



Influenza del programma di esercizio sul costo standard del trasporto pubblico

Impact of the operating program on the public transport standard cost

Marzia DE BARTOLOMEO ^(*)

Umberto PETRUCELLI ^(**)

Pietro VUONO ^(***)

(<https://www.medra.org/servlet/view?lang=it&doi=10.57597/IF.03.2026.ART.2>)

Sommario - Il programma di esercizio del trasporto pubblico influisce sensibilmente sul costo chilometrico del servizio ma i relativi modelli di stima (come anche quello del DM. 157/2018) non riescono a tenerne conto adeguatamente perché non considerano il differente impiego di personale e mezzi derivante da una specifica distribuzione temporale e quantitativa delle corse offerte.

Al fine di superare questo importante limite, lo studio propone una metodologia di rettifica del costo ricavato dalla maggior parte dei modelli esistenti che utilizza un coefficiente correttivo K ottenuto da una relazione statistica funzione solo di dati ricavabili dall'orario del servizio. La procedura elaborata è di validità generale ed applicabile, con una ricalibrazione mirata, anche ad aree con caratteristiche territoriali, strutturali e di domanda/offerta di mobilità differenti da quella presa come riferimento in questo studio.

1. Introduzione

Il costo standard unitario del trasporto pubblico (TP), espresso in veicoli-km, rappresenta la spesa che un operatore efficiente sostiene per erogare un determinato servizio di trasporto all'interno di un contesto operativo definito. Esso può essere interpretato come il costo minimo associato alla produzione di un servizio caratterizzato da uno specifico programma di esercizio (PdE - documento che definisce rete, itinerari, fermate, numero di corse e orario) e inserito in un preciso quadro territoriale e organizzativo. La stima del costo standard è un tema importante nei numerosi Paesi, molti dei quali compresi nell'Unione Europea [1], in cui il trasporto pubblico beneficia di sovvenzioni statali. Infatti, i rapporti economici tra ente affidante e gestore del TP nonché la distribuzione delle specifiche risorse pubbliche tra diversi ambiti territoriali sono spesso regolati sulla base del costo standard.

Summary - The public transport operating program has a significant impact on the cost per kilometer of the service, but the related estimation models (such as that of Italian Ministerial Decree 157/2018) fail to take this into account adequately because they do not consider the different use of personnel and vehicles resulting from a specific temporal and quantitative distribution of the rides offered.

In order to overcome this significant limitation, this study proposes a methodology for adjusting the cost derived from most existing models, which uses a correction coefficient K obtained from a statistical relationship based only on data derived from the service timetable. The procedure developed is generally valid and applicable, with targeted recalibration, even to areas with territorial, structural, and mobility supply/demand characteristics that differ from those taken as a reference in this study.

1. Introduction

The standard unit cost of public transport (PT), expressed in vehicle-km, represents the expenditure incurred by an efficient operator to provide a given transport service within a defined operating context. It can be interpreted as the minimum cost associated with the production of a service characterized by a specific operating program (OP - document defining the network, routes, stops, number of rides, and timetable) and included in a specific territorial and organizational framework. Estimating standard costs is an important issue in many countries, including many in the European Union [1], where public transport benefits from State subsidies. In fact, the economic relations between the contracting authority and the PT operator, as well as the distribution of specific public resources among different territorial areas, are often regulated on the basis of standard costs.

In the public transport sector, State subsidies take the

^(*) Ingegnere - Libera professionista.

^(**) Università della Basilicata – Dipartimento di Ingegneria – Potenza (umberto.petruccelli@unibas.it).

^(***) Ingegnere PhD – Libero professionista.

^(*) Engineer - Freelancer.

^(**) University of Basilicata – Department of Engineering – Potenza – Italy (umberto.petruccelli@unibas.it).

^(***) Engineer PhD - Freelancer.

Nel settore del TP, la sovvenzione statale si configura come un trasferimento di risorse dai contribuenti agli utenti, spesso intermediato dall'azienda esercente. È pertanto essenziale che questo meccanismo, oltre a perseguire obiettivi di interesse collettivo, rispetti criteri di equità allocativa ed efficienza produttiva [2]. Il sostegno pubblico al trasporto collettivo consente di mantenere basse le tariffe, favorendo un incremento della domanda e una riduzione dell'uso del mezzo privato. Ciò determina benefici ambientali e territoriali, quali la diminuzione delle emissioni inquinanti, dei consumi energetici e della pressione urbanistica legata alla realizzazione di nuove infrastrutture stradali. Inoltre, l'aumento dell'offerta reso possibile dai sussidi può generare economie di scala e di scopo, contribuendo alla riduzione del costo medio di produzione. Le sovvenzioni rappresentano infine uno strumento di politica redistributiva, in quanto permettono di sostenere gruppi di popolazione con minore capacità di accesso alla mobilità.

L'erogazione di contributi pubblici, intesa come intervento regolatorio giustificato da finalità di interesse generale, richiede un'attenzione particolare all'efficienza produttiva e, di conseguenza, alla determinazione accurata sia dei costi effettivi sia dei costi standard di riferimento. Tuttavia, la stima del costo standard presenta criticità rilevanti, soprattutto quando alcuni parametri necessari risultano non disponibili perché noti esclusivamente alle aziende esercenti. Un ulteriore elemento di complessità deriva dalla necessità di considerare l'influenza del PdE sulla produttività del personale viaggiante. Durante un turno di servizio, infatti, il conducente dedica alla guida un numero di ore inferiore alla durata complessiva del turno, poiché tra una corsa e la successiva è obbligato a sostare al capolinea in attesa dell'orario di partenza della nuova corsa da condurre. Il rapporto tra ore di guida effettive e ore di servizio tende a diminuire al ridursi del numero di corse giornaliere su una linea, a causa dell'aumento dei tempi di inattività ai capolinea. Ne consegue che, a parità di velocità commerciale, linee con poche corse determinano una minore produzione chilometrica per turno di lavoro e, quindi, un costo unitario più elevato. Tale fenomeno è ulteriormente influenzato dalla distanza tra i capolinea e da altri fattori che incidono sulla possibilità di impiegare lo stesso conducente su più linee, riducendone i tempi improduttivi.

Queste dinamiche configurano una forma di economia di scala non riferita al servizio complessivo, ma alla singola linea. Si può parlare, più precisamente, di "economia di intensità di servizio": all'aumentare della percorrenza prodotta su una linea – o del numero di corse che la servono – il costo chilometrico tende a ridursi grazie a un migliore utilizzo del personale. In altri termini, se una stessa percorrenza complessiva fosse concentrata su un numero minore di linee con un maggior numero di corse, i tempi di sosta ai capolinea diminuirebbero e i conducenti potrebbero dedicare alla guida una quota maggiore del turno di lavoro, con conseguente riduzione del costo chilometrico.

form of a transfer of resources from taxpayers to users, often mediated by the operating company. It is therefore essential that this mechanism, in addition to pursuing objectives of collective interest, respects criteria of allocative equity and productive efficiency [2]. Public support for public transport keeps fares low, encouraging an increase in demand and a reduction in the use of private vehicles. This leads to environmental and territorial benefits, such as a reduction in pollutant emissions, energy consumption, and urban pressure linked to the construction of new road infrastructure. In addition, the increase in supply made possible by subsidies can generate economies of scale and scope, contributing to a reduction in average production costs. Finally, subsidies are a tool of redistributive policy, as they make it possible to support population groups with less access to mobility.

The provision of public subsidies, understood as regulatory intervention justified by objectives of general interest, requires particular attention to production efficiency and, consequently, to the accurate determination of both actual costs and standard reference costs. However, estimating standard costs presents

significant challenges, especially when some necessary parameters are unavailable because they are known exclusively to the operating companies. A further element of complexity arises from the need to consider the influence of the OP on the productivity of traveling personnel. During a shift, drivers spend less time driving than the total duration of the shift, as they are required to wait at the terminus between rides for the departure time of the next ride. The ratio of actual driving hours to hours of service tends to decrease as the number of daily rides on a line decreases, due to the increase in downtime at the terminals. As a result, at the same commercial speed, lines with few rides result in lower mileage per work shift and, therefore, a higher unit cost. This phenomenon is further influenced by the distance between terminals and other factors that affect the possibility of using the same driver on multiple lines, reducing unproductive time.

