



Impatto dell'espansione e dell'automazione delle reti metropolitane sulla disponibilità dei macchinisti: un caso di studio nella rete delle West Midlands

The Impact of Metro Expansion and Automation on Driver Resources: A Case Study on the West Midlands Metro Network

Prachiti SHINDE
Marin MARINOV

(<https://www.medra.org/servlet/view?lang=it&doi=10.57597/IF.12.2023.ART.2>)

Sommario - Le reti di trasporto pubblico si stanno espandendo adottando allo stesso tempo l'automazione, rendendo necessario l'esame degli impatti sulle risorse umane come i macchinisti della metropolitana. Questo studio ha analizzato la rete metropolitana delle West Midlands per determinare gli effetti dell'espansione e dell'automazione sulle risorse dei macchinisti. Utilizzando previsioni probabilistiche basate sui dati, sono state valutate le potenziali capacità automatizzate della metropolitana proposta per progettare le tempistiche e analizzare i conseguenti cambiamenti di ruolo per i macchinisti. I risultati indicano che iniziare con l'automazione parziale consente la stabilizzazione dell'infrastruttura prima di passare a sistemi completamente senza macchinista. La sequenza temporale graduata compensa l'adozione della tecnologia e la gestione del cambiamento. Prevedendo le fasi di automazione e visualizzando i ruoli operativi decrescenti, lo studio fornisce approfondimenti attuabili dell'autorità dei trasporti sulle competenze sostenibili in evoluzione e sulle esigenze della forza lavoro in seno all'automazione. Iniziare con l'automazione parziale concede tempo per il supporto della transizione misurata prima dell'esercizio senza macchinista. La ricerca fornisce proiezioni basate sui dati e localizzate per guidare la pianificazione strategica per le implementazioni di automazione della metropolitana e mitigare le interruzioni del lavoro.

1. Introduzione

La rapida integrazione della tecnologia e dell'automazione all'interno del sistema di trasporto metropolitano ha generato una richiesta urgente di esaminare il suo impatto sul personale e migliorare le sue competenze al fine di mitigare le perdite di posti di lavoro e adattarsi alle mutevoli esigenze.

Summary - Public transport networks are expanding while adopting automation, necessitating examination of impacts on human resources like metro drivers. This study analysed the West Midlands Metro Network to determine effects of expansion and automation on driver resources. Using data-driven probabilistic forecasting, potential automated capabilities were evaluated for a proposed metro expansion to project timelines and analyse resultant role changes for drivers. Findings indicate beginning with partial automation enables infrastructure stabilization before progressing to fully driverless systems. The graduated timeline balances technology adoption and change management. By forecasting automation phases and visualizing declining operational roles, the study provides transportation authority's actionable insights on sustainably evolving skills and workforce needs amidst automation. Starting with partial automation allows time for measured transition support before driverless operation. The research contributes data-driven, localized projections to guide strategic planning for metro automation implementations and mitigate labour disruptions.

1. Introduction

The swift integration of technology and automation within the metro transport system has created an urgent demand to look at its impact on staff and enhance their skills in order to mitigate employment losses and adapt to shifting requirements.

1.1 Background

Automated driving systems have gained potential in research studies since they have been considered to be associated with having the ability to possess better safety in driving, increased convenience in travelling, and higher ef-

OSSERVATORIO

1.1 Considerazioni preliminari

I sistemi di conduzione automatizzati hanno acquisito potenziale negli studi di ricerca poiché sono stati considerati associati alla capacità di possedere una migliore sicurezza nella guida, una maggiore comodità nei viaggi e una maggiore efficienza energetica, il che ha anche generato un maggiore interesse dei sistemi nella ricerca. Il progresso nelle tecnologie, tra cui il rilevamento avanzato, il controllo robusto del veicolo, il processo decisionale intelligente, ecc., hanno accelerato lo sviluppo di veicoli dotati di sistemi di guida automatizzati [1].

Contemporaneamente, negli ultimi decenni, la rete metropolitana mondiale si è estesa in modo significativo. Il presente rapporto di UITP [2] rivela che a partire dal giorno conclusivo dell'anno 2020, i sistemi di metropolitana collettiva, di 193 entità, costituivano una base di attività installata di 731 linee, su una lunghezza totale di 17.000 km, e comprendeva quasi 13.000 stazioni. Nel corso del tempo, compresi l'inizio del 2018 e la fine del 2020, una quantità significativa di nuove infrastrutture è stata costruita con successo e messa in servizio, per un totale di circa 3.300 km, con l'obiettivo di produrre profitto economico. Ciò copre la crescita dei sistemi metropolitani in numerosi paesi, tra cui, a titolo esemplificativo ma non esaustivo, Cina, India, Australia, Indonesia, Pakistan e Qatar. L'enfasi in queste nazioni è sull'apertura di nuove linee della metropolitana e sull'espansione di quelle esistenti nelle città metropolitane già consolidate. Secondo le statistiche dei viaggi passeggeri su metropolitana leggera e tram, in Inghilterra vi è stata una notevole impennata nell'uso dei servizi di metropolitana leggera e tram fino a marzo 2022, con un conteggio registrato di 171,5 milioni di viaggi passeggeri [3]. Questa cifra significa un aumento più che doppio rispetto al conteggio dell'anno precedente fino a marzo 2021.

D'altra parte, le tecnologie utilizzate in passato, come i sistemi di biglietteria manuale, i sistemi di segnalazione obsoleti e la gestione energetica inefficiente, hanno avuto un impatto negativo sul settore metropolitano. Il settore ha fatto investimenti in diverse sfaccettature per elaborare strategie per il futuro. Un esempio illustrativo è la situazione a Copenaghen, in Danimarca, che offre la prova che l'implementazione di linee metropolitane automatizzate ha comportato conseguenze favorevoli in relazione al rapporto costo-efficacia, alla gestione della capacità e alla flessibilità operativa [3].

La forza lavoro ha visto gli effetti delle trasformazioni che si verificano all'interno dell'industria metropolitana. Il settore dei trasporti metropolitani sta assistendo a una notevole trasformazione della domanda del mercato del lavoro, in particolare in occupazioni come macchinisti, che dovrebbero subire cambiamenti sostanziali nei prossimi decenni [4]. I macchinisti della metropolitana potrebbero vedere un cambiamento nei loro ruoli o potrebbero anche vederli completamente svanire, mentre i produttori hanno già creato prototipi senza macchinista per l'industria metropolitana che potrebbero essere immessi presto sui binari. L'uso di queste tecnologie potrebbe significare che ci sia un futuro

efficiency in energy, which has also caused systems to have more interest in research. The progress in technologies, including advanced sensing, robust vehicle control, intelligent decision-making, etc., has accelerated the development of vehicles that are equipped with automated driving systems [1].

Simultaneously, over the last several decades, the worldwide metro network has expanded significantly. The present report by UITP [2] reveals that as of the concluding day of the year 2020, the collective metro systems, comprising 193 entities, constituted an installed asset base of 731 lines, which spanned over a total length of 17,000 kilometres and encompassed nearly 13,000 stations. During the timeframe, including the beginning of 2018 and the end of 2020, a significant amount of new infrastructure, totalling roughly 3,300 km, was successfully constructed, and put into service with the aim of producing capital. This covers the growth of metro systems in numerous countries, including but not limited to China, India, Australia, Indonesia, Pakistan, and Qatar. The emphasis in these nations is on the opening of new metro lines as well as the expansion of existing ones in already-established metro cities. As per the statistics of light rail and tram passenger journeys, there was a notable surge in the usage of light rail and tram services in England until March 2022, with a recorded count of 171.5 million passenger journeys [3]. This figure signifies a more than two-fold increase compared to the preceding year's count until March 2021.

On the other hand, outdated technology, such as manual ticketing systems, obsolete signalling systems, and inefficient energy management, have had a negative impact on the metro sector. The sector has made investments in several facets to strategize for the future. An illustrative instance is the situation in Copenhagen, Denmark, which offers substantiation that the implementation of automated metro lines has resulted in favourable consequences in relation to cost-effectiveness, capacity management, and operational flexibility [3].

The workforce has been seeing the effects of the transformations occurring within the metro industry. The metropolitan transport sector is seeing a notable transformation in labour market demand, particularly in occupations such as drivers, which are expected to undergo substantial changes in the next few decades [4]. The metro drivers could see a shift in their roles or could also have their roles completely vanished, while the manufacturers have already been creating driverless prototypes for the metro industry that could be launched on the tracks soon. Use of these technologies could mean that a driverless future lies on the horizon [5]; however, drivers possess unique skills and insights that can complement automated technologies, potentially influencing a collaborative future rather than entirely replacing human roles.

OSSERVATORIO

senza macchinista all'orizzonte [5]; tuttavia, i macchinisti possiedono competenze e conoscenze uniche che possono integrare le tecnologie automatizzate, influenzando potenzialmente un futuro collaborativo piuttosto che sostituire interamente i ruoli umani.

1.2 Motivazione

La motivazione dello studio degli effetti dell'espansione e dell'automazione della metropolitana sulle necessità dei macchinisti all'interno del sistema metropolitano delle West Midlands è radicata nell'idea di "cambiamento". Il fenomeno del cambiamento esercita un'influenza significativa su vari aspetti della nostra società, delle nostre industrie e della nostra esistenza quotidiana. Nel contesto del sistema di trasporto metropolitano, il cambiamento è all'orizzonte a causa del crescente uso della tecnologia e dell'automazione. Tale cambiamento ha la capacità di trasformare il modo in cui viaggiamo, migliorare le misure di sicurezza, aumentare l'efficacia e diminuire le ripercussioni ambientali.

Tuttavia, l'attuazione di questo cambiamento desta preoccupazioni per quanto riguarda la possibile disoccupazione dei macchinisti di metropolitana e la necessità di rispondere alle esigenze in evoluzione. La chiave sta nella necessità di riconoscere queste preoccupazioni e ideare strategie per aumentare le competenze dei macchinisti, assicurando così la loro importanza in questo settore dinamico. Inoltre, è fondamentale riconoscere i possibili effetti dell'adozione di questo cambiamento per prendere decisioni valide in merito alle prospettive del trasporto metropolitano.

