasses is too long. The road network after 'Petroto' is not trafficable</i>	Non è vero <i>Not true</i>

β) Controllo deviazione utente strada

La Fig. 5 illustra la deviazione nel caso di chiusura del RLC 1. Poiché il primo controllo non è riuscito, il controllo della deviazione non è stato eseguito completamente.

Considerando entrambi i controlli, l'RLC 1 deve essere mantenuto.

5.2. Valutazione RLC con conseguente chiusura dell'attraversamento

Considerando l'RLC passivo situato alla progressiva 77+640 della linea ferroviaria Salonico-Florina della rete ferroviaria greca (Fig. 6 - Attraversamento 2).

A seguito delle più recenti misurazioni del traffico stradale, si applica quanto segue:

- $ADTM=447$.
- Numero di veicoli stradali che transitano durante il periodo estivo (24 ore)=115.
- Numero di veicoli stradali che transitano durante il periodo invernale (24 ore)=34.
- $ADT=(115+34)/2\approx 75$.

α) Controllo algoritmico chiusura RLC

Considerando le informazioni fuori dai sondaggi sul campo, l'ADT del soggetto RLC 2 è di 75 veicoli, cioè si applica la condizione enumerata in precedenza $100\geq 75>10$.

È stato inoltre confermato che non vi sono particolari



Figura 5 – Deviazione del RLC 1.
Figure 5 – Detour of RLC 1.

also confirmed that there are no special reasons forbidding the closure of the subject RLC 1.

As a result, to propose the closure of the subject RLC 1, at least one of the following three conditions would need to stand true and definitely the fourth one (see Tab. 1).

β) Road user detour / diversion check

Fig. 5 illustrates the detour in the case of RLC 1 closure. Since the first check failed, the detour check has not been run in full.

Considering both checks, RLC 1 needs to be maintained.

5.2. RLC assessment resulting in closure of the crossing

Considering the passive RLC located at KP 77+640 of the railway line Thessaloniki-Florina of the Greek railway network (Fig. 6 - Crossing 2).

Following the latest road traffic measurements, the following apply:

- $ADTM=447$.
- Number of road vehicles passing during the summer period (24 h)=115.
- Number of road vehicles passing during the winter period (24 h)=34.
- $ADT=(115+34)/2\approx 75$.

α) RLC closure algorithmic check

Considering the information out of the field surveys, the ADT of the subject RLC 2 is 75 vehicles, that is the condi-



Figura 6 – Immagine del RLC 2.
Figure 6 – Picture of RLC 2.

motivi che vietino la chiusura del soggetto RLC 2. Di conseguenza, per proporre la chiusura del soggetto RLC 2 almeno una delle seguenti tre condizioni dovrebbe essere vera e certamente la quarta (vedi Tab. 2).

β) Controllo deviazione utente strada

La Fig. 7 illustra la deviazione nel caso di chiusura del RLC 2.

La lunghezza della deviazione è:

$$S_t = AB + BC + CD + DE - AE = 1031 + 895 + 331 + 1195 - 368 - 259 = 2,825 \text{ m} = 2,825 \text{ km}$$

$$S_t = 2,825 \leq 2 \cdot S_{\max}$$

dove $S_{\max} = 2 \text{ km}$.

tion enumerated previously applies $100 \geq 75 > 10$. It has also been confirmed that there are no special reasons forbidding the closure of the subject RLC 2.

As a result, to propose the closure of the subject RLC 2 at least one of the following three conditions would need to stand true and definitely the fourth one (see Tab. 2).

β) Road user detour / diversion check

Fig. 7 illustrates the detour in the case of RLC 2 closure.