These dynamics constitute a form of economy of scale that does not refer to the overall service, but to the individual line. More precisely, we can speak of an 'economy of service intensity': as the mileage produced on a line increases – or the number of rides serving it – the cost per kilometer tends to decrease thanks to better use of personnel. In other words, if the same total mileage were concentrated on a smaller number of lines with a greater number of rides, the time spent waiting at the terminals would decrease and drivers could devote a greater portion of their shift to driving, resulting in a reduction in the cost per kilometer.

Companies seek to optimize staff deployment through interlining practices, i.e., assigning the same driver (and sometimes the same vehicle) to multiple lines during a shift. However, this is only feasible when the distance between terminals allows for moving that is compatible with the timetable. This condition rarely occurs in urban services and only for lines that share a terminal, almost never in suburban, regional, or intercity services, which are characterized by long lines and distant terminals. Interlining is more feasible when a compa-

Le aziende cercano di ottimizzare l'impiego del personale attraverso pratiche di *interlining*, ossia l'assegnazione dello stesso conducente (e talvolta dello stesso veicolo) a più linee durante il turno. Tuttavia, ciò è realizzabile solo quando la distanza tra i capolinea consente spostamenti compatibili con gli orari delle corse. Tale condizione si verifica raramente nei servizi urbani e solo per linee che condividono un capolinea, quasi mai nei servizi suburbani, regionali o intercity, caratterizzati da linee lunghe e capolinea distanti. *L'interlining* risulta invece più praticabile quando un'azienda gestisce congiuntamente servizi urbani ed extraurbani: in questi casi, il conducente di una linea extraurbana può essere impiegato temporaneamente su una linea urbana durante l'attesa della corsa extraurbana di ritorno, migliorando significativamente il rendimento del turno grazie al realizzarsi di "economie di scopo".

Purtroppo, la maggior parte dei modelli di stima del costo (come discusso nella sezione dedicata all'evoluzione della ricerca) non incorpora le caratteristiche del PdE, trascurando quindi l'effetto dell'intensità di servizio (numero di corse per linea) sul costo unitario. Tale omissione conduce a una sottostima del costo standard nelle aree a bassa densità insediativa, dove la domanda debole e diffusa richiede linee estese servite da un numero molto ridotto di corse.

Un esempio applicativo che illustra chiaramente l'impiego del PdE sul costo chilometrico è riportato in [3].

Alla luce di tali considerazioni, il presente studio sviluppa un modello per la determinazione di un coefficiente correttivo K , applicabile al costo stimato mediante qualunque modello esistente, al fine di adeguarlo alle effettive condizioni operative del servizio. La calibrazione del modello è stata effettuata utilizzando un database fornito da un'azienda di trasporto della Basilicata (Italia) e si basa sull'impiego di un tempo di sosta convenzionale ΔT , ricavato dal quadro orario tramite un algoritmo dedicato.

Dopo la presente sezione contenente una descrizione della problematica trattata, segue (sezione 2) l'analisi bibliografica che mette in luce l'evoluzione nel tempo della ricerca sulla stima del costo standard nel trasporto pubblico stradale. Le successive due sezioni affrontano l'analisi e la modellazione del fenomeno studiato (sezione 3) e la definizione e validazione del modello (sezione 4). Infine, la sezione 5 riporta una discussione su quanto ottenuto.

2. L'evoluzione della ricerca

L'analisi della funzione di costo nella produzione dei servizi di trasporto pubblico rappresenta un elemento centrale nell'organizzazione dell'offerta. In particolare, lo studio delle economie di produzione è fondamentale per l'elaborazione di politiche regolatorie, mentre la determinazione dei costi medi e marginali è essenziale per l'implementazione di strategie tariffarie e di sovvenzione.

Nel 2001, FILIPPINI *et al.* [4] hanno correlato i costi a fattori quali lavoro, capitale e carburante, introducendo

ny jointly operates urban and extra-urban services: in these cases, the driver of an extra-urban route can be temporarily employed on an urban route while waiting for the return extra-urban ride, significantly improving shift performance thanks to the "economies of scope."

Unfortunately, most cost estimation models (as discussed in the section on the research evolution) do not incorporate the characteristics of the OP, thus neglecting the effect of service intensity (number of rides per line) on unit cost. This omission leads to an underestimation of the standard cost in areas with low population density, where weak and widespread demand requires extensive lines served by a very small number of rides.

An application example that clearly illustrates the impact of the OP on the cost per kilometer is given in [3].

In light of these considerations, this study develops a model for determining a correction coefficient K , applicable to the cost estimated using any existing model, in order to adapt it to the actual operating conditions of the service. The model was calibrated using a database provided by a transport company in Basilicata (Italy) and is based on the use of a conventional stopping time ΔT , obtained from the timetable using a dedicated algorithm.

This section, which contains a description of the issue addressed, is followed by a bibliographic analysis that highlights the development over time of research on the standard cost estimation in public road transport (section 2). The next two sections deal with the analysis and modeling of the phenomenon studied (section 3) and the definition and validation of the model (section 4). Finally, section 5 presents a discussion of the results obtained.

2. The research development

The analysis of the cost function in the production of public transport services is a central element in the organization of supply. In particular, the study of production economies is basic to settle regulatory policies, while the estimation of average and marginal costs is essential to implement fare and subsidy strategies.

*In 2001, FILIPPINI *et al.* [4] related costs with factors such as labor, capital, and fuel, introducing dummy variables to describe the terrain and stop density. This study laid the foundations for a more reliable understanding of the costs associated with public transport services. The method proposed by DALEN and GOMEZ LOBO [5] in 2002 to describe the specific economic inefficiency of transport companies over time uses a specially defined parameter.*

*Subsequently, in 2004, FRAQUELLI *et al.* [6] presented a cost function that integrates three fundamental variables: labor costs, fuel prices, and expenses for materials and services, enriched by two dummy variables relating to extra-urban and mixed services. This approach provided a more detailed picture of costs.*

A parametric model for comparing the average and mar-

variabili dummy per descrivere l'orografia del territorio e la densità delle fermate. Questo studio ha posto le basi per una comprensione più attendibile dei costi associati ai servizi di trasporto pubblico. Il metodo proposto da DALLEN e GOMEZ LOBO [5] nel 2002 per descrivere l'inefficienza economica specifica di aziende di trasporto in funzione del tempo utilizza un parametro appositamente definito.

Successivamente, nel 2004, Fraquelli et al. [6] hanno presentato una funzione di costo che integra tre variabili fondamentali: il costo del lavoro, il prezzo del carburante e le spese per materiali e servizi, arricchita da due variabili dummy relative ai servizi extra-urbani e misti. Questo approccio ha offerto un quadro dei costi più dettagliato.

Un modello parametrico per confrontare i costi medio e marginale del sistema di bus *rapid transit* con quelli del *rail rapid transit* è stato sviluppato da BRUUN nel 2005 [7]. Utilizzando dati dal database nazionale statunitense sui trasporti (U.S. National Transit Database - USNTD) l'autore ha incluso nel modello tre variabili indipendenti: le ore di servizio, i chilometri percorsi e il numero di veicoli in uso.

Con l'obiettivo di valutare l'impatto delle caratteristiche fisiche e geografiche sul costo del trasporto su autobus è stato studiato nel 2006 da CUBUKCU [8] un modello basato su una funzione di costo *TRANSLOG*. Successivamente lo stesso autore [9] ha applicato il modello proposto, utilizzando un dataset panel di 1053 osservazioni nel periodo 1996-2002, relative a 264 agenzie di trasporto pubblico negli Stati Uniti, combinato con dati geografici e fisici elaborati con tecnologia GIS.

In un'analisi svolta nel 2008, ISEKI [10] ha esaminato le economie di scala nel trasporto pubblico su autobus negli Stati Uniti, sottolineando l'assenza di risultati conclusivi nella letteratura. L'analisi ha utilizzato dati aggregati dal *National Transit Database* della *Federal Transit Administration*, coprendo il periodo dal 1992 al 2000 e mostrando che il costo orario per veicolo è più precisamente rappresentato da diverse funzioni per gruppi di agenzie con differenti livelli di sub-affidamento.