1.3 Importanza della ricerca

- Questo argomento affronta il problema pressante di come l'espansione e l'automazione della metropolitana influenzeranno le risorse dei macchinisti. L'argomento ha un'importanza contemporanea poiché vi è una crescente tendenza globale verso l'espansione delle reti metropolitane.
- Questa ricerca offre approfondimenti unici sull'impatto dello sviluppo e dell'automazione della metropolitana sulle risorse dei macchinisti nella rete metropolitana delle West Midlands tramite un'analisi di casi di studio. I risultati di questo studio hanno il potenziale per fungere da risorsa preziosa per altre aree urbane che contemplano espansioni simili.
- È fondamentale comprendere gli effetti dello sviluppo e dell'automazione della metropolitana sulle risorse dei macchinisti per fare scelte ben informate sulla pianificazione del trasporto pubblico e sul processo decisionale. Questa ricerca affronta il divario di conoscenze esistente in questo campo, fornendo quindi preziose informazioni ai responsabili politici per migliorare l'efficacia dei loro processi decisionali.
- Questa ricerca ha il potenziale per portare a miglioramenti nell'allocazione delle risorse all'interno delle reti metropolitane, garantendo così il miglior utilizzo delle

1.2 Motivation

The motivation for investigating the effects of metro expansion and automation on driver demands within the West Midlands metro system is rooted in the idea of "change." The phenomenon of change exerts a significant influence on various aspects of our society, industries, and daily existence. In the context of the metro transport system, change is on the horizon as a result of the growing use of technology and automation. This change possesses the capability to transform the way we travel, enhance safety measures, augment efficacy, and diminish environmental repercussions.

Nevertheless, the implementation of this change raises worries regarding the possible unemployment of metro drivers and the necessity of responding to evolving demands. The key lies in the need to acknowledge these concerns and devise strategies to augment the competencies of drivers, thereby securing their sustained significance in this dynamic sector. Furthermore, recognising the possible effects of adopting this change is crucial in order to make sound decisions regarding the prospects of metro transport.

1.3. Research significance

This topic addresses the pressing issue of how metro expansion and automation will affect driver resources. The topic has contemporary significance since there is a growing global inclination towards the expansion of metro networks.

This research offers unique insights into the impact of metro development and automation on driver resources in the West Midlands Metro Network via a case study analysis. The results of this study have the potential to serve as a valuable resource for other urban areas contemplating comparable expansions.

Understanding the effects of metro development and automation on driver resources is crucial for making well-informed choices about public transportation planning and policymaking. This research addresses the existing knowledge gap in this field, therefore providing valuable insights for policymakers to enhance the effectiveness of their decision-making processes.

This research has the potential to result in enhancements in resource allocation within metro networks, thereby ensuring the best utilisation of human resources while capitalising on technological breakthroughs such as automation.

Examining the effect of metro expansion and automation on driver resources may provide valuable insights into the possible employment consequences for drivers within a sector that is becoming more automated. This analysis enables stakeholders to proactively anticipate and prepare for any necessary modifications or support measures that may be needed.

OSSERVATORIO

risorse umane e capitalizzando al contempo le innovazioni tecnologiche come l'automazione.

- Esaminare l'effetto dell'espansione e dell'automazione della metropolitana sulle risorse dei macchinisti può fornire preziose informazioni sulle possibili conseguenze occupazionali per i macchinisti in un settore che sta diventando più automatizzato. Tale analisi consente alle parti interessate di anticipare e prepararsi in modo proattivo per eventuali modifiche o misure di supporto necessarie.
- Questo argomento di ricerca ha implicazioni pratiche per varie entità coinvolte nei sistemi di trasporto pubblico, tra cui autorità di trasporto, aziende di trasporto, sindacati, pendolari e altre parti interessate. Queste entità possono ottenere preziose informazioni sul potenziale impatto di tali cambiamenti sui loro rispettivi interessi.
- Questa ricerca fornisce un prezioso contributo alle più ampie discussioni accademiche sullo sviluppo sostenibile, sulla gestione efficiente delle risorse, sulle tendenze di adozione della tecnologia e sulle dinamiche della forza lavoro all'interno di settori in evoluzione come i trasporti attraverso un'indagine approfondita sull'esperienza della rete metropolitana delle West Midlands con l'espansione e l'automazione.

2. Rassegna della letteratura

La crescita delle reti di trasporto ferroviario urbano e l'uso della tecnologia di automazione sono due fattori cruciali che incidono sull'esercizio della metropolitana in tutto il mondo. Questa rassegna della letteratura esamina studi significativi su questi temi ed in particolare le loro implicazioni per i macchinisti. Il documento riassume la ricerca relativa all'espansione della metropolitana, alle tecniche di implementazione dell'automazione, alle conseguenze per i ruoli lavorativi e ai collegamenti tra fattori di crescita e avanzamento tecnologico. Si notano lacune nel collegare le idee di ricerca a situazioni localizzate e nell'utilizzare approcci quantitativi. Il riesame stabilisce le basi per la successiva metodologia da utilizzare.

2.1 Motivo dell'espansione della metropolitana di West Midlands

Secondo WEERAWAT *et al.* [6], l'espansione della metropolitana di West Midlands si basava su un aumento della connettività delle località. La presenza di ferrovie che non sono attualmente in uso in questa zona ha causato un aumento della necessità di espansione nella metropolitana di West Midlands. La crescita demografica in questa regione ha causato lo sviluppo del piano di espansione della rete metropolitana. L'aumento della popolazione rende necessario l'aumento della connettività ferroviaria, giustificando così il piano di espansione. L'accelerazione dell'urbanizzazione in tutto il mondo, secondo LI *et al.* [7], ha contribuito alla continua crescita della popolazione urbana e ha portato ad un aumento del numero di veicoli privati, che ha causato molta più congestione del traffico nelle città metropolitane globali. A livel-

This research topic holds practical implications for various entities involved in public transportation systems, including transportation authorities, transit operators, labour unions, commuters, and other stakeholders. These entities stand to gain valuable insights into the potential impact of these changes on their respective interests.

This research makes a valuable contribution to broader academic discussions surrounding sustainable development, efficient resource management, technology adoption trends, and workforce dynamics within evolving industries such as transport through an in-depth investigation of the West Midlands Metro Network's experience with expansion and automation.

2. Literature review

The growth of urban rail transportation networks and the use of automation technology are two crucial factors impacting metro operations across the world. This review of the literature looks at significant studies on these themes and their implications for train drivers in particular. The paper summarises research regarding metro expansion, automation deployment techniques, consequences for labour roles, and linkages between both growth and technological advancement factors. Gaps in linking research ideas to localised situations and using quantitative approaches are noted. The review establishes the foundation for the subsequent methodology to be used.

2.1. Reason for the Expansion of the West Midlands Metro

*According to WEERAWAT *et al.* [6], the expansion of the West Midlands Metro was based on an increase in the connectivity of the locations. The presence of railway tracks that are not in use currently at this location has caused there to be an increase in the need for expansion in the West Midlands Metro. The growth in demographics in this region has caused the development of the metro network's expansion plan. The increase in population makes the increase in railway connectivity necessary, thus justifying the expansion plan. The acceleration in urbanisation around the globe, according to LI *et al.* [7], has helped with continuous growth in the urban population, and it has led to an increase in the number of private vehicles, which has caused there to be much more traffic congestion in the global metropolitan cities. Globally, urban rail transit has been considered a form of public transportation that is efficient and helps reduce congestion in metropolises. In this case, the rapid growth in urbanisation and population has caused an increase in the need for expansion. Public transportation in the urban context has the ability to decrease dependence on automobiles, addressing different urban issues, including air pollution, traffic congestion, greenhouse gases, etc., [8]. This kind of*

OSSERVATORIO

lo globale, il trasporto ferroviario urbano è stato considerato una forma di trasporto pubblico efficiente che aiuta a ridurre la congestione nelle metropoli. In questo caso, la rapida crescita dell'urbanizzazione e della popolazione ha causato un aumento della necessità di espansione. Il trasporto pubblico nel contesto urbano ha la capacità di diminuire la dipendenza dalle automobili, affrontando diverse questioni urbane, tra cui l'inquinamento atmosferico, la congestione del traffico, i gas serra, ecc. [8]. Questo tipo di accessibilità al trasporto è fornito dall'espansione della rete ferroviaria.

2.2. Piano di espansione

La metropolitana di West Midlands prevede un'espansione notevole, collegando le località chiave e soddisfacendo le crescenti esigenze di trasporto della Regione. Come base per questa discussione, i lettori sono incoraggiati a esplorare la valutazione completa dell'impatto socioeconomico condotta da GUALTIERI e MARINOV nel 2020 [9]. Il loro lavoro, *"The Metro Network Extension in the West Midlands: A Socio-economic Impact Assessment"* (L'espansione della rete metropolitana nelle Midlands occidentali: Valutazione dell'impatto socioeconomico), fornisce approfondimenti sull'estensione delle linee e delle reti nel loro complesso, offrendo un esame dettagliato delle implicazioni socio-economiche dell'espansione della rete metropolitana.

Sulla base di questo studio precedente, ci focalizziamo sui dettagli specifici del piano di espansione per la metropolitana delle West Midlands. La metropolitana West Midlands servirà oltre 80 fermate di tram, più di 20 interscambi di trasporto e collegherà Wolverhampton, Birmingham, Dudley, Brierley Hill, Digbeth, North Solihull, l'aeroporto di Birmingham, il NEC e HS2 [10]. In Fig. 1 è mostrata la mappa di espansione pianificata della metropolitana West Midlands.

2.3. Fattori di prontezza dell'automazione per le espansioni della metropolitana

I diversi studi hanno valutato i fattori di prontezza che possono determinare le tempistiche appropriate per l'implementazione dell'automazione nei sistemi metropolitani. Ciò fornisce una prospettiva sulla preparazione delle espansioni previste della metropolitana di West Midlands.

Le nuove linee della metropolitana progettate preventivamente in automazione dall'inizio hanno meno barriere di integrazione rispetto al "retrofit" dei sistemi più vecchi [11]. Tuttavia, anche le nuove infrastrutture richiedono il miglioramento della potenza, dei segnali e del materiale rotabile per l'automazione [12]. Ciò indica che le estensioni delle West Midlands avrebbero bisogno di miglioramenti graduali nonostante la loro natura "greenfield".

Le reti metropolitane piccole e automatizzate possono raggiungere tempi di transizione più rapidi rispetto ai sistemi complessi più grandi [13]. Le espansioni complessive di West Midlands di circa 34 km rientrano nella fascia media, suggerendo un ritmo di implementazione graduale.

transportation accessibility is provided by the expansion of the rail network.

2.2 Expansion plan

The West Midlands Metro envisions a substantial expansion, connecting key locations and serving the growing transportation needs of the region. As a foundation for this discussion, readers are encouraged to explore the comprehensive socio-economic impact assessment conducted by Gualtieri and Marinov in 2020 [9]. Their work, 'The Metro Network Extension in the West Midlands: A Socio-economic Impact Assessment,' provides in-depth insights into the extension of lines and networks as a whole, offering a detailed examination of the socio-economic implications of the metro network expansion.