The detour length is:

$$S_t = AB + BC + CD + DE - AE = 1031 + 895 + 331 + 1195 - 368 - 259 = 2825 \text{ m} = 2.825 \text{ km}$$

$$S_t = 2.825 \leq 2 S_{\max}$$

Tabella 2 – Table 2

Condizioni relative alla chiusura del RLC 2
Conditions pertaining to closure of RLC 2

	Condizioni Conditions	Note Observations	Conclusioni Conclusions
1	$S \leq 2 \text{ km}$, dove S è la distanza, misurata lungo la linea mediana del binario, tra il passaggio a livello ferroviario in esame e il passaggio su strada più vicino $S \leq 2 \text{ km}$, where S is the distance, measured along the track centre line, between the railway level crossing under study and the nearest road crossing	Il precedente RLC (Progressiva 75+255) è a 2,385 km di distanza The previous RLC (KP 75+255) is at 2.385 km afar	Non è vero 2,385 > 2 Not true 2.385 > 2
2	$S \leq 2 \text{ km}$, dove S è la distanza, misurata lungo la linea mediana del binario, tra il passaggio a livello ferroviario in esame e l'attraversamento stradale più vicino $S \leq 2 \text{ km}$, where S is the distance, measured along the track centre line, between the railway level crossing under study and the nearest road crossing	Il successivo RLC (Progressiva 78+700) è a 1,060 km di distanza (Fig. 7) The next RLC (KP 78+700) is at 1.060 km afar (Fig. 7)	Vero 1,060 < 2 True 1.060 < 2
3	$S \leq 2 \text{ km}$, dove S è la distanza, misurata lungo la linea mediana del binario, tra il passaggio a livello ferroviario in esame e l'attraversamento stradale più vicino $S \leq 2 \text{ km}$, where S is the distance, measured along the track centre line, between the railway level crossing under study and the nearest road crossing	C'è un cavalcavia in direzione di Salonicco che non è tuttavia collegato con una rete stradale percorribile al punto A (Fig. 7) There is a road overpass in the direction to Thessaloniki which is however not connected with a trafficable road network to point A (Fig. 7)	Non è vero Not true
4	L'RLC più vicino o il sottopasso/cavalcavia possono servire efficacemente il traffico stradale aggiuntivo derivante dal RLC chiuso (sia in termini di volume che di tipo di traffico) The nearest RLC or road under/overpass may service effectively the additional road traffic deriving from the closed RLC (both in terms of volume and type of traffic)	Il prossimo RLC è un RLC attivo e potrebbe supportare efficacemente i suoi utenti stradali, grazie al basso traffico stradale del RLC esistente The next RLC is an active RLC and may, thanks to the low road traffic of the existing RLC support effectively its existing road users	Vero True



Figura 7 – Deviazione del RLC 2.
Figure 7 – Detour of RLC 2.

Considerando entrambe le verifiche, si potrebbe proporre l'RLC 2 per la chiusura.

6. Conclusioni

La chiusura del RLC è diventata un'importante strategia in molti paesi per migliorare la sicurezza della rete ferroviaria nel suo complesso ed è un'area di crescente attenzione per i gestori dell'infrastruttura ferroviaria. Considerando che la chiusura di alcuni attraversamenti si rivela un'iniziativa audace e spesso complessa a causa di questioni principalmente di opposizione locale (almeno per la rete ferroviaria greca, come dimostra l'esperienza degli autori) derivare un approccio su misura a quella che è una questione che può presentare diversi aspetti e variazioni può offrire vantaggi significativi alle autorità ferroviarie nell'affrontare questo problema in modo efficace.

Questa ricerca ha presentato un quadro analitico che consente ai gestori dell'infrastruttura ferroviaria di gestire la sicurezza ai passaggi a livello ferroviari con un traffico giornaliero minimo (≤ 100 veicoli stradali), che sia passivo o attivo; valutare la chiusura dei passaggi a livello ferroviari, se necessaria, in modo semplice, ma conciso e frugale; e, infine, identificare efficacemente la portata degli interventi tecnici e operativi aggiuntivi che potrebbero essere necessari, in prossimità dei passaggi a livello ferroviari considerati per la chiusura.

where $S_{max}=2$ km.

Considering both checks, RLC 2 may be proposed for closure.

6. Conclusions

RLC closure has become an important strategy for improving the safety of the railway network as a whole in many countries and is an area of increasing focus for railway infrastructure managers. Considering that the closure of some crossings proves to be a daring and often complex initiative due to mainly local opposition issues (at least for the Greek railway network, as the authors' experience shows) deriving a tailored approach to what is an issue that may feature several facets and variations may offer significant advantages to railway authorities in tackling this effectively.