Nel 2013, il modello ANAV [11] ha considerato indirettamente il PdE attraverso le ore di guida mediamente prestate da ciascun conducente e alcuni parametri di efficienza della produzione rappresentati dall'incidenza del costo del personale di guida su quello dell'intero personale e dall'incidenza del costo di tutto il personale sul costo totale del servizio. Nello stesso anno ASSTRA [12], attraverso l'analisi dei costi dei diversi processi aziendali, ha definito un modello formalmente molto simile a quello di ANAV. Questi due approcci hanno arricchito ulteriormente la ricerca, fornendo elementi per la valutazione dell'efficienza ma non hanno permesso di rilevare l'effettiva influenza dello specifico PdE messo in atto perché hanno misurato questi elementi di efficienza attraverso valori medi nazionali calcolati sulle aziende consociate. Sempre nel 2013 due regioni italiane, Veneto [13] e Friuli-Venezia Giulia [14], hanno proposto modelli simili per il calcolo del costo standard.

ginal costs of bus rapid transit systems with those of rail rapid transit was developed by BRUUN in 2005 [7]. Using data from the U.S. National Transit Database (USNTD), the author included three independent variables in the model: hours of service, kilometers traveled, and number of vehicles in use.

With the aim of assessing the impact of physical and geographical characteristics on the cost of bus transport, CUBUKCU [8] studied a model based on a translog cost function in 2006. Subsequently, the same author [9] applied the proposed model, using a panel dataset of 1,053 observations for the period 1996-2002, relating to 264 public transport agencies in the United States, combined with geographical and physical data processed using GIS technology.

In an analysis carried out in 2008, ISEKI [10] examined economies of scale in public bus transport in the United States, highlighting the absence of conclusive results in the literature. The analysis used aggregate data from the Federal Transit Administration's National Transit Database, covering the period from 1992 to 2000, and showed that the hourly cost per vehicle is more accurately represented by different functions for groups of agencies with different levels of sub-contracting.

In 2013, the ANAV model [11] indirectly considered the OP through the average hours driven by each driver and certain production efficiency parameters represented by the incidence of driving personnel costs on total personnel costs and the incidence of total personnel costs on total service costs. In the same year, ASSTRA [12], through the analysis of the costs of different business processes, defined a model formally very similar to that of ANAV. These two approaches further enriched the research, providing elements for the assessment of efficiency, but they did not allow the actual influence of the specific OP implemented to be detected because they measured these elements of efficiency through national average values calculated on affiliated companies. Also in 2013, two Italian regions, Veneto [13] and Friuli-Venezia Giulia [14], proposed similar models for calculating standard costs.

In 2014, ABRATE et al. [15] presented a formula for long-term production costs, distinguishing between the service produced and the operational scope in relation to the costs of production factors. AVENALI et al., in addition to two statistical models proposed in 2014 [16] and 2016 [17], defined a hybrid model in 2018 [18] that combines bottom-up and top-down approaches to estimate personnel and rolling stock costs.

An innovative approach was used by PETRUCELLI and CARLEO in 2017 [19] and subsequently by DELLA LUCIA et al. in 2018 [20]. The former developed an analytical standard cost report based on an "overall efficiency indicator" that is a function of three significant parameters in public transport. Della Lucia et al., on the other hand, proposed a model that calculates the total cost of production based solely on "service time."

Of particular importance in Italy is the cost model for road public transport, established by Decree No. 157/2018 of the Ministry of Infrastructure and Transport [21], which de-

ABRATE *et al.* [15], nel 2014, hanno presentato una formula per il costo di produzione a lungo termine, distinguendo il servizio prodotto e l'ambito operativo in relazione ai costi dei fattori produttivi. AVENALI *et al.*, oltre a due modelli di tipo statistico proposti nel 2014 [16] e 2016 [17], nel 2018 [18] hanno definito un modello ibrido che combina approcci *bottom-up* e *top-down* per stimare i costi del personale e del parco rotabile.

Un approccio innovativo è stato utilizzato da PETRUCCELLI e CARLEO nel 2017 [19] e successivamente da DELLA LUCIA *et al.* nel 2018 [20]. I primi hanno sviluppato una relazione analitica del costo standard basata su un "indicatore di efficienza globale" funzione di tre parametri significativi nel TPL. DELLA LUCIA *et al.* hanno invece proposto un modello che calcola il costo totale della produzione in funzione del solo "tempo di servizio".

Particolare importanza riveste in Italia il modello di costo per il TPL su gomma, stabilito dal Decreto n.157/2018 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti [21] che definisce il costo chilometrico in funzione della velocità commerciale (caratteristica del prodotto, determinante sull'impiego di conducenti e mezzi), delle percorrenze del servizio (quantità di prodotto influente sulle economie e diseconomie di scala) e dell'ammodernamento del materiale rotabile (rappresentativo dell'investimento sostenuto). Il modello è costruito per regressione su un database molto esteso fornito dall'Osservatorio Nazionale delle Politiche sul TPL che raccoglie, per tutti i contratti di servizio del TPL stipulati in Italia fra enti affidanti ed aziende affidatarie, il costo chilometrico riconosciuto al netto del ribasso d'asta, la velocità commerciale media, la percorrenza annua da realizzare e il numero e le caratteristiche dei mezzi da impiegare. È evidente che alla base del modello così costruito c'è l'assunzione che i costi riportati nel data base utilizzato nella regressione siano di massima efficienza e quindi minimi. Ciò è vero, in linea di principio, dal momento che tutti i contratti a cui il data base fa riferimento sono stati stipulati con aziende selezionate attraverso una gara pubblica. Il costo calcolato con la relazione proposta risulta decrescente linearmente all'aumentare della velocità con tre inclinazioni differenti, dipendenti dall'intervallo di velocità considerato. Al crescere della percorrenza prodotta il costo disegna una curva con forma ad "U", che raggiunge il valore minimo in corrispondenza di 4 MLbus.km e resta costante per valori di percorrenza maggiori di 10 MLbus.km. Questo modello, sebbene in linea di principio affidabile perché costruito su un data-base molto esteso, manca, come la maggior parte dei modelli esistenti, di variabili rappresentative della produttività del personale di guida conseguente allo specifico programma di esercizio messo in atto, anche se tiene conto in modo convenzionale delle soste ai capolinea attraverso generiche riduzioni della velocità commerciale. Il modello del Ministero viene preso come riferimento nel presente lavoro, in quanto è uno dei tanti non sensibili al PdE ma non è qui oggetto di analisi specifiche e perciò si rimanda al testo del Decreto Ministeriale [21] per la struttura analitica del modello ed a

*finds the cost per kilometer as a function of commercial speed (a product characteristic that determines the use of drivers and vehicles), service mileage (quantity of product influencing economies and diseconomies of scale) and the modernization of rolling stock (representative of the investment incurred). The model is constructed by regression on a very extensive database provided by the Italian National Observatory of Local Public Transport Policies, which collects, for all local public transport service contracts entered into in Italy between contracting authorities and contractors, the recognized cost per kilometer net of auction discounts, the average commercial speed, the annual mileage to be covered, and the number and characteristics of the vehicles to be used. It is clear that the model is based on the assumption that the costs reported in the database used in the regression are of maximum efficiency and therefore minimal. This is true, in principle, since all the contracts to which the database refers have been signed with companies selected through a public tender. The cost calculated using the proposed relationship decreases linearly as speed increases, with three different slopes depending on the speed range considered. As the service mileage traveled increases, the cost follows a U-shaped curve, reaching its minimum value at 4 MLbus.km and remaining constant for distances greater than 10 MLbus.km. Although this model is reliable in principle because it is based on a very extensive database, like most existing models, it lacks variables representing the productivity of driving personnel resulting from the specific operating program implemented, even though it takes into account stops at terminals in a conventional manner through generic reductions in commercial speed. The Ministry's model is taken as a reference in this work, as it is one of many that are not sensitive to the OP, but it is not the subject of specific analysis here. Therefore, please refer to the text of the Ministerial Decree [21] for the analytical structure of the model and to PETRUCCELLI *et al.* [22] for assessments and considerations on the matter.*

A study aimed at assessing the appropriate percentage of public subsidy, also developed in 2018 by BATARCE and GALILEA [23], took into account the costs and fares of public bus transport in Santiago; the authors proposed a cost function including aggregate output measures that allows the cost of transporting an additional passenger to be separated from that of an additional kilometer.