Building on this prior study, we will now focus on the specific details of the expansion plan for the West Midlands Metro. The West Midlands Metro will serve over 80 tram stops, more than 20 transport interchanges, and link Wolverhampton, Birmingham, Dudley, Brierley Hill, Digbeth, North Solihull, Birmingham Airport, the NEC, and HS2 [10]. Fig. 1 shows the planned expansion map of West Midlands Metro.

2.3 Automation readiness factors for metro expansions

The Several studies have evaluated readiness factors that can determine appropriate timelines for implementing automation in metro systems. This provides perspective on the preparedness of the planned West Midlands metro expansions.

New metro lines designed with automation in mind from inception have fewer integration barriers versus retrofitting older systems [11]. However, even new infrastructure requires upgrading power, signals, and rolling stock for automation [12]. This indicates the West Midlands extensions would need phased enhancements despite their "greenfield" nature.

Small, automated metro networks can achieve faster transition times compared to larger complex systems [13]. The overall approximately 34km West Midlands expansions fall in the mid-range, suggesting a graduated implementation pace.

2.4 Levels of automation

Several functions within the sphere of train operations might potentially be automated, resulting in separate duties being assigned to workers in each situation. UITP provides the standard definition of Grades of Automation (GoA). Tab. 1 depicts a full overview of the many levels, which are classified based on four unique criteria: setting

OSSERVATORIO

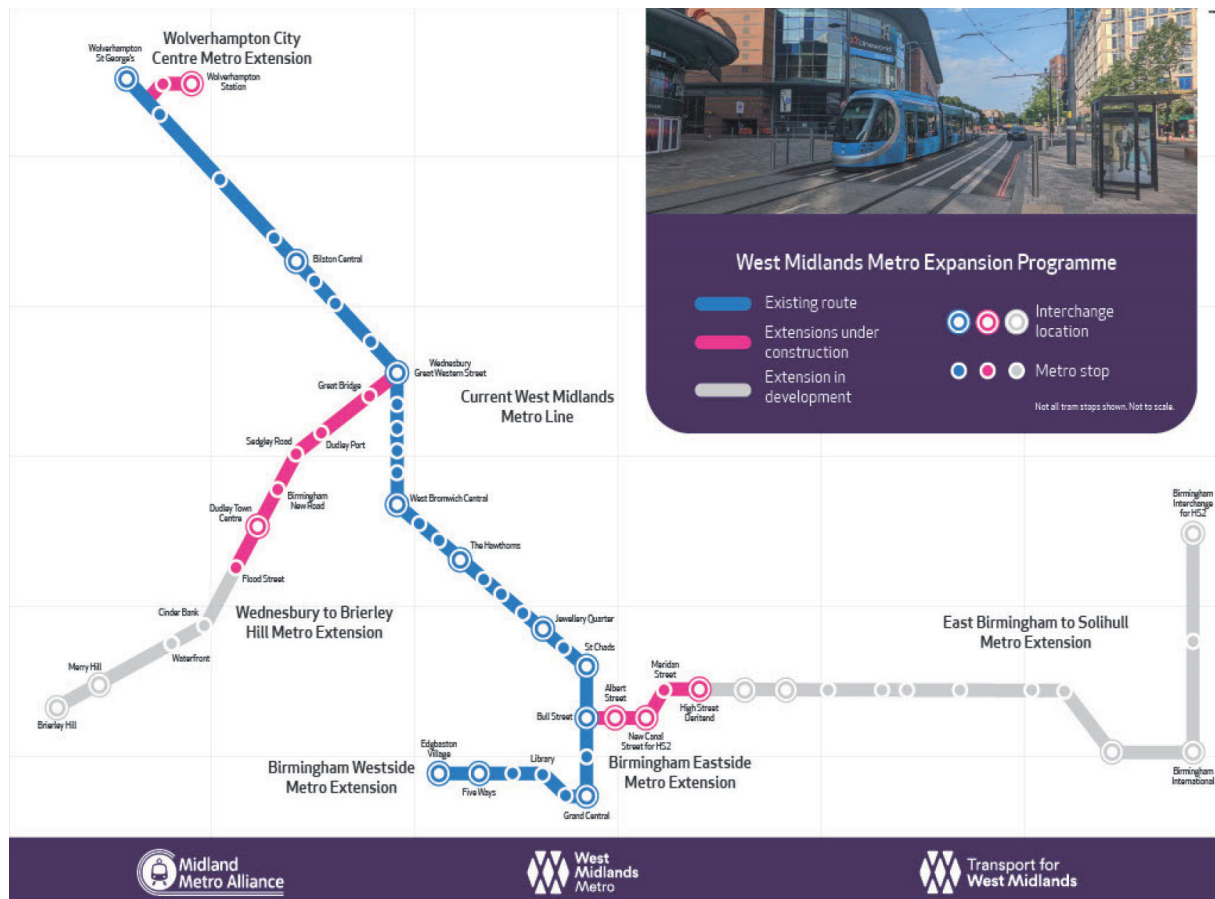


Figura 1 – Mappa di espansione Segnalato dalla Metro di West Midlands [10].

Figure 1 – Expansion map Referred from West Midlands Metro [10].

2.4. Livelli di automazione

Diverse funzioni nell'ambito delle operazioni ferroviarie potrebbero potenzialmente essere automatizzate, con conseguente assegnazione di compiti separati ai lavoratori in ciascuna situazione. UITP fornisce la definizione standard di Gradi di Automazione (GoA). La Tab. 1 illustra una panoramica completa dei molti livelli, che sono classificati in base a quattro criteri unici: messa in movimento di un treno, arresto di un treno, chiusura delle porte ed esercizio in caso di interruzione.

Il macchinista controlla tutte le operazioni del veicolo in Grado 0 (GoA 0), che è una procedura che risale alla storia ferroviaria. Questa strategia, tuttavia, non è più comune negli attuali sistemi metropolitani. Entrambi i gradi di automazione 1 (GoA 1) e 2 (GoA 2) richiedono la presenza di un macchinista sul treno, nonché una quantità specifica di capacità di protezione automatica del treno (ATP). La protezione automatica del treno (ATP) è una funzione di sicurezza che riduce la probabilità di collisione. Funziona attivando immediatamente il meccanismo di frenatura se il treno

a train in motion, stopping a train, door closure, and operation in the event of disruption.

The driver controls all vehicle operations in Grade 0 (GoA 0), which is a procedure that dates back to railway history. This strategy, however, is no longer common in current metro systems. Both Grades of Automation 1 (GoA 1) and 2 (GoA 2) require the presence of a driver on the train, as well as a specific amount of automated train protection (ATP) capabilities. Automatic Train Protection (ATP) is a safety feature that reduces the likelihood of a collision. It works by immediately deploying the brake mechanism if the train runs a red light or exceeds the specified speed limit. In GoA1, the train driver in the cabin has the responsibility for the entire train ride, including any adjustments to the speed, and an automated system is fitted for tracking compliance with the speed limits for the train. Furthermore, GoA 2 has automated train operation (ATO) to control train movement during normal operations. Automation levels 3 (GoA 3) and 4 (GoA 4) refer to the adoption of driverless or unattended

OSSERVATORIO

passa con una luce rossa o supera il limite di velocità specificato. In GoA1, il macchinista in cabina ha la responsabilità dell'intera corsa del treno, comprese eventuali regolazioni della velocità, ed è dotato di un sistema automatizzato per il monitoraggio del rispetto dei limiti di velocità per il treno. Inoltre, il GoA 2 ha il funzionamento automatico del treno (ATO) per controllare il movimento del treno durante il normale esercizio. I livelli di automazione 3 (GoA 3) e 4 (GoA 4) si riferiscono all'adozione di operazioni di treno senza macchinista o incustodito che non richiedono la presenza di un macchinista a bordo. Le funzioni di protezione automatica del treno (ATP) e di funzionamento autonomo del treno (ATO), invece, rimangono componenti critiche del sistema. La terza versione del sistema GoA presenta un assistente di bordo che supervisiona il controllo delle operazioni delle porte, offrendo assistenza ai passeggeri e assumendo il controllo del treno in caso di guasto delle apparecchiature. Il funzionamento di un treno è totalmente automatizzato nel contesto del GoA 4, poiché tutte e quattro le condizioni indicate nella Tab. 1 possono essere soddisfatte senza la necessità di presenza umana sul treno. I treni sono monitorati e gestiti in modo efficiente dal personale situato in un centro di controllo remoto. Queste tecnologie sono utilizzate principalmente per le metropolitane. Sebbene ciò abbia ridotto

train operations that do not require the presence of an on-board driver. The automated train protection (ATP) and autonomous train operation (ATO) functions, on the other hand, remain critical components of the system. The third version of the GoA system features an on-board attendant who oversees controlling door operations, offering passenger assistance, and assuming control of the train in the case of equipment failure. The operation of a train is totally automated in the context of GoA 4, since all four conditions indicated in Table 1 may be met without the need for human presence on the train. The trains are efficiently monitored and managed by the staff situated in a remote-control centre. These technologies are used mainly for metros. Although this has diminished workload, it has been found that the increase in automation can cause failure performance to also decrease, thus increasing reaction times when unexpected critical information is provided [15].

2.5. Interactions between Automation and Driver Resources

Drivers represent the largest and most effective blue-collar occupation that is aimed at obsolescence with the in-

Tabella 1 – Table 1

Gradi di automazione dei treni riferiti da POWELL et al. [14]
Grades of train automation referred from POWELL et al. [14]

Grado di automazione (GoA) Grade of Automation (GoA)	Tipo di esercizio del treno Type of train operation	Messa in movimento di un treno Setting train in motion	Arresto del treno Stopping train	Chiusura porte Door closure	Esercizio in caso di interruzione Operation in event of disruption	Esempio Example
GoA 0	Macchinista senza ATP Driver without ATP	Macchinista Driver	Macchinista Driver	Macchinista Driver	Macchinista Driver	Tram stradali On-street trams
GoA 1	Macchinista con ATP Driver without ATP	Macchinista Driver	Macchinista Driver	Macchinista Driver	Macchinista Driver	Metro Tyne and Wear Tyne and Wear Metro
GoA 2	ATP e ATO con macchinista ATP and ATO with driver	Automatico Automatic	Automatico Automatic	Macchinista Driver	Macchinista Driver	Linea 3 della metropolitana di Parigi Paris Metro Line 3
GoA 3	DTO	Automatico Automatic	Automatico Automatic	Addetto al treno Train attendant	Addetto al treno Train attendant	Ferrovia leggera Docklands Docklands Light Railway
GoA 4	UTO	Automatico Automatic	Automatico Automatic	Automatico Train attendant	Automatico Train attendant	Metropolitana di DuBai Dubai Metro

OSSERVATORIO

il carico di lavoro, è stato scoperto che l'aumento dell'automazione può anche ridurre le prestazioni relative ai guasti, aumentando così i tempi di reazione quando vengono fornite informazioni critiche inaspettate [15].