This research paper presented an analytical framework allowing railway infrastructure managers to manage safety at railway level crossings with minimal only daily traffic (≤ 100 road vehicles), whether passive or active; assess railway level crossings' closure, where needed, in a simple, yet concise and frugal way; and eventually, effectively identify the full extent of additional technical and operational interventions likely to be needed, in proximity to the railway level crossings considered for closure.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] European Union, Official Journal of the European Union (2014), "*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, 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), "*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, Managing Level Crossings (2010), "*Guide for designers, operators and users*" - Consultation, April.
- [5] E.R. RUSSEL, M.I. MUTABAZI (1998), "*Rail-Highway Grade Crossing Consolidation in Kansas*", Transportation research record 1648, Paper No. 98-0910.
- [6] S. QIU (2022), "*A Risk-Based Decision Support Framework for Railway-Highway Grade Crossing Closures*", thesis for the degree of Master of Applied Science in Civil Engineering, University of Waterloo, Ontario, Canada.
- [7] U.S. Department of Transportation, Federal Railroad Administration, Federal Highway Administration, Highway-Railroad Grade Crossings (1994), "*A Guide To Crossing Consolidation And Closure*", July, Washington D.C., USA.
- [8] Aristotle University of Thessaloniki (2022), "*Provision of supporting services for the development of a safety management system for railway level crossings - Pilot application at railway level crossings of the Greek railway network*", research program, AUTH / OSE, April, Thessaloniki, Greece.
- [9] Hellenic Railway Organization (OSE) (1974), "*Greek regulation for the railway level crossings*", Athens.
- [10] A.R. PREST, R. TURVEY (1966), "*Cost-benefit analysis: a survey*". In *Surveys of economic theory*, pp. 155-207, Palgrave Macmillan, London.
- [11] VAGO - Victorian Auditor (2017), "*General Office Managing the level crossing removal program*", Report, 2017M.
- [12] TRAN-SET (2018), "*Transportation Consortium of South-Central States Research Incentive Programs for Closures of Public and Private Grade Crossings*", Project No. 17PPLSU13, Lead University: Louisiana State University, Final Report.
- [13] J. HEAVISIDES, A. LITTLE (2006), "*Hot topics in controlling risks at level crossings*". Διαθέσιμο: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.558.9059&rep=rep1&type=pdf>.
- [14] M. MORFOULAKI, P. PAPAIOANNOU, C. PYRGIDIS (1994), "*Accident prediction at railway grade crossings: Application to the Greek railway network*", Rail Engineering International, No.4, The Netherlands, pp.9-12
- [15] SAFER-LC (2018), "*Deliverable 1.3- Needs and requirements for improving level crossing safety*". Available at: <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5b8375be7&appId=PPGMS>.
- [16] Indian Railways Country Paper (2015), "*Scale and severity of railway level crossing accident problem in selected countries of the region*". Available at: https://indianrailways.gov.in/railwayboard/uploads/directorate/finance_budget/Budget_2015-16/White_Paper_English.pdf.
- [17] C. DE GRUYTER, G. CURRIE (2016), "*Rail-road impacts: an international synthesis Transport Reviews*", Volume 36, Issue 6, pp 793-815, <https://doi.org/10.1080/01441647.2016.1188429>.
- [18] EUROSTAT-ERA (2014).
- [19] J. LIANG, K. MO KOO, C. LIN LEE (2021), "*Transportation infrastructure improvement and real estate value: impact of level crossing removal project on housing prices*", Transportation 48:2969-3011, <https://doi.org/10.1007/s11116-020-10157-1>, Published online: 2 January 2021.
- [20] FRA (Federal Railroad Administration) (1994), "*Highway-Railroad Grade Crossings: A Guide to Crossing Consolidation and Closure*".
- [21] Florida Department of Transportation (2000), "*Rail Manual*", Topic No. 725-080-002, March.
- [22] G. ČIROVIĆ, D. PAMUČAR (2013), "*Decision support model for prioritizing railway level crossings for safety improvements: Application of the adaptive neuro-fuzzy system*". Expert Systems with Applications, 40(6), pp. 2208-2223.
- [23] S. SOLEIMANI, S.R. MOUSA, J. CODJOE, J.M. LEITNER (2019), "*A comprehensive railroad-highway grade crossing consolidation model: a machine learning approach*". Accident Analysis & Prevention, 128, pp. 65-77.