Subsequent studies, such as the work by PETRUCCELLI and RACINA in 2019 [24], adopted models that consider the operating program through appropriate explanatory variables, helping to provide more realistic tools for determining costs. In 2021, these models were refined by the same authors [25] for the two extreme service schemes of direct links between demand centers (direct link) and feeder-trunk, highlighting significantly different unit costs for these types of service.

*MEHRAN *et al.* [26] developed a cost model in 2020 to compare traditional services with on-demand services, highlighting the sensitivity of demand and the flexibility of supply in real time.*

Among the transport cost items, personnel costs are of great importance and are often broken down in analyses,

PETRUCCELLI *et al.* [22] per le valutazioni e le considerazioni in merito.

Uno studio, finalizzato a valutare la percentuale appropriata di sussidio pubblico, sviluppato sempre nel 2018 da BATARCE e GALILEA [23], ha preso in considerazione costi e tariffe del trasporto pubblico su autobus a Santiago; gli autori hanno proposto una funzione di costo comprensiva di misure aggregate di output che permette di separare il costo del trasporto di un passeggero aggiuntivo da quello di un chilometrico aggiuntivo.

Studi successivi, come il lavoro di PETRUCCELLI e RACINA del 2019 [24], hanno adottato modelli che considerano il programma di esercizio attraverso variabili esplicative appropriate, contribuendo a fornire strumenti più realistici per la determinazione dei costi. Nel 2021, i modelli in questione sono stati perfezionati dagli stessi autori [25] per i due schemi di offerta estremi del tipo a collegamenti diretti fra centri di domanda (*direct link*) e del tipo a pettine (*feeder-trunk*) evidenziando costi unitari sensibilmente diversi per le sue tipologie di offerta.

MEHRAN *et al.* [26] hanno sviluppato nel 2020 un modello di costo per confrontare i servizi tradizionali con quelli a domanda, evidenziando la sensibilità della domanda e la flessibilità dell'offerta in tempo reale.

Fra le voci del costo del trasporto ha grande importanza quella del personale che spesso nelle analisi, come proposto anche da ASEEVAA *et al.* nel 2022 [27], viene suddivisa nelle diverse componenti relative a ciascuna tipologia di lavoratori fra i quali i conducenti rappresentano la voce di costo maggiore. Quest'ultima risente sensibilmente del rendimento (inteso come rapporto fra le ore di guida e le ore di servizio rese dai conducenti) che è sempre inferiore all'unità ed è influenzata dal programma di esercizio.

Nel 2023, SIMONELLI *et al.* [28] hanno costruito un modello di calcolo che comprende tre parametri: il primo è una variabile dipendente dal contesto in cui viene svolto il servizio, il secondo è funzione delle inevitabili inefficienze conseguenti alla corrispondenza tra i turni di lavoro e l'orario del servizio ed il terzo descrive l'incidenza dei percorsi a vuoto.

Ultimamente (2025), GERIKA *et al.* [29], per valutare la sostenibilità finanziaria del servizio autobus a Suroboyo, hanno analizzando i costi attraverso un modello che distingue tra costi diretti (direttamente correlati alla movimentazione dell'autobus e cioè carburante, manutenzione, conducenti) e indiretti (gestione, amministrazione e strutture di supporto). Lo strumento utilizzato è tuttavia classificabile come un modello di analisi che pertanto richiede una conoscenza dettagliata delle singole voci di costo e non consente di risalire dalle caratteristiche del prodotto al costo come normalmente avviene per i modelli di stima.

Un quadro aggiornato, completo ed esaustivo, che descrive le peculiarità dei principali modelli di calcolo finalizzati alla determinazione del costo standard è stato fornito da PETRUCCELLI e VUONO nel 2024 [30], che hanno

as proposed by ASEEVAA et al. in 2022 [27], into the various components relating to each type of worker, among which drivers represent the largest cost item. The latter is significantly affected by productivity (understood as the ratio between driving hours and hours of service provided by drivers), which is always less than one and is influenced by the operating schedule.

In 2023, SIMONELLI et al. [28] constructed a calculation model that includes three parameters: the first is a variable dependent on the context in which the service is performed, the second is a function of the inevitable inefficiencies resulting from the correspondence between work shifts and service hours, and the third describes the incidence of empty runs.

Recently (2025), GERIKA et al. [29], in order to assess the financial sustainability of the bus service in Surabaya, analyzed costs using a model that distinguishes between direct costs (directly related to bus operation, i.e., fuel, maintenance, drivers) and indirect costs (management, administration, and support structures). However, the tool used can be classified as an analysis model, which therefore requires detailed knowledge of each cost item and does not allow the cost to be traced back from the product characteristics, as is normally the case with estimation models.

An updated, complete, and comprehensive overview describing the characteristics of the main calculation models used to determine standard costs was provided by PETRUCCELLI and VUONO in 2024 [30], who illustrated the strengths and weaknesses of most of the models found in the scientific literature. This study shows that the variables most commonly used in most models are the commercial speed and the annual mileage of the contracted service. The former is particularly influenced by the average distance between stops, but also by functional standards and traffic conditions of the infrastructure, and measures the hourly commitment of traveling personnel and vehicles for the realization of the product. The latter, on the other hand, is indicative of the economies and diseconomies of scale related to the overall quantity of the product and the operating context that can affect production efficiency.

In summary, the literature review highlighted that, in most models, in addition to shortcomings resulting from sample size, data quality, and temporality, there was an absence of variables describing the specific characteristics of the OP or the assumption of unrepresentative average values for these variables. This limitation, found in most existing models, prevents them from producing sufficiently reliable estimates of unit cost.

3. Analysis and Modeling

3.1. Process outline

The study takes as its reference the standard model referred to in Italian Ministerial Decree 157/2018 [21], hereinafter referred to as the DM model, which is assumed to be generally valid (in Italy and, with possible recalibration, in other

illustrato i punti di forza e di debolezza caratterizzanti la maggior parte dei modelli presenti nella letteratura scientifica. Da questo studio si evince che le variabili maggiormente impiegate nella gran parte dei modelli sono la velocità commerciale e la percorrenza annua del servizio appaltato. La prima è influenzata particolarmente dalla distanza media fra le fermate ma anche dagli standard funzionali e dalle condizioni di traffico dell'infrastruttura e misura l'impegno orario di personale viaggiante e mezzi per la realizzazione del prodotto; la seconda, invece, è indicativa delle economie e diseconomie di scala connesse alla quantità complessiva del prodotto e al contesto operativo che possono influire sull'efficienza della produzione.

In sintesi, la revisione della letteratura ha evidenziato nella maggior parte dei modelli, oltre a carenze conseguenti alla dimensione del campione, alla qualità dei dati e alla loro temporalità, l'assenza di variabili descrittive delle specificità del PdE oppure l'assunzione per queste variabili di valori medi poco rappresentativi. Questo limite riscontrabile nella maggioranza dei modelli esistenti non consente loro di produrre stime sufficientemente attendibili del costo unitario.

3. Analisi e Modellazione

3.1. Schema del procedimento

Lo studio assume come riferimento il modello standard di cui al DM 157/2018 [21], di seguito indicato come modello DM, del quale si assume la validità generale (in Italia e, con eventuale ricalibrazione, in altri Paesi). Questo modello rispetto ad altri in letteratura può vantare una buona attendibilità per essere stato calibrato su un data-base molto esteso comprendente tutti i servizi di trasporto pubblico locale (TPL) su gomma offerti sul territorio italiano. Peraltro comprende i principali driver di costo sebbene, come già evidenziato, non tenga conto direttamente del programma di esercizio (PdE) che influisce sensibilmente sull'utilizzo dei conducenti.

Si è costruito uno strumento che, sulla base dell'orario, fornisce, per l'intera rete o anche per ciascuna linea, un coefficiente con cui correggere il costo ottenuto dall'applicazione del modello DM o da altro modello che non tenga conto del PdE.