2.5. Interazioni tra automazione e risorse macchinista

I macchinisti rappresentano la più grande ed efficace occupazione di operai finalizzata all'obsolescenza con l'aumento dell'automazione. La creazione di treni senza macchinista ha fatto sì che molte delle loro azioni diventassero meno necessarie nella metropolitana. Ciò ha implicato la necessità di miglioramento delle competenze e la riqualificazione in modo che le lacune di competenze possano essere affrontate per quanto riguarda l'adozione di nuove tecnologie e lo sviluppo di competenze digitali, insieme all'accettazione tecnologica [16].

Secondo la definizione precisa fornita dal dizionario di Cambridge, per "reskilling" si intende "il processo di apprendimento di nuove competenze in modo da poter fare un lavoro diverso, o di formazione delle persone per fare un lavoro diverso". Quando si discute il concetto di "miglioramento delle competenze", si fa riferimento al "processo di apprendimento di nuove competenze o di insegnamento ai lavoratori di nuove competenze". Secondo Li [17], vi è la necessità di riqualificare e migliorare le competenze della forza lavoro in modo che si possa abituare alle tecnologie 4.0 dell'Industria. Gli individui e le aziende richiedono un impegno efficace per la riqualificazione e il miglioramento delle competenze in modo che lo sviluppo della carriera possa essere possibile.

L'automazione ferroviaria ha cambiato il modo in cui il personale del settore ferroviario può contribuire alle prestazioni complessive del sistema e ai livelli di sicurezza: possono essere influenzate le prestazioni dei macchinisti, il loro carico di lavoro, i loro livelli di affaticamento, la quantità di attenzione e la loro consapevolezza della situazione [15].

Tuttavia, secondo KARVONEN *et al.* [18], i macchinisti non solo gestiscono il treno sul binario e le porte del treno nelle stazioni, ma contribuiscono anche ad altre funzioni nascoste ma essenziali nel sistema ferroviario metropolitano. Ad esempio, i macchinisti devono prevedere, fare osservazioni, fare interpretazioni e fornire risposte adeguate ai segnali ambientali. Ci sono spesso situazioni non pianificate che richiedono ai macchinisti di salire a bordo delle carrozze. Ciò include l'uso non autorizzato della maniglia di emergenza, ovvero quando il macchinista deve controllare il treno e ripristinare la maniglia di emergenza. Ci possono essere anche problemi tecnici alle porte quando il macchinista deve contattare il gruppo di manutenzione e riparare la porta. Inoltre, quando vi sono persone non autorizzate presenti sul binario, il macchinista è tenuto a contattare il gruppo di manutenzione o il controllo del traffico. Si tratta di operazioni difficili da eseguire nel caso di un sistema metropolitano senza macchinista. Pertanto, le tecnologie non possono sostituire completamente i macchinisti in tutte le occasioni, ad esempio, per quanto riguarda il macchinista che

crease in automation. The creation of driverless trains has caused many of their actions to become less necessary in metro rail. This has implied the need for upskilling and reskilling so that the skill gaps can be addressed regarding the adoption of new technologies and the development of digital skills, along with technological acceptance [16].

According to the precise definition provided by the Cambridge dictionary, "reskilling" refers to "the process of learning new skills so you can do a different job, or of training people to do a different job". When discussing the concept of "Upskilling," it refers to "the process of learning new skills or of teaching workers new skills". According to Li [17], there is a need for reskilling and upskilling the workforce so that they can be acclimatised to Industry 4.0 technologies. Individuals and companies require an effective commitment to reskilling and upskilling so that career development can be possible.

Railway automation has changed the ways in which staff members of the rail industry can make contributions to the overall performance of the system and safety levels. They can affect the performance of the train drivers, their workload, their fatigue levels, their attention allocation, and their awareness regarding the situation [15].

*However, according to KARVONEN *et al.* [18], the drivers do not just operate the train on the track and the doors of the train at the stations but also contribute to other hidden but essential functions in the metro rail system. For instance, the drivers need to predict, make observations, make interpretations, and provide adequate responses to environmental cues. There are often unplanned situations that require the train drivers to board the metro system. This includes the unauthorised use of the emergency handle, which is when the driver has to check the train and reset the emergency handle. There can also be technical door issues when the train driver is required to contact the maintenance group and fix the door. Also, unauthorised people are present on the track this is when the driver is required to contact the maintenance group or traffic control. These are difficult operations to perform in the case of a driverless metro system. Thus, technologies cannot completely replace the drivers on all occasions, for instance, regarding the driver managing passengers, responding to any orders that are given by the train dispatcher, and so on, which cannot be taken up by the technology [19]. Also, there are other links of interaction with the other actors present within the metro system. These need to be considered before a fully automated metro system is adopted, since a lack of importance could cause the quality of service to be affected and could lead to safety problems. Driverless train operations could cause challenges in positions like the detection and management of emergencies. The driver may also need to perform physical activities in particular situations, like organised evacuation during accidents, which may require the driver's reflexes and physical prowess [19].*

Thus, while some articles believe that drivers' roles are becoming obsolete in the face of the emergence of automa-

OSSERVATORIO

gestisce i passeggeri, risponde a qualsiasi ordine dato dal controllore del treno e così via, che non può essere assorbito dalla tecnologia [19]. Inoltre, ci sono altri legami di interazione con gli altri attori presenti all'interno del sistema metropolitano. Questi devono essere considerati prima di adottare un sistema completamente automatizzato, poiché una mancanza di importanza potrebbe influire sulla qualità del servizio e potrebbe portare a problemi di sicurezza. Le operazioni di treno senza macchinista potrebbero causare difficoltà in posizioni come il rilevamento e la gestione delle emergenze. Il macchinista può anche aver bisogno di svolgere attività fisiche in situazioni particolari, come l'evacuazione organizzata durante gli incidenti, che possono richiedere i riflessi e le abilità fisiche del macchinista [19].

Pertanto, mentre alcuni articoli ritengono che i ruoli dei macchinisti stiano diventando obsoleti di fronte all'emergere delle tecnologie di automazione, altri articoli pongono un problema in questo senso, contraddicendo le azioni essenziali che richiedono i macchinisti.

2.6. Divario di letteratura

Sebbene siano state condotte ricerche significative, che esaminano l'impatto dell'automazione sui ruoli dei macchinisti, la letteratura offre informazioni limitate specifiche per i macchinisti all'interno delle reti metropolitane in espansione. Ogni linea della metropolitana ha caratteristiche uniche in termini di configurazione della rete, dinamiche operative, modelli di utenza, ecc. Pertanto, l'impatto dell'automazione e dell'espansione varierà tra i diversi sistemi metropolitani, insieme alle loro implicazioni per i macchinisti. La maggior parte degli studi esistenti fornisce prospettive generalizzate [4][10][13][14] senza analizzare gli impatti all'interno di scenari realistici e localizzati. Considerando la rapida crescita delle infrastrutture metropolitane globali e l'accelerazione dell'adozione delle tecnologie dei treni senza macchinista, la comprensione degli impatti sulla forza lavoro dei trasporti per specifiche reti metropolitane è sempre più incalzante.

Inoltre, i lavori esistenti tendono ad essere concettuali o basati su sondaggi senza utilizzare approcci di modellazione quantitativa e previsione per la tempistica dell'automazione del progetto e le successive modifiche alle esigenze dei macchinisti, caso per caso. Le generalizzazioni non possono sostituire l'analisi degli impatti all'interno di scenari realistici e localizzati.

Gli studi di solito osservano anche l'automazione o le espansioni singolarmente, senza guardare come cambiano le cose quando lavorano insieme. Un modo per farlo è esaminare contemporaneamente sia i piani di espansione che le "roadmap" di implementazione dell'automazione graduale.

Questa ricerca colmerà le lacune eseguendo un caso di studio dettagliato delle possibili espansioni della rete per la metropolitana delle West Midlands, insieme a previsioni accurate di come l'automazione verrà aggiunta in più fasi. I risultati cercano di fornire approfondimenti pratici sui cam-

tion technologies, other articles pose an issue in this respect, contradicting the essential actions that require train drivers.

2.6. Literature gap

While significant research has been conducted examining the impact of automation on driver roles, the literature offers limited insights specific to drivers within expanding metro networks. Each metro line has unique characteristics in terms of network configuration, operational dynamics, ridership patterns, etc. Therefore, the impact of automation and expansion will vary across different metro systems, along with their implications for drivers. Most existing studies provide generalised perspectives [4][10][13][14] without analysing impacts within realistic, localised scenarios. Considering the brisk growth of global metro infrastructure and the hastening pace of adoption of driverless train technologies, understanding the impacts on transportation labour forces for specific metro networks is increasingly pressing.

Additionally, existing works tend to be conceptual or survey-based without utilising quantitative modelling and forecasting approaches to project automation's timeline and subsequent changes to driver needs on a case-by-case basis. Generalisations cannot substitute for analysing impacts within realistic, localised scenarios.

Studies also usually look at either automation or expansions on their own, without looking at how they change things when they work together. One way to do this is to look at both expansion plans and gradual automation implementation roadmaps at the same time.

This research will fill in the gaps by doing a detailed case study of possible network expansions for the West Midlands Metro, along with accurate predictions of how automation will be added in stages. Outcomes seek to provide practical insights into changes facing drivers and also inform the timeline to implement supportive transition management. The research questions cut across broader studies by focusing on an explicitly defined localised context and employing mixed analytical methods.

3. Methodology

The methodology employed in this paper to achieve its objectives will be outlined in this section. In order to better understand the future of the metro system and its impact on drivers, a comprehensive analysis is being conducted. This analysis focuses on two main objectives: analysing possible expansion and examining how the evolving work profiles of drivers are influenced by the expansion and automation of the network. By delving into these areas, valuable insights can be gained to inform decision-making and ensure the smooth transition into a

OSSERVATORIO

biamenti che devono affrontare i macchinisti e dare anche la tempistica per implementare una gestione di supporto della transizione. Le domande di ricerca attraversano studi più ampi concentrandosi su un contesto localizzato definito esplicitamente e utilizzando metodi analitici misti.

3. Metodologia

La metodologia utilizzata in questo lavoro, per raggiungere i suoi obiettivi, sarà delineata in questa sezione. È in corso un'analisi completa al fine di comprendere meglio il futuro del sistema metropolitano e il suo impatto sui macchinisti. Questa analisi si concentra su due obiettivi principali: analizzare la possibile espansione ed esaminare come i profili di lavoro in evoluzione dei macchinisti siano influenzati dall'espansione e dall'automazione della rete. Approfondendo queste aree, è possibile ottenere preziose conoscenze per informare il processo decisionale e garantire la transizione graduale verso un sistema metropolitano più avanzato ed efficiente. Questa sezione approfondisce un'analisi di come la metodologia scelta si allinea con gli argomenti di ricerca. L'obiettivo è quello di acquisire preziose informazioni sul dinamico settore dei trasporti.

3.1. Struttura

Lo studio è stato condotto in due fasi per analizzare l'impatto dell'espansione e dell'automazione sui macchinisti del sistema metropolitano delle West Midlands.

La fase 1 ha comportato la conduzione di una revisione completa della letteratura, per verificare le potenziali strategie di espansione della linea della metropolitana West Midlands. La revisione mirava a ottenere informazioni sui fattori che guidano la crescita, sulle potenziali strategie di sviluppo e sulla valutazione degli impatti di estensione.

La fase 2 ha lo scopo di:

- prevedere le tempistiche per il raggiungimento di vari livelli di automazione sulla linea della metropolitana che si estende utilizzando una metodologia di previsione basata sui dati,
- osservare gli effetti dell'automazione sui ruoli dei macchinisti per ciascun livello di automazione,
- determinare quando i macchinisti avranno bisogno di riqualificazione o transizioni di ruolo in base alla tempistica prevista.

È stata utilizzata una metodologia di previsione basata su dati reali da proiettare su un lasso di tempo probabilistico con il fine di raggiungere gradi di automazione nello scenario metropolitano in evoluzione delle West Midlands nei prossimi anni. Poiché mancavano dati storici o informazioni sulle tendenze per questa applicazione emergente, è stato impiegato un approccio alternativo che utilizza i dati attuali disponibili per generare previsioni in situazioni prive di tendenze storiche.

more advanced and efficient metro system. This section delves into an analysis of how the chosen methodology aligns with the research topics. The objective is to gain valuable insights into the dynamic transport sector.

3.1. Framework

The study was conducted in two phases to investigate the impact of expansion and automation on drivers in the West Midlands metro system.

Phase 1 involved conducting a comprehensive literature review to analyse potential extension strategies for the West Midlands metro line. The review aimed to gain insights into factors driving growth, potential development strategies, and the evaluation of extension impacts.

Phase 2 aims to:

- *Forecast timelines for achieving various levels of automation on the extending metro line using a data-driven forecasting methodology.*
- *Observe the effects of automation on drivers' roles for each automation level.*
- *Determine when drivers will need upskilling or role transitions based on the forecasted timeline.*

A data-driven forecasting methodology was used to project a probabilistic timeframe for attaining degrees of automation in the evolving West Midlands metro scenario over the coming years. Since historical data or trend information was lacking for this emerging application, an alternative approach known as data-driven forecasting was employed. This approach utilises available current data to generate forecasts in situations lacking historical trends.

3.2 Projection of timeframe

The methodology employed involves analysing previous case studies of metro networks that have successfully implemented automation in order to project a probabilistic timeframe for the West Midlands metro extension's achievement of various levels of automation. The methodology entails conducting a comprehensive review of research literature and industry reports that provide detailed information on the timelines and processes associated with the adoption of automation in metro systems worldwide.

The case studies are thoroughly examined based on a range of factors, such as:

- *Automation level implemented (GoA Levels 1-4),*
- *The time period allocated for the planning and installation process,*
- *Metro Network Scale,*
- *Technological difficulties encountered,*
- *Implementation expenses*

To conduct a comprehensive analysis of implementation factors, a selection of metro lines that have under-

OSSERVATORIO

3.2. Proiezione dei tempi

La metodologia utilizzata prevede l'analisi di precedenti casi di studio di reti metropolitane che hanno implementato con successo l'automazione al fine di proiettare un lasso di tempo probabilistico per il raggiungimento di vari livelli di automazione da parte dell'espansione della metropolitana delle West Midlands. La metodologia prevede la conduzione di una revisione completa della letteratura di ricerca e dei rapporti di settore che forniscono informazioni dettagliate sulle tempistiche e sui processi associati all'adozione dell'automazione nei sistemi metropolitani di tutto il mondo.

I casi di studio sono accuratamente esaminati sulla base di una serie di fattori, quali:

- il livello di automazione implementato (livelli GoA 1-4);
- il periodo di tempo assegnato per il processo di pianificazione e installazione;
- la scala della rete metropolitana;
- le difficoltà tecnologiche riscontrate;
- le spese di implementazione.

Per condurre un'analisi completa dei fattori di implementazione, viene esaminata in modo più dettagliato una selezione di linee metropolitane che sono state sottoposte a recente automazione. Le linee della metropolitana scelte per questo studio includono la linea nord-est di Singapore, la linea rossa di Dubai e la linea Batong di Pechino. I loro tempi "combinati" forniranno informazioni per un modello di proiezione utilizzato nell'espansione di West Midlands.

Caso di studio: linea della metropolitana di Singapore

La linea Nord-Est di Singapore è stata inaugurata nel 2003 con l'automazione GoA2, che consentiva il controllo automatico dei treni ma richiedeva ancora dei capitani a bordo [20]. Nel 2017, il processo ha iniziato la transizione della linea all'esercizio completo senza macchinista GoA4, che è stato completato nel 2022 [20]. Questo aggiornamento ha richiesto circa 5 anni dalla pianificazione alla piena attuazione ed è costato circa 25 milioni di SGD (circa 17 milioni di euro) [21]. Essendo una delle linee più antiche di Singapore con 20 km e 16 stazioni, le sfide tecniche comprendevano l'ammodernamento delle apparecchiature esistenti.

Caso di studio: linea della metropolitana di Dubai

La Linea Rossa di Dubai è stata costruita utilizzando l'automazione GoA2 all'inizio dell'esercizio nel 2009. I test per il funzionamento autonomo del GoA4 erano già iniziati nel 2011. La trasformazione complessiva è terminata nell'anno 2015. La durata di implementazione della rete di sei anni è stata ritenuta rapida data la sua notevole portata, tra cui una lunghezza totale di 52 km e 29 stazioni. Le spese hanno superato un totale di 7,6 miliardi di dollari USA (circa 6,992 miliardi di euro). Il caldo a Dubai ha dato origine a sfide tecnologiche iniziali, ma, nel complesso, l'infrastruttura di nuova concezione si è rivelata favorevole all'automazione [22][23].

Caso di studio: linea metropolitana cinese

Nel 2015, la linea Batong a Pechino ha subito un sostan-

gone recent automation are examined in closer detail. The chosen metro lines for this study include Singapore's North-East Line, Dubai's Red Line, and Beijing's Batong Line. Their timeframes combined will provide information for a projection model used in the West Midlands extension.

Case study: Singapore metro line

The North-East line in Singapore opened in 2003 with GoA2 automation, which allowed automated train control but still required onboard train captains [20]. In 2017, the process began to transition the line to GoA4 full driverless operation, which was completed in 2022 [20]. This upgrade took around 5 years from planning to full implementation and cost approximately SGD 25 million (approximately EUR 17 million) [21]. As one of Singapore's oldest lines at 20km and 16 stations, technical challenges included retrofitting legacy equipment.

Case study: Dubai metro line

The Red Line of Dubai was constructed using GoA2 automation at its start of operations in 2009. Testing for the GoA4 autonomous operation had begun by 2011. The comprehensive transformation was finished by the year 2015. The network's implementation duration of six years was deemed expeditious given its considerable scope, including a total length of 52 km, and accommodating 29 stations. The expenses surpassed a total of 7.6 billion US dollars (approximately 6.992 billion Euros). The hot heat in Dubai gave rise to initial technological challenges, but, overall, the newly developed infrastructure proved to be favourable for automation [22][23].

Case study: China metro line

In 2015, the Batong line in Beijing had a substantial enhancement, resulting in the transfer from Grade of Automation (GoA) 2 to GoA 4. This improvement enabled the implementation of unattended train operations on the line. The line, which was first inaugurated in 2002, extends across 10 km and has a total of 7 stops. Despite the comparatively modest level of ridership, the retrofitting process was executed over a span of 18 months, incurring a total expenditure of CNY 461 million (approximately EUR 59.93 million). The update was deemed to have a relatively low technical difficulty, mostly owing to the size of the queue and the number of people it serves [24].

3.3 Plotting graph

Graphs are a fundamental tool in data visualisation and analysis, offering numerous benefits like visual representation, simplification, comparison, identification of trends, outliers, hypothesis testing, data exploration, decision-making, and communication with experts and non-expert audiences [25][26],[27].

In the present discourse, a graphical representation is

OSSERVATORIO

ziale miglioramento, con il conseguente passaggio dal Grado di Automazione (GoA) 2 al GoA 4. Tale miglioramento ha consentito l'implementazione di esercizio treno senza assistenza sulla linea. La linea, inaugurata per la prima volta nel 2002, si estende per 10 km e ha un totale di 7 fermate. Nonostante il livello relativamente modesto di utenza, il processo di ammodernamento è stato eseguito in un arco di 18 mesi, con una spesa totale di 461 milioni di CNY (circa 59,93 milioni di euro). Si è ritenuto che l'aggiornamento avesse una difficoltà tecnica relativamente bassa, principalmente a causa delle dimensioni della coda e del numero di persone che serve [24].

3.3. Grafico di sviluppo

I grafici sono uno strumento fondamentale nella visualizzazione e nell'analisi dei dati, offrendo numerosi vantaggi come rappresentazione visiva, semplificazione, confronto, identificazione di tendenze, valori anomali, test di ipotesi, esplorazione dei dati, processo decisionale e comunicazione con esperti e pubblico non esperto [25][26][27].

Nella presente dissertazione, viene generata una rappresentazione grafica, in cui l'asse verticale è designato a Gradi di Automazione (GoA), mentre l'asse orizzontale indica gli anni previsti. L'argomento in questione riguarda i modelli risultanti osservati nel grado di automazione e il ruolo corrispondente dei macchinisti, che servono come risultato considerato e argomento di discorso.