La costruzione del modello si è avvalsa dei turni di lavoro effettivi e del tempo di stazionamento reale dei conducenti riferiti ad un campione di 31 linee di TPL regionale offerte in Basilicata, percorse da autobus della stessa dimensione (lunghezza compresa fra 10 e 12 m), dati di cui gli autori hanno potuto disporre grazie alla collaborazione della ditta esercente i servizi ma che sono normalmente mantenuti riservati da tutte le aziende produttrici; tuttavia il modello costruito è utilizzabile disponendo solo di dati ricavabili dall'orario del servizio.

La metodologia messa a punto, finalizzata a fornire uno strumento di correzione basato esclusivamente sui dati d'orario, si articola in tre macro-fasi:

countries). Compared to other models in the literature, this model boasts good reliability because it has been calibrated on a very extensive database comprising all local public transport (LPT) services by road offered in Italy. It also includes the main cost drivers although, as already pointed out, it does not directly take into account the operating program (OP), which has a significant impact on driver utilization.

A tool has been developed which, based on the timetable, provides a coefficient for the entire network or even for each line, which can be used to correct the cost obtained from the DM model or any other model that does not take the OP into account.

The model was developed using actual work shifts and real driver stopping times for a sample of 31 regional public transport lines in Basilicata (Italy), served by buses of the same size (between 10 and 12 m in length), data that the authors were able to obtain thanks to the collaboration of the company operating the services but which are normally kept confidential by all manufacturers; however, the model constructed can be used with only data obtained from the service timetable.

The methodology developed, aimed at providing a correction tool based exclusively on timetable data, is divided into three macro-phases:

- a. *Determination of the real coefficient $K_{R,i}$ relating to each line i of the sample used, depending solely on the stopping time of drivers at the terminus (actual stopping time $\Delta T_{R,i}$), i.e., the interval spent by drivers at the terminus between one ride and the next one, mainly due to the need to start each ride at a fixed time based on the OP. $K_{R,i}$ represents the multiplier used to correct the average cost of the service calculated using any model, in order to obtain the actual cost of each line. The physical meaning of the coefficient $K_{R,i}$ in question is the ratio between the average time that drivers operating on a specific line spend waiting and the same average time across all the lines examined. This coefficient allows the standard cost per kilometer, calculated as the average value for the entire network or a set of lines, to be transformed into the standard cost per kilometer for each line, based on its specific OP. The values calculated for $K_{R,i}$ are added to the database that has been constructed.*
- b. *Definition of an estimation algorithm to deduce the time spent by drivers at the terminals $\Delta T_{S,i}$ directly from public timetables, overcoming the confidentiality of company shifts. The values calculated for $\Delta T_{S,i}$ are added to the database.*
- c. *Construction of the model that links the real correction coefficient $K_{R,i}$ to the stopping time $\Delta T_{S,i}$ (estimated from the timetable according to the procedure referred to in letter b) and other estimated operating variables to allow its application to any network for which the OP is known.*

By applying the algorithm and the model constructed, it is possible, for any line for which only the timetable and route of the services supplied are known, to obtain the estimated correction coefficient $K_{S,i}$ which, when multiplied by

- a. Determinazione del coefficiente reale $K_{R,i}$ relativo ad ogni linea i del campione utilizzato, funzione solo del tempo di stazionamento dei conducenti ai capolinea (tempo di stazionamento reale $\Delta T_{R,i}$) cioè dell'intervallo trascorso dai conducenti al capolinea fra una corsa e la successiva da condurre, in conseguenza prevalentemente della necessità di far partire ogni corsa ad un orario prefissato sulla base del PdE. $K_{R,i}$ rappresenta il moltiplicatore attraverso il quale correggere il costo medio del servizio calcolato con un qualsiasi modello, per ricavare il costo reale di ciascuna linea. Il significato fisico del coefficiente $K_{R,i}$ in questione è il rapporto tra il tempo medio che i conducenti operanti su una specifica linea trascorrono in sosta e il medesimo tempo mediato su tutte le linee esaminate. Detto coefficiente consente di trasformare il costo standard chilometrico, calcolato come valore medio di tutta la rete o di un insieme di linee, nel costo standard chilometrico relativo a ciascuna linea, in base al suo specifico PdE. I valori calcolati per i $K_{R,i}$ vanno ad integrare il data-base costruito.
- b. Definizione di un algoritmo di stima per dedurre il tempo di stazionamento dei conducenti ai capolinea $\Delta T_{S,i}$ direttamente dai quadri orari pubblici, ovviando alla riservatezza dei turni aziendali. I valori calcolati per i $\Delta T_{S,i}$ vanno ad integrare il data base costruito.
- c. Costruzione del modello che lega il coefficiente correttivo reale $K_{R,i}$ al tempo di stazionamento $\Delta T_{S,i}$ (stimato dall'orario secondo la procedura di cui alla lettera b) e ad altre variabili d'esercizio stimate per consentirne l'applicazione su qualsiasi rete di cui sia noto il PdE.

Applicando l'algoritmo ed il modello costruiti è possibile, per qualsiasi linea di cui si conosce solo l'orario ed il percorso delle corse offerte, ricavare il coefficiente correttivo stimato $K_{S,i}$ che, moltiplicato per il costo $C_{DM,i}$ ricavato dalla formula del DM o da altro modello simile, dà il costo $C_{C,i}$ corretto in funzione dei parametri dell'esercizio.

Nel seguito si descrive nel dettaglio la metodologia mentre si premettono alcune considerazioni.

L'influenza, sul costo unitario, del tempo di stazionamento dei conducenti al capolinea considerata nel presente lavoro è misurata attraverso il parametro $K_{R,i}$. Quest'ultimo è stato posto in relazione con due variabili che sono la lunghezza del percorso L e il fattore dell'ora di punta PHF , in quanto le più significative dal punto di vista statistico.

Per quanto discusso nell'introduzione, il costo unitario del servizio cresce, a parità di altre condizioni, quando aumenta l'intervallo di tempo medio ΔT_i inoperoso trascorso dai conducenti ai capolinea durante il turno di lavoro. Perciò questo tempo è la variabile da cui il costo unitario dipende, a parità delle altre condizioni, quali la velocità commerciale, la percorrenza complessivamente prodotta e l'ammmodernamento del materiale rotabile. Queste ultime variabili invece, come accennato in precedenza, sono già contemplate in molti modelli di costo, quale quello del DM qui preso come riferimento. Pertanto un coefficiente

the cost $C_{DM,i}$ obtained from the DM formula or other similar model, gives the cost $C_{C,i}$ corrected according to the operating parameters.

The methodology is described in detail below, preceded by some preliminary considerations.

The influence on the unit cost of the time drivers spend waiting at the terminus, as considered in this study, is measured using the parameter $K_{R,i}$. The latter has been related to two variables, the length of the route L and the peak hour factor PHF , as these are the most statistically significant.

As discussed in the introduction, the unit cost of the service increases, all other conditions being equal, when the average idle time ΔT_i spent by drivers at the terminals during their shift increases. Therefore, this time is the variable on which the unit cost depends, all other conditions being equal, such as commercial speed, total distance traveled, and rolling stock modernization. The latter variables, on the other hand, as mentioned above, are already included in many cost models, such as the one in the Ministerial Decree taken as a reference here. Therefore, a cost correction coefficient calculated using these models must be a function only of the average stopping time ΔT and must not be influenced, even indirectly, by the variables already included in the model used for the estimate.

That said, for each ride j , which runs on line i for k days a year, the departure and arrival times are available, and therefore the ride time t_{jk} and the distance P_{jk} traveled from one terminus to the other.

The service time T_i provided in a year on line i and the service time T provided in a year on the entire service consisting of all lines i are given respectively by:

$$T_i = \sum_k \sum_j (t_{jk}) \quad (1)$$

$$T = \sum_i T_i \quad (2)$$

The travel time t_{jk} can be easily obtained, given the departure and arrival times shown on the timetable. The equation (1) therefore provides the service time provided on line i during the k days of the year in which the line is traveled, calculated as the sum of the time taken to make each ride j that travels on line i , relative to a service that is carried out for k days per year.

It should be noted that at this stage, the actual stopping time is determined, so the model used is deterministic and based on certified and actual data. Subsequently, the actual stopping time will be compared with that estimated from the information available to everyone, i.e., from the timetable.