3.4 Raccolta dei risultati

La valutazione dei risultati richiede la considerazione di diversi fattori. I seguenti aspetti sono utilizzati come indicatori per facilitare la quantificazione dell'efficacia e dell'impatto di fattori specifici: al fine di valutare i risultati nel regno dell'automazione, è consuetudine considerare tre aspetti fondamentali: la traiettoria dell'implementazione dei livelli di automazione, l'evoluzione dei ruoli dei macchinisti e la determinazione del punto di pareggio. L'aspetto iniziale, indicato come la tendenza nell'implementazione dei livelli di automazione, funge da componente cruciale per acquisire preziose intuizioni relative all'avanzamento e all'accettazione dei sistemi automatizzati. È possibile accertare il grado in cui le organizzazioni stanno adottando e integrando i progressi tecnologici attraverso un'analisi completa del processo di implementazione dell'automazione. La valutazione del ritmo dell'integrazione dell'automazione viene condotta per ottenere informazioni sull'impatto complessivo e sui potenziali benefici derivanti da questi sforzi. Questo aspetto si concentra sull'esame della velocità con cui l'automazione viene integrata in un periodo specifico. Al fine di ottenere una comprensione completa delle dinamiche in evoluzione, viene analizzato il secondo aspetto, ovvero l'andamento delle responsabilità dei macchinisti. Infine, il punto di pareggio è determinato per offrire una stima quantitativa del punto in cui la domanda di macchinisti si pareggia. Tutte queste caratteristiche sono prese in considerazione come parametri di riferimento di base quando si conduce una revisione approfondita dei risultati.

generated, wherein the vertical axis is designated as the Grades of Automation (GoA), while the horizontal axis denotes the forecasted years. The subject matter at hand pertains to the resultant patterns observed in the degree of automation and the corresponding role of drivers, which serve as the desired outcome and a topic of discourse.

3.4. Collection of results

The assessment of results demands the consideration of several factors. The following aspects are utilised as indicators to facilitate the quantification of the effectiveness and impact of specific factors: In order to assess the outcomes in the realm of automation, it is customary to consider three fundamental aspects: the trajectory of automation levels' implementation, the evolution of drivers' roles, and the determination of the breakeven point. The initial aspect, referred to as the trend in the implementation of levels of automation, serves as a crucial component for gaining valuable insights pertaining to the advancement and acceptance of automated systems. Through a comprehensive analysis of the process of automation implementation, it is possible to ascertain the degree to which organisations are adopting and integrating technological advancements. The assessment of the pace of automation integration is conducted to gain insights into the overall impact and potential benefits derived from these efforts. This aspect focuses on examining the rate at which automation is being integrated over a specific period. In order to obtain a comprehensive comprehension of the evolving dynamics, the second aspect, namely the trend in drivers' responsibilities, is analysed. Finally, the breakeven point is determined to offer a quantitative estimate of the point at which demand for drivers equalises. All of these characteristics are taken into account as basic benchmarks when conducting a thorough review of the results.

3.5. Limitations

Projections Validation: There was no independent verification or evaluation of the projections used in this study. As a result, their accuracy and dependability may be dubious.

Technology Change Uncertainty: The future direction of technological breakthroughs is necessarily unclear. As a result, unanticipated technological advancements could have an impact on the forecasts generated by this research, which could affect the accuracy of the findings.

Contextual Variability: It is crucial to highlight that the results and conclusions of this study may alter across various contexts, such as geographical areas, passenger flow, or unique market situations. Therefore, when applying the findings to particular scenarios, care should be taken.

OSSERVATORIO

3.5. Limitazioni

- Validazione delle proiezioni: non vi è stata alcuna verifica o valutazione indipendente delle proiezioni utilizzate in questo studio. Di conseguenza, la loro accuratezza e affidabilità possono essere dubbie.
- Incertezza sul cambiamento tecnologico: la direzione futura delle innovazioni tecnologiche è necessariamente poco chiara. Di conseguenza, i progressi tecnologici imprevisibili potrebbero avere un impatto sulle previsioni generate da questa ricerca, che potrebbero influire sull'accuratezza dei risultati.
- Variabilità del contesto: è fondamentale sottolineare che i risultati e le conclusioni di questo studio possono variare in vari contesti, come aree geografiche, flusso di passeggeri o situazioni di mercato uniche. Pertanto, quando si applicano i risultati a scenari particolari, occorre prestare attenzione.

La metodologia di previsione impiegata in questo studio utilizza i dati esistenti per generare una stima informata sulla progressione dei livelli di automazione nella metropolitana espansa delle West Midlands.

4. Risultati

Questa sezione evidenzia i risultati e delle analisi delle fasi indicate nella sezione metodologia. Ogni fase tenta di indagare vari elementi del sistema metropolitano delle West Midlands, che vanno dalle future espansioni al cambiamento dei profili di lavoro per i macchinisti a seguito dell'implementazione dell'automazione.

4.1 Potenziale estensione della rete metropolitana

L'esplorazione della potenziale estensione della rete metropolitana delle West Midlands attraverso una revisione della letteratura ha fatto luce su importanti considerazioni e risultati.

La revisione ha indicato che estensioni riuscite possono portare a un aumento dell'utenza, a una migliore connettività e a risultati economici positivi.

In termini di fattori di prontezza dell'automazione, l'integrazione riuscita delle tecnologie di automazione nelle espansioni della metropolitana richiede un'attenta pianificazione e miglioramenti gradualmente. Mentre le nuove linee della metropolitana progettate pensando all'automazione fin dall'inizio tendono a incontrare meno sfide di integrazione, anche le nuove infrastrutture richiedono aggiornamenti nei sistemi di alimentazione, segnalamento e materiale rotabile per adattarsi perfettamente all'automazione. Ciò sottolinea l'importanza di una pianificazione meticolosa e dell'introduzione graduale di tecnologie di automazione, anche per le espansioni "greenfield".

I risultati della revisione della letteratura hanno evidenziato che un'attenta pianificazione e un'analisi approfondita delle potenziali estensioni sono fondamentali per ottenere i

The forecasting methodology employed in this study utilises the existing data to generate an informed estimation regarding the progression of automation levels in the expanded West Midlands metro.

4. Results

The results and analyses of the phases indicated in the methodology section are presented in this section. Each phase attempts to investigate various elements of the West Midlands metro system, ranging from future expansions to changing work profiles for drivers as a result of automation implementation.

4.1. Potential extension of the metro network

The exploration of the potential extension of the West Midlands metro network through a literature review shed light on important considerations and outcomes.

The review indicated that successful extensions can lead to increased ridership, improved connectivity, and positive economic outcomes.

In terms of automation readiness factors, the successful integration of automation technologies in metro expansions necessitates careful planning and phased enhancements. While new metro lines designed with automation in mind from their inception tend to encounter fewer integration challenges, even new infrastructure requires upgrades in power systems, signalling, and rolling stock to accommodate automation seamlessly. This emphasises the importance of meticulous planning and the phased introduction of automation technologies, even for "greenfield" expansions.

The findings from the literature review highlighted that careful planning and thorough analysis of potential extensions are crucial for achieving the desired benefits. Learning from successful case studies in other cities can provide valuable insights for the West Midlands metro line.

4.2 Automation impact on driver role

Fig. 2 shows the projected timeline for implementing different automation levels across the planned West Midlands metro expansion projects and the associated impact on driver roles. The projections are based on data from the following metro automation case studies:

GoA2 partial automation is forecast to be implemented between 2027 and 2030, depending on the scale of each line. Full GoA4 driverless operation is estimated to be attained between 2035 and 2040, based on the complexity factors. The forecasts are justified by the case study timelines for comparable metro scales and complexities.

The omission of an intermediate GoA3 stage reflects industry trends. Many metro systems have skipped condi-

OSSERVATORIO

benefici desiderati. Imparare da casi di studio riusciti in altre città può fornire preziose informazioni per la linea della metropolitana delle West Midlands.

4.2 Impatto dell'automazione sul ruolo del macchinista

La Fig. 2 mostra la tempistica prevista per l'implementazione di diversi livelli di automazione nei progetti di espansione della metropolitana di West Midlands pianificati e l'impatto associato sui ruoli dei macchinisti.

Le proiezioni si basano sui dati dei seguenti casi di studio sull'automazione della metropolitana (Tab. 2):

Si prevede che l'automazione parziale GoA2 sarà implementata tra il 2027 e il 2030, a seconda della scala di ciascuna linea. Si stima che il pieno funzionamento senza macchinista GoA4 sarà raggiunto tra il 2035 e il 2040, in base ai fattori di complessità. Le previsioni sono giustificate dalle tempistiche del caso di studio per scale e complessità della metropolitana comparabili.

L'omissione di uno stadio GoA3 intermedio riflette le tendenze del settore. Molti sistemi metropolitani hanno saltato l'automazione condizionale e sono passati direttamente dal GoA2 al pieno funzionamento senza macchinista GoA4 per il massimo vantaggio economico. Ciò è in linea con l'approccio ambizioso, ma pragmatico, adottato nelle proiezioni.

L'analisi indica che le espansioni inizieranno con un'automazione parziale, lasciando il tempo per stabilizzare l'infrastruttura prima di perseguire una capacità senza macchinista più avanzata. La sequenza temporale graduata bilancia l'adozione rapida della tecnologia con gli imperativi di gestione del cambiamento per l'organizzazione della metropolitana e la sua base di dipendenti.

Si prevede che la transizione graduale dell'automazione avrà un impatto significativo sui ruoli e sui requisiti dei macchinisti. Nell'ambito di GoA2, i macchinisti dovranno essere formati per monitorare e gestire i sistemi automatizzati invece di manovrare manualmente i treni. Man mano che l'automazione aumenta e si sposta su GoA4, la loro attenzione si sposterà verso la supervisione, il rilevamento delle anomalie e l'assistenza ai passeggeri.

La soglia di pareggio mostrata nella Fig. 2 ("Breakeven Point") suggerisce che i macchinisti dovranno assumere nuovi ruoli non operativi o essere ridistribuiti o ridotti prima di questo punto di equilibrio o intersezione. Le nuove posizioni possono comportare il monitoraggio remoto, l'indicazione su richiesta passeggeri e le operazioni della banchina. I programmi di fidelizzazione e riqualificazione saranno fondamentali per gestire gli impatti sull'occupazione.

Nel complesso, la rappresentazione

tional automation and shifted directly from GoA2 to full GoA4 driverless operation for maximum economic benefit. This aligns with the ambitious, yet pragmatic approach taken in the projections.

The analysis indicates the expansions will commence with partial automation, providing time to stabilise infrastructure before pursuing more advanced driverless capability. The graduated timeline balances swift technology adoption with change management imperatives for the metro organisation and its employee base.

The phased automation transition is projected to significantly impact driver roles and requirements. Under GoA2, drivers will need to be trained to monitor and manage automated systems instead of manually operating trains. As automation increases and shifts to GoA4, their focus will shift towards supervision, anomaly detection, and passenger assistance.

The breakeven threshold shown in Figure 2 suggests that drivers will need to either take on new non-operating roles or be redeployed or retrenched prior to this breakeven point. New positions may involve remote monitoring, on-demand passenger guidance, and platform operations. Retention programmes and re-training will be critical to managing employment impacts.

Overall, the graphical representation of the forecasted years and automation levels demonstrated a clear trend: as automation increases, the roles of drivers decrease. This visualisation serves as a powerful tool for decision-makers to anticipate changes in the workforce and plan for skill enhancements and training programmes, keeping timelines in mind.

5. Discussion

When developing infrastructure, such as the proposed

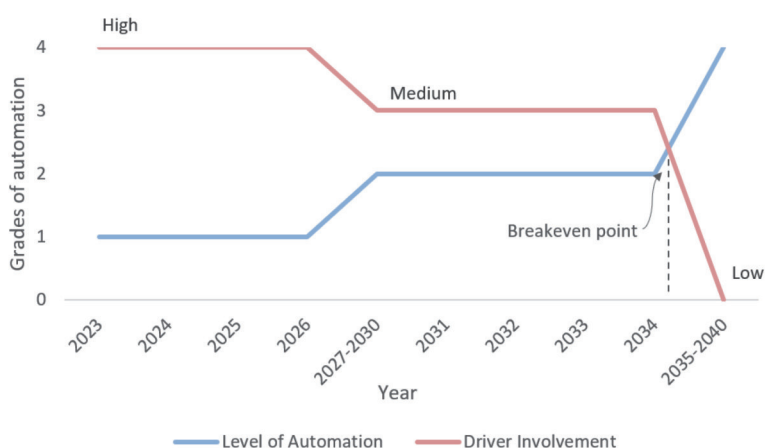


Figura 2 - Cronologia dell'automazione prevista e suo impatto sulle risorse del macchinista.

Figure 2 - Projected automation timeline and its impact on driver resources.

OSSERVATORIO

grafica degli anni previsti e dei livelli di automazione ha mostrato una tendenza chiara: all'aumentare dell'automazione, diminuiscono i ruoli dei macchinisti. Questa visualizzazione funge da potente strumento per i decisori per anticipare i cambiamenti nella forza lavoro e pianificare miglioramenti delle competenze e programmi di formazione, tenendo conto delle tempistiche.

5. Discussione

Quando si sviluppano infrastrutture, come le espansioni della metropolitana di West Midlands proposte, è essenziale valutare meticolosamente i molti aspetti che influiscono sull'integrazione dell'automazione. Sia la revisione della letteratura che i casi di studio sottolineano l'importanza di adottare una metodologia graduale e cadenzata per migliorare i sistemi di potenza, segnalamento e materiale rotabile piuttosto che seguire una strategia di implementazione su larga scala e istantanea. L'integrazione delle moderne tecnologie richiede continui aggiornamenti alle nuove linee al fine di garantirne la perfetta compatibilità nel tempo. Utilizzando una metodologia progressiva, diventa possibile affrontare metodicamente gli ostacoli tecnologici garantendo allo stesso tempo l'affidabilità delle nuove infrastrutture prima di passare a fasi più avanzate di automazione. La valutazione di tali iniziative ha messo in luce la necessità di una pianificazione dettagliata per le espansioni e la possibilità di automazione in tali imprese.

Il programma previsto che prevede la graduale integrazione di sistemi di valutazione automatizzati fornisce informazioni significative sulla preparazione della forza lavoro. L'avvio dell'automazione parziale all'interno del sistema GoA2 consente il raggiungimento della stabilità operativa prima dell'eventuale passaggio a funzionalità completamente senza macchinista. Il concetto di crescita incrementale ha lo scopo di raggiungere un equilibrio armonioso tra la rapida implementazione e le esigenze associate alla gestione del cambiamento. La tabella di marcia applica protocolli di governance rigorosi per autorizzare l'avanzamento di ogni fase solo dopo un'accurata verifica dei requisiti rigorosi. Tuttavia, si concentra su programmi ambiziosi che si allineano con i sistemi metropolitani di riferimento. Utilizzando rigorose strategie di gestione dei progetti e mitigando efficacemente i rischi, questa tabella di marcia ha il potenziale per guidare la crescita della metropolitana delle West Midlands verso il raggiungimento di livelli eccezionali di automazione, servizio passeggeri ed eccellenza operativa su scala globale. L'uso di una strategia graduale mitiga i rischi associati a questo intricato cambiamento, dando contemporanea-

Tabella 2 – Table 2

Dati del caso di studio sull'automazione della metropolitana per le proiezioni
Metro automation case study data for projections

Fattori <i>Factors</i>	Casi di studio <i>Case Studies</i>	Linea Nord-Est <i>North-East line</i>	Linea Rossa <i>Red line</i>	Linea Batong <i>Batong line</i>
Livello di automazione <i>Automation level implemented</i>		GoA2 – GoA4	GoA2 – GoA4	GoA2 – GoA4
Periodo di tempo per l'aggiornamento (anni) <i>Time period to upgrade (years)</i>		5	6	1.6
Scala della rete metropolitana (km) <i>Metro Network Scale (km)</i>		20	52	10

West Midlands Metro expansions, it is essential to meticulously evaluate the many aspects that impact the incorporation of automation. Both the literature review and case studies emphasise the significance of adopting a gradual and phased methodology for improving power, signalling, and rolling stock systems rather than following a strategy of large-scale and instantaneous deployment. The integration of modern technology necessitates continuous updates to new lines in order to ensure smooth compatibility over time. By using a progressive methodology, it becomes feasible to methodically address technological obstacles while concurrently guaranteeing the reliability of new infrastructure before progressing towards more advanced stages of automation. The evaluation of such initiatives has shed light on the need for detailed planning for expansions and the possibility of automation in such endeavours.

The anticipated schedule that predicts the gradual integration of automated grading systems provides significant information about the preparedness of the workforce. The initiation of partial automation inside the GoA2 system allows for the attainment of operational stability before the eventual shift to full driverless capabilities. The concept of incremental growth aims to achieve a harmonious equilibrium between rapid implementation and the demands associated with change management. The roadmap enforces stringent governance protocols to authorise the progression of each step only upon thorough verification of severe requirements. However, it focuses on ambitious timetables that align with benchmark metro systems. By using rigorous project management strategies and effectively mitigating risks, this roadmap has the potential to guide the growth of the West Midlands metro towards attaining exceptional levels of automation, passenger service, and operational excellence on a global scale. The use of a staged strategy mitigates the risks associated

OSSERVATORIO

mente priorità alla sicurezza.

L'esame delle tendenze suggerisce che le mutevoli responsabilità dei macchinisti richiedono l'attuazione di iniziative proattive. L'importanza della riqualificazione e del miglioramento delle competenze diventa evidente quando si contempla la supervisione delle attività automatizzate e il potenziale verificarsi di obsolescenza. L'effettiva facilitazione della fase di integrazione può essere raggiunta anche attraverso l'implementazione di nuove posizioni di supervisione e servizio clienti. Inoltre, è fondamentale fornire programmi che supportino i lavoratori interessati al fine di gestire efficacemente le interruzioni che possono verificarsi. Ancora più importante, l'istruzione superiore nel settore ferroviario può essere aggiornata per soddisfare i requisiti del settore. Coinvolgere le parti interessate è importante in quanto favorisce la comprensione degli effetti previsti dell'automazione avanzata della metropolitana.

Al fine di affrontare efficacemente le sfide e le opportunità presentate dall'espansione delle reti metropolitane e delle tecnologie di automazione, è indispensabile adottare un approccio a tutto tondo ed equo. Questo approccio dovrebbe mirare a massimizzare i vantaggi apportati da tali progressi, tenendo conto anche dei potenziali effetti negativi sulla forza lavoro. Per raggiungere questo obiettivo, è importante attuare tempestivamente iniziative di riqualificazione o miglioramento delle competenze e programmi completi di gestione del cambiamento. In questo modo, possiamo garantire una transizione senza intoppi e creare un futuro sostenibile e aperto a tutti.

6. Conclusioni

Il potenziale dell'innovazione dei trasporti per aumentare la forza lavoro è piuttosto significativo. L'obiettivo principale di questa ricerca è stato quello di esaminare l'impatto sulle risorse dei macchinisti di due fenomeni di transito visti spesso, vale a dire l'espansione della rete e l'automazione. L'area delle West Midlands è stata scelta come caso di studio ai fini di questa ricerca.

L'uso di una metodologia a metodi misti, compresa l'integrazione di analisi di casi di studio, previsioni e revisione della letteratura, ha portato all'acquisizione di approfondimenti diagnostici, predittivi e prescrittivi sulla gestione efficiente del cambiamento. La ricerca ha rivelato la necessità di integrare progressivamente l'integrazione automatizzata durante tutto il processo di crescita. È stato dimostrato che i compiti associati alla guida diminuiranno gradualmente.

Le principali implicazioni di questa ricerca includono l'incorporazione dell'analisi nel processo decisionale, in particolare nell'ambito della pianificazione, e la formulazione di politiche della forza lavoro congruenti con i cambiamenti previsti nei ruoli lavorativi. Tuttavia, è importante sottolineare che la forza lavoro deve mantenere la sua posizione centrale nel campo dell'innovazione. La manifestazione dello sviluppo dovrebbe essere coerente con gli obiettivi comuni del gruppo.

with this intricate shift while simultaneously prioritising safety.

The examination of trends suggests that the changing responsibilities of drivers require the implementation of proactive initiatives. The significance of reskilling and upskilling becomes apparent when contemplating the supervision of automated activities and the potential occurrence of obsolescence. The effective facilitation of the integration stage can also be achieved through the implementation of new supervisory and customer service positions. Additionally, it is crucial to provide programmes that support affected workers in order to effectively manage the disruptions that may arise. Most importantly, higher education in the rail industry can be updated to match the industry requirements. Engaging stakeholders is important as it fosters understanding of the anticipated effects of advanced metro automation.

In order to effectively navigate the challenges and opportunities presented by the expansion of metro networks and automation technologies, it is essential to adopt a well-rounded and equitable approach. This approach should aim to maximise the advantages brought about by these advancements, while also taking into account the potential negative effects on the workforce. To achieve this, it is important to implement timely reskilling or upskilling initiatives and comprehensive change management programmes. By doing so, we can ensure a smooth transition and create a sustainable and inclusive future for all.

6. Conclusion

The potential of transport innovation to augment the workforce is quite significant. The primary objective of this research was to examine the impact of two often-seen transit phenomena, namely network expansion and automation, on driver resources. The West Midlands area was chosen as a case study for the purpose of this research.