Similarly, the total distance traveled P_i in a year on line i and the total distance traveled P in a year by the entire service consisting of all lines i are given in order by:

$$P_i = \sum_k \sum_j P_{jk} \quad (3)$$

$$P = \sum_i P_i \quad (4)$$

Let $\Delta T_{R,i}$ be the total value of the time spent at the terminus of line i in a year by all drivers waiting to start a new

correttivo del costo calcolato con detti modelli deve essere funzione solo del tempo medio ΔT di stazionamento e non deve essere influenzato anche indirettamente dalle variabili già comprese nel modello utilizzato per la stima.

Ciò premesso, per ciascuna corsa j , che percorre la linea i , per k giorni all'anno, si dispone dell'orario di partenza e di arrivo, quindi del tempo di viaggio t_{jk} , nonché della percorrenza P_{jk} realizzata da un capolinea all'altro.

Il tempo di servizio T_i reso in un anno sulla linea i e il tempo di servizio T reso in un anno sull'intero servizio composto da tutte le linee i sono dati rispettivamente da:

$$T_i = \sum_k \sum_j (t_{jk}) \quad (1)$$

$$T = \sum_i T_i \quad (2)$$

Il tempo di viaggio t_{jk} è ricavabile facilmente, noti l'orario di partenza e quello di arrivo riportati sul quadro orario. L'equazione (1) fornisce dunque il tempo di servizio reso sulla linea i durante i k giorni dell'anno in cui la linea viene percorsa, calcolato come somma del tempo impiegato per effettuare ogni corsa j che percorre la linea i , relativamente a un servizio che viene svolto per k giorni all'anno.

È bene precisare che in questa fase si determina il tempo di stazionamento reale, dunque il modello utilizzato è deterministico e basato su dati certificati e reali. Successivamente, il tempo di stazionamento reale verrà confrontato con quello stimato dalle informazioni disponibili a tutti, cioè dal quadro orario.

Allo stesso modo la percorrenza P_i prodotta complessivamente in un anno sulla linea i e la percorrenza P realizzata complessivamente in un anno dall'intero servizio composto di tutte le linee i sono date nell'ordine da:

$$P_i = \sum_k \sum_j P_{jk} \quad (3)$$

$$P = \sum_i P_i \quad (4)$$

Detto $\Delta T_{R,i}$ il valore complessivo del tempo di stazionamento ai capolinea della linea i in un anno di tutti i conducenti in attesa di far partire una nuova corsa, determinato sulla base della conoscenza dettagliata dei turni di lavoro coperti da ciascun conducente, il tempo di stazionamento medio sull'intero servizio è:

$$\Delta T_R = (\sum_i \Delta T_{R,i}) / i \quad (5)$$

essendo i il numero di linee dell'intera rete.

Il rapporto $K_{R,i}$ fra il tempo di stazionamento ai capolinea sulla linea i e quello di stazionamento medio su tutte le linee del servizio, rilevati direttamente dai turni di servizio dei conducenti è:

$$K_{R,i} = \Delta T_{R,i} / \Delta T_R \quad (6)$$

Il prodotto di questo coefficiente correttivo $K_{R,i}$, relativo a ciascuna linea i , per il costo unitario calcolato per la stessa linea con il modello DM (o altro similare) fornisce il reale costo unitario della linea secondo la relazione (7) di seguito.

$$C_{R,i} = K_{R,i} \times C_{DM,i} \quad (7)$$

ride, determined on the basis of detailed knowledge of the shifts covered by each driver. The average time spent at the terminus for the entire service is:

$$\Delta T_R = (\sum_i \Delta T_{R,i}) / i \quad (5)$$

where i is the number of lines in the entire network.

The ratio $K_{R,i}$ between the stopping time at the terminus on line i and the average stopping time on all lines of the service, measured directly from the drivers' shifts, is:

$$K_{R,i} = \Delta T_{R,i} / \Delta T_R \quad (6)$$

The product of this correction coefficient $K_{R,i}$, relating to each line i , and the unit cost calculated for the same line using the DM model (or similar) provides the actual unit cost of the line according to the relationship (7) below.

$$C_{R,i} = K_{R,i} \times C_{DM,i} \quad (7)$$

Unfortunately, the stopping times $\Delta T_{R,i}$ cannot be determined if, as is always the case, the drivers' shifts are not available and therefore the correction coefficient $K_{R,i}$ cannot be obtained. For this reason, an algorithm has been developed to estimate parking times directly from the timetable (estimated parking times $K_{S,i}$). Since this value, as an estimate, could provide an unreliable correction coefficient if used directly in (7), a model was constructed to derive $K_{S,i}$ (estimated correction coefficient) as a function of the parking time $\Delta T_{S,i}$ estimated using the algorithm and other known operating variables.

The database constructed to develop the algorithm and model (Tab. 1) collects data on a sample of regional public transport lines operating in the Basilicata region (Italy). The sample covers a total distance of just over 3MLbus.km/year and is divided into 31 lines on which vehicles of approximately the same length run (between 10 and 12 m). For each line, the timetable and types of all rides made (school, weekday, daily, etc.), the days of operation per year, the route development, parking and drivers' shifts are available.

The row in Tab. 1 shows the type of data for the sample lines obtained from the data provided by the transport company without, for the sake of brevity, returning the numerical values for each line.

Fig. 1 shows a schematic map of the lines within the area concerned.

The block diagram of the procedure, mentioned above and described in the following sections, is shown in Fig. 2.

3.2. Evaluation of the cost of each line in the sample

The starting point for the analysis is the availability of the actual total cost of the service, consisting of the 31 lines in the sample. However, this information does not allow us to trace the specific cost of each line, which inevitably varies due to different commercial speeds and driver stopping times at the terminals.

The operating company does not have sufficiently disaggregated accounting data to attribute a precise cost to each

Purtroppo i tempi di stazionamento ΔT_{Ri} non sono determinabili se, come sempre avviene, non si dispone dei turni di servizio dei conducenti e quindi non si può ricavare il coefficiente correttivo $K_{R,i}$. Per questo motivo si è realizzato un algoritmo per stimare i tempi di stazionamento direttamente dall'orario delle corse (tempi di stazionamento stimati $K_{S,i}$). Poiché detto valore, in quanto stimato, se utilizzato direttamente nella (7) potrebbe fornire un coefficiente correttivo non affidabile, è stato costruito un modello per ricavare $K_{S,i}$ (coefficiente correttivo stimato) in funzione del tempo di stazionamento $\Delta T_{S,i}$ stimato attraverso l'algoritmo e altre variabili dell'esercizio note.

Il data-base costruito per mettere a punto l'algoritmo e il modello (Tab. 1), raccoglie i dati relativi ad un campione di linee di trasporto pubblico regionale offerte nella regione Basilicata (Italia). Il campione realizza una percorrenza complessiva di poco più di 3MLbus.km/anno ed è articolato in 31 linee sulle quali corrono mezzi all'incirca della stessa lunghezza (fra i 10 e i 12 m). Per ciascuna linea si dispone dell'orario e delle tipologie di tutte le corse effettuate (scolastica, feriale, giornaliera, ecc.), dei giorni annui di esercizio, dello sviluppo del percorso, degli stazionamenti e dei turni di lavoro dei conducenti.

La riga in Tab. 1 riporta la tipologia di dati delle linee del campione ricavati dai dati forniti dall'azienda di trasporto senza restituire, per brevità, i valori numerici riferiti a ciascuna linea.

Nella Fig. 1 è riportata una mappa schematica delle linee all'interno del territorio interessato.

Lo schema a blocchi della procedura, sopra accennata e descritta nelle sezioni successive è riportato in Fig. 2.

3.2. Valutazione del costo di ciascuna linea del campione

Il punto di partenza dell'analisi è rappresentato dalla disponibilità del costo reale complessivo del servizio, costituito dalle 31 linee del campione. Tale informazione, tuttavia, non consente di risalire al costo specifico di ciascuna linea, che risulta inevitabilmente differenziato a

line. On the contrary, the total cost of the service can be easily determined as the sum of traffic revenues (collected directly by the operator under a net-cost contract) and financial compensation recognized by the contracting authority. This cost, equal to €2.00/bus·km, can be considered standard, as it derives from a tender awarded several years ago, with virtually no discount.