The use of a mixed-methods methodology, including the integration of case study analysis, forecasting, and literature review, resulted in the acquisition of diagnostic, predictive, and prescriptive insights about the efficient administration of change. The research revealed the need for progressively integrating automated integration throughout the process of growth. It was shown that the duties associated with driving will gradually decrease.

The primary implications of this research include the incorporation of analytics into the decision-making process, namely within the domain of planning, and the formulation of workforce policies that are congruent with projected shifts in job roles. Nevertheless, it is important to underscore that the workforce needs to retain its central position in the realm of innovation. The manifestation of development should be consistent with the group's common objectives.

OSSERVATORIO

Negli ultimi tempi, il settore ferroviario ha visto l'avvio di diverse iniziative di sviluppo dell'istruzione e della forza lavoro attraverso una serie di programmi dell'Unione Europea (UE) e internazionali. Nell'ambito dei progetti di trasporto europei, è fondamentale riconoscere la presenza di molte imprese di rilievo. Tra i numerosi progetti citati, ovvero "progetto ASTONRail (finanziato da ERASMUS+) [28], progetto STAFFER (finanziato da ERASMUS+) [29], EURNEX [30], SKILLRAIL [31] e SKILLFUL [32]", è degno di nota sottolineare il loro significato come imprese notevoli. Tali imprese si concentrano principalmente sul miglioramento delle capacità mondiali necessarie per gestire in modo efficiente le numerose interruzioni che sono sorte a seguito dei progressi nel settore.

Le autorità dei trasporti devono promuovere in modo proattivo un'innovazione diffusa che produca vantaggi sociali in generale. Il potenziamento del trasferimento di poteri dei lavoratori svolge un ruolo fondamentale nell'esercitare influenza e favorire processi trasformativi all'interno dei contesti organizzativi. Inoltre, è fondamentale che le comunità si impegnino attivamente nel processo di fornire le proprie idee e opinioni. Le regioni urbane hanno la capacità di amalgamare con successo le scoperte tecnologiche con una solida consapevolezza sociale attraverso la dimostrazione di fiducia, attenzione e spirito collettivo.

Questa ricerca rappresenta un risultato degno di nota nel continuo sforzo di fornire opportunità eque ed eticamente valide per la mobilità nei prossimi anni. È necessario uno studio continuo per comprendere le complesse dinamiche del trasporto. In questo particolare contesto, esiste un notevole potenziale di miglioramento della forza lavoro, a condizione che dimostriamo un impegno collettivo per la sua costruzione congiunta.

In recent times, the railway sector has seen the initiation of several educational and workforce development initiatives through a range of European Union (EU) and international programmes. Within the domain of European transport projects, it is crucial to recognise the presence of many notable undertakings. Among the several projects mentioned, namely "ASTONRail project (funded by ERASMUS+) [28], STAFFER project (funded by ERASMUS+) [29], EURNEX [30], SKILLRAIL [31], and SKILLFUL [32]", it is noteworthy to highlight their significance as notable endeavours. These efforts are primarily focused on enhancing the worldwide capabilities needed to efficiently handle the many disruptions that have arisen as a result of advancements in the sector.

Transport authorities need to proactively foster widespread innovation that yields societal advantages at large. The enhancement of worker empowerment plays a pivotal role in exerting influence and fostering transformative processes within organisational contexts. In addition, it is crucial for communities to actively engage in the process of providing their own ideas and opinions. Urban regions have the capacity to successfully amalgamate technological breakthroughs with robust social awareness via the exhibition of confidence, attention, and a collective spirit.

This research signifies a noteworthy achievement in the ongoing effort to provide fair and ethically sound opportunities for mobility in the next few years. Continuous study is required to understand the complex dynamics of transportation. In this particular setting, there is a notable potential for the improvement of the labour force, under the condition that we demonstrate a collective commitment to its joint construction.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] WISHART J., COMO S., FORGIONE U., WEAST J. *et.al.* (2021), "Literature review of verification and validation activities of automated driving systems". SAE Int. Journal of Connected and Automated Vehicles. 2021; 3: 267-323.
- [2] UITP. *World Metro Figures*. 2022. <https://www.uitp.org/publications/metro-world-figures-2021/> [Accessed 6th May 2023].
- [3] CASTELLS R. M., GRAHAM I. R., ANDRADE C., CHURCHILL G. *et.al.* (2011), "Automated metro operation: greater capacity and safer", more efficient transport. *PTI*. 2011, 15-21.
- [4] PwC (2021), "The Potential Impact of Artificial Intelligence on UK Employment and the Demand for Skills". https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1023590/impact-of-ai-on-jobs.pdf [Accessed 2nd June 2023].
- [5] Railway Technology (2019), "How could rail industry careers change in the future?". <https://www.railway-technology.com/features/railway-jobs-of-the-future/> [Accessed 2nd April 2023].
- [6] WEERAWAT W., KIRAWANICH P., FRASZCZYK A., MARINOV M., "Urban Rail Transit". UK: Springer. 2020.
- [7] LI S., LYU D., HUANG G., ZHANG X., *et al.* Spatially varying impacts of built environment factors on rail transit ridership at station level: A case study in Guangzhou, China. *Journal of Transport Geography* 2020. 82, p.102631.
- [8] WU S.S., ZHUANG Y., CHEN J., WANG W. *et al.*, (2019), "Rethinking bus-to-metro accessibility in new town development: Case studies in Shanghai". *Cities*; 94: pp.211-224.

OSSERVATORIO

- [9] GUALTIERI A, MARINOV M. (2020), *"The Metro Network Extension in the West Midlands: A Socio-economic Impact Assessments"*. In WEERAWAT W, KIRAWANICH P, FRASZCZYK A, MARINOV M, editors, *Urban Rail Transit: Proceedings of the 6th Thailand Rail Academic Symposium*. 2020. p. 115-137. (Lecture Notes in Mobility). doi: 10.1007/978-981-15-5979-2_6
- [10] West Midlands Metro. *Expansion*. <https://westmidlandsmetro.com/about/expansion/> [Accessed 7th May 2023].
- [11] THOMAS P. (2006), *"The feasibility case for converting existing heavy metro systems to driverless operation"*. *Computers in railways X*. WIT Press, Ashurst. 2006: pp.363-372.
- [12] UITP. *Why choosing metro automation?* <https://metroautomation.org/why-choosing-metro-automation/> [Accessed 20th July 2023].
- [13] PAPADIMITRIOU, E., SCHNEIDER, C., TELLO, J., DAMEN, W., *et al.* (2020), *"Transport safety and human factors in the era of automation: What can transport modes learn from each other?"* *Accident Analysis & Prevention*. 2020; 144.
- [14] POWELL J.P., FRASZCZYK A., CHEONG C.N., YEUNG H.K. (2016), *"Potential Benefits and Obstacles of Implementing Driverless Train Operation on the Tyne and Wear Metro: A Simulation Exercise"*. *Urban Rail Transit* 2. 2016: 114-127. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40864-016-0046-9> [Accessed 5th April 2023].
- [15] BRANDENBURGER N., NAUMANN A. (2019), *"On track: a series of research about the effects of increasing railway automation on the train driver"*. *IFAC-PapersOnLine*. 2019; 52(19): 288-293.
- [16] SNELL D., GEKARA, V. (2022), *"Re examining technology's destruction of blue collar work"*. *New Technology, Work and Employment*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/ntwe.12259> [Accessed 7th May 2023].
- [17] LI L. (2022), *"Reskilling and upskilling the future-ready workforce for industry 4.0 and beyond"*. Springer; 2022: 1-16.
- [18] KARVONEN H., AALTONEN I., WAHLSTRÖM M., SALO L., *et al.* (2011), *"Hidden roles of the train driver: A challenge for metro automation"*. *Interacting with computers*. 2011; 23(4): 289-298.
- [19] JANSSON E., OLSSON N.O., FRÖIDH O. (2023), *"Challenges of replacing train drivers in driverless and unattended railway mainline systems"* — A Swedish case study on delay logs descriptions. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. 2023; 21, p.100875.
- [20] SGTrains. *North-East Line*. <https://www.sgtrains.com/network-nel.html> [Accessed 1st September 2023].
- [21] Alstom. *Transport Project Story*. France. 2023. http://tsdtemp.turnlav.net/cbtc/projects/SIG_Singapore_Automatic-Metro_en.pdf [Accessed 1st September 2023].
- [22] ITS International. *Dubai metro - the world's longest automated rail system*. <https://www.itsinternational.com/feature/dubai-metro-worlds-longest-automated-rail-system> [Accessed 1st September 2023].
- [23] MOHAN S. (2023), *"Dubai Metro Signalling & Train Control System"*. https://webinfo.uk/webdocssl/irse-kbase-ref-viewer.aspx?GroupMembers=%7B03+IRSE+Event%7D_&RefNo=1559669757&document=3.07+Mohan++Dubai+Metro.PDF&id=84 [Accessed 1st September 2023].
- [24] HollySys. *'Hollysys Automation Technologies Enters China's Subway Signaling Market with \$48 Million Contract Win'*, [Press release]. 2009. <https://hollysys.investorroom.com/2009-11-09-Hollysys-Automation-Technologies-Enters-Chinas-Subway-Signaling-Market-with-48-Million-Contract-Win?mobile=No> [Accessed 1st September 2023].
- [25] *'6 Key Benefits of Graph Visualizations'*, *Graphlytic*. <https://graphlytic.biz/blog/6-key-benefits-of-graph-visualizations> [Accessed 1st September 2023].
- [26] KOWIESKI J. (2022), *"Top seven benefits of data visualization"* *ThoughtSpot*. <https://www.thoughtspot.com/data-trends/data-visualization/benefits-of-data-visualization> [Accessed 1st September 2023].
- [27] Deloitte. *The Five Benefits of Data Visualization*. <https://www2.deloitte.com/nl/nl/pages/tax/articles/bps-the-five-benefits-of-data-visualization.html> [Accessed 1st September 2023].
- [28] ASTONRail. *"Advanced approaches and practices for rail training and education TO innovate Rail study programmes & Improve rail higher education provision"*. <http://astonrail.eu/dokuwiki/doku.php/start> [Accessed 20th June 2023].
- [29] STAFFER. <https://www.railstaffer.eu/about-staffer/> [Accessed 17th November 2023].
- [30] EURNEX. <https://www.eurnex.org/> [Accessed 20th June 2023].
- [31] SKILLRAIL. *Education and Training Actions for high skilled job opportunities in the railway sector*. https://cordis.europa.eu/docs/results/233/233649/137034131-8_en.zip [Accessed 20th June 2023].
- [32] SKILLFUL. *Skills and competences development of future transportation professionals at all levels*. <https://skillful-project.eu/> [Accessed 20th June 2023].