Since the actual cost of the service, defined in a previous historical and contractual context, does not coincide with that obtained using the DM model developed subsequently, a calibration phase is necessary. The objective is to bring the theoretical cost calculated by the DM model back to the actual value currently observed.

A significant component of the unit cost is linked to the drivers' hourly commitment, divided into driving time and stopping time. While the former depends on commercial speed, already included in the DM model, the latter is a function of parking times at the terminals. For this reason, the correction coefficient $K_{R,i}$ has been defined exclusively in relation to the parking time recognized for drivers.

The operational database associates a driver code with each ride, allowing driving and parking times to be reconstructed for each shift. Current legislation provides that parking time is recognized in full if less than 30 minutes and only 12% for longer intervals. In addition, 50 minutes per ride are allocated for pre-departure ancillary operations. Taking into account the different types of driver contracts (permanent, fixed-term, part-time) and the weekly limit of 39 hours provided for by the CCNL (national collective labor agreement), it was possible to determine the validated annual working hours for each driver.

The coefficient $K_{R,i}$ therefore represents the inefficiency in the use of the driver due to parking times, regardless of commercial speed. For each line, the value of $K_{R,i}$ was calculated according to (6).

Applying the DM model with the total service mileage (3,023,214 bus-km/year), the average commercial speed (38.3 km/h) and the depreciation charges provided for in Annex 4 of Ministerial Decree 157/2018 for 12 m diesel ex-

Tabella 1 – Table 1

Schema del data-base delle linee del servizio preso in esame (i valori numerici riferiti a ciascuna linea sono stati omessi per brevità)

Database diagram of the service lines under consideration (the numerical values for each line have been omitted for brevity)

Linea	Q [bus. km/ anno]	X1 [corse/ anno]	Fs [(bus. km /anno) / (km di linea)]	Ds [km/ km ²]	X1/P [(corse/ anno)/ km]	L [km]	Fq [giorni/ anno]	ΔT [minuti] (Intervallo costante)	Tempo reale di stazionam. [minutes]	Vc media [km/h]	Numero di conducenti	PHF mattina
Bus line	Q [bus. km/ year]	X1 [rides/ year]	Fs [(bus. km /year) / (km of the line)]	Ds [km/ km ²]	X1/P [(rides/ year)/ km]	L [km]	Fq [days/ year]	ΔT [minutes] (Const. interval)	Actual parking time [minutes]	Vc average [km/h]	Number of drivers	PHF morning

causa delle diverse velocità commerciali e dei tempi di stazionamento dei conducenti presso i capolinea.

L'azienda esercente non dispone di dati contabili sufficientemente disaggregati per attribuire un costo puntuale a ogni linea. Al contrario, il costo complessivo del servizio è facilmente determinabile come somma dei ricavi da traffico (incassati direttamente dall'operatore nell'ambito di un contratto net-cost) e delle compensazioni economiche riconosciute dall'ente affidante. Tale costo, pari a 2.00 €/bus-km, può essere considerato standard, in quanto derivante da una gara d'appalto aggiudicata diversi anni fa, con ribasso pressoché nullo.

Poiché il costo reale del servizio, definito in un contesto storico e contrattuale precedente, non coincide con quello ottenuto tramite il modello del DM sviluppato successivamente, si rende necessaria una fase di calibrazione. L'obiettivo è ricondurre il costo teorico calcolato dal modello DM al valore reale attualmente osservato.

Una componente rilevante del costo unitario è legata all'impegno orario dei conducenti, articolato in tempo di guida e tempo di sosta. Mentre il primo dipende dalla velocità commerciale, già inclusa nel modello DM, il secondo è funzione dei tempi di stazionamento ai capolinea. Per tale ragione, il coefficiente correttivo $K_{R,i}$ è stato definito esclusivamente in relazione al tempo di sosta riconosciuto ai conducenti.

Il database operativo associa a ogni corsa un codice conducente, consentendo di ricostruire per ciascun turno i tempi di guida e di stazionamento. La normativa vigente prevede che il tempo di sosta sia riconosciuto integralmente se inferiore a 30 minuti e solo al 12% per intervalli superiori. A ciò si aggiungono 50 minuti per corsa destinati alle operazioni accessorie pre-partenza. Considerando anche le diverse tipologie contrattuali dei conducenti (tempo indeterminato, determinato, part-time) e il limite settimanale di 39 ore previsto dal CCNL, è stato possibile determinare le ore di lavoro annuali validate per ciascun conducente.

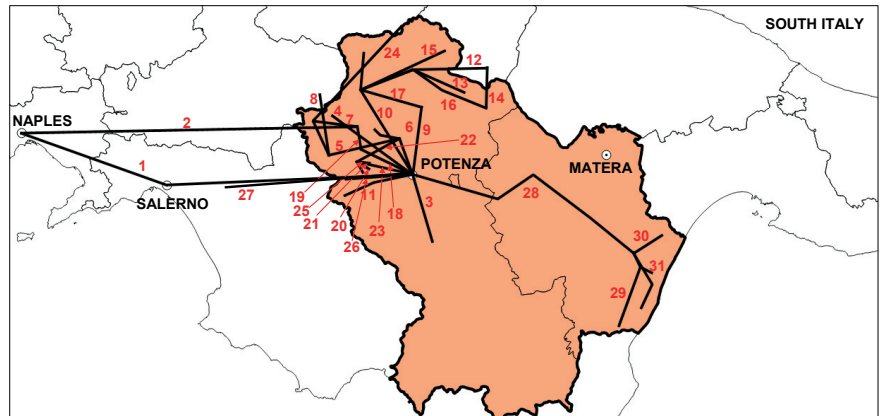


Figura 1 - Rappresentazione grafica delle 31 linee di trasporto costituenti il campione.

Figure 1 - Graphical representation of the 31 transport lines comprising the sample.

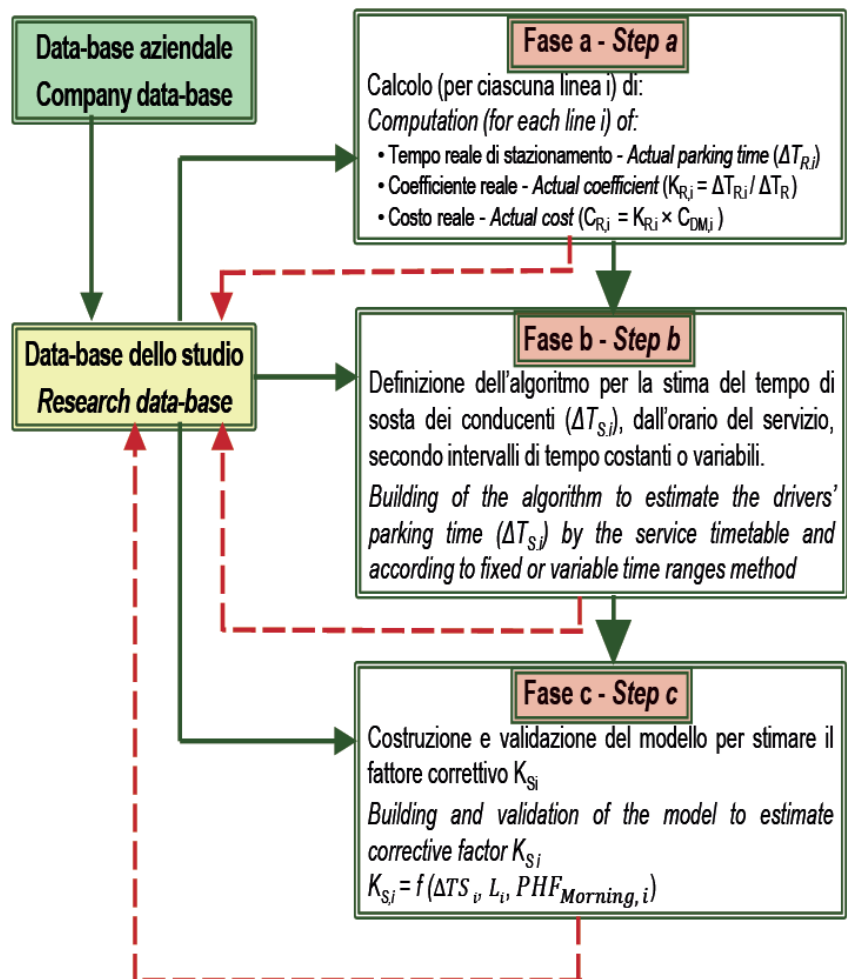


Figura 2 – Schema a blocchi della procedura.

Figure 2 – Block diagram of the procedure.

Il coefficiente K_{Ri} rappresenta quindi l'inefficienza nell'impiego del conducente dovuta ai tempi di stazionamento, indipendente dalla velocità commerciale. Per ogni linea è stato calcolato il valore di K_{Ri} secondo la (6).

Applicando il modello DM con la percorrenza complessiva del servizio (3.023.214 bus-km/anno), la velocità commerciale media (38,3 km/h) e gli oneri di ammortamento previsti dall'allegato 4 del DM 157/2018 per autobus extraurbani da 12 m a gasolio¹, si ottiene un costo unitario pari a 2,58 €/bus-km. Il rapporto tra tale valore e il costo reale (2,00 €/bus-km) è pari a 1,2905.

Successivamente, il costo di ogni linea è stato calcolato applicando il modello DM con la velocità commerciale specifica, dividendo il risultato per il rapporto 1,2905 e moltiplicandolo per il coefficiente K_{Ri} . Per garantire che la media pesata dei costi unitari risultanti coincida con il valore reale di 2,00 €/bus-km, i coefficienti K_{Ri} sono stati ulteriormente corretti. I valori finali sono riportati in Tab. 2 e rappresentati graficamente in Fig. 3. Essi costituiscono i coefficienti calibrati da utilizzare nella (7) per determinare il costo reale di linea C_{Ri} .

3.3. Algoritmo per la stima del tempo di stazionamento dall'orario

A questo punto è necessario definire una procedura per stimare il tempo di sosta ΔT_{Si} senza ricorrere ai turni di servizio ma basandosi esclusivamente sul quadro orario. Ciò perché i turni di servizio, che sono stati utilizzati per determinare i valori reali ΔT_{Ri} relativi alle linee del campione, generalmente non sono disponibili. È evidente che i due valori non potranno coincidere perfettamente.

L'algoritmo sviluppato per stimare ΔT_{Si} , illustrato in Fig. 4, è stato validato confrontando i risultati con quelli

tra-urban buses¹, a unit cost of €2.58/bus-km is obtained. The ratio between this value and the actual cost (€2.00/bus-km) is 1.2905.

Subsequently, the cost of each line was calculated by applying the Ministerial Decree model with the specific commercial speed, dividing the result by the ratio 1.2905 and multiplying it by the coefficient K_{Ri} . To ensure that the weighted average of the resulting unit costs coincided with the actual value of €2.00/bus-km, the coefficients K_{Ri} were further corrected. The final values are shown in Tab. 2 and represented graphically in Fig. 3. They constitute the calibrated coefficients to be used in (7) to determine the actual line cost C_{Ri} .

3.3. Algorithm for estimating stopping time from the timetable

At this point, we need to define a procedure for estimating the stopping time $\Delta T_{S,i}$ without resorting to service shifts but based exclusively on the timetable. This is because the service shifts, which were used to determine the actual values $\Delta T_{R,i}$ relating to the sample lines, are generally not available. It is clear that the two values cannot coincide perfectly.

The algorithm developed to estimate $\Delta T_{S,i}$ illustrated in Fig. 4, was validated by comparing the results with those obtained from the model used to determine the correction coefficient $K_{S,i}$. This algorithm was constructed with reference to a regional service with medium-low demand and few rides per day and is therefore usable in similar contexts. In the case of short lines served by numerous rides per day, a situation typical of urban and peri-urban areas with high demand where interlining is generally adopted, the algorithm in question must be redesigned in order to best reproduce the organization of drivers' shifts in those contexts. It should

Tabella 2 – Table 2

Valori del coefficiente K_{Ri} e del costo reale C_{Ri} per ogni linea di trasporto
 Values of coefficient K_{Ri} and actual cost C_{Ri} for each transport line

Line	K_{Ri}	C_{Ri}	Line	K_{Ri}	C_{Ri}	Line	K_{Ri}	C_{Ri}
1	1.1620	1.960	12	1.4069	2.784	23	0.6566	1.320
2	1.3444	2.426	13	0.9379	1.866	24	0.5315	1.013
3	1.2740	3.334	14	1.0255	2.070	25	0.9379	1.957
4	1.1568	2.304	15	0.6592	1.764	26	1.4069	2.834
5	1.1970	2.470	16	1.5007	2.970	27	1.4382	2.471
6	1.2818	3.175	17	1.0422	2.334	28	0.8754	1.399
7	0.8441	1.753	18	0.8337	1.704	29	0.7816	1.480
8	0.6305	1.253	19	1.3444	3.708	30	0.2730	0.558
9	1.3444	2.667	20	0.5315	1.093	31	0.8129	1.599
10	1.6674	3.272	21	0.4690	1.120			
11	1.1881	2.463	22	1.2506	2.829			

¹ L'allegato 4 del DM 157/2018 [21] stabilisce per un autobus da 12 m a gasolio:
 • costo di acquisto: 221.450 € (IVA esclusa)
 • vita utile: 15 anni
 • ammortamento standard: 0.34 €/km
 • percorrenza annua standard: 44.000 km

¹ Annex 4 of Ministerial Decree 157/2018 [21] establishes the following for a 12-meter diesel bus:
 • purchase cost: €221,450 (excluding VAT)
 • useful life: 15 years
 • standard depreciation: €0.34/km
 • standard annual mileage: 44,000 km

ottenuti dal modello utilizzato per la determinazione del coefficiente correttivo $K_{S,i}$. Detto algoritmo è stato costruito con riferimento ad un servizio regionale a domanda medio-bassa con poche corse al giorno ed è quindi utilizzabile in contesti simili. In presenza di linee di lunghezza limitata servite da numerose corse al giorno, situazione tipica degli ambiti urbani e periurbani a forte domanda in cui la tecnica dell'*interlining* è generalmente adottata, l'algoritmo in questione va riprogettato con la finalità di riprodurre al meglio l'organizzazione dei turni di lavoro dei conducenti in quei contesti. È altresì da considerare che, qualora si dovesse riuscire a spostare rapidamente e con facilità i conducenti da una linea all'altra durante lo stesso turno di lavoro, i tempi di stazionamento ai capolinea potrebbero diventare anche trascurabili.

L'intervallo giornaliero di erogazione del servizio (4:00–24:00) è stato suddiviso in tre fasce temporali (mattina, pomeriggio e sera) all'interno delle quali si collocano le corse di andata e ritorno. Le corse di andata sono definite come quelle dal centro minore verso il centro maggiore; le corse di ritorno seguono il percorso inverso. Si assume che una corsa che raggiunge il centro maggiore riparta nella fascia successiva, salvo quelle serali.

Poiché generalmente il veicolo e il conducente residenti nel centro minore vi permangono durante la notte, di conseguenza non vengono considerate la prima corsa del mattino se parte dal centro minore prima dell'arrivo della prima corsa in senso opposto e l'ultima corsa di ritorno se non seguita da una corsa di andata nella stessa giornata.

Per individuare le tre finestre temporali (necessarie per la determinazione del $\Delta T_{S,i}$), il periodo giornaliero di erogazione del servizio è stato suddiviso in tre finestre temporali di riferimento assunte di ampiezza sia variabile da linea a linea, sia costante.

Nel primo caso (finestre temporali variabili), le finestre vengono adattate a ciascuna linea in modo da minimizzare gli intervalli fra l'arrivo e la partenza delle corse nelle due fasce temporali consecutive e far ricadere nella fascia successiva la partenza di tutte le corse arrivate nella fascia precedente. Le tre finestre temporali presentano quindi una diversa ampiezza per ciascuna linea: la finestra mattutina raggiunge un'ampiezza massima di 10h e 30', quella pomeridiana di 4h e 30', quella serale di 5h. Circa il 75% delle corse di andata ricade nella fascia mattutina. Per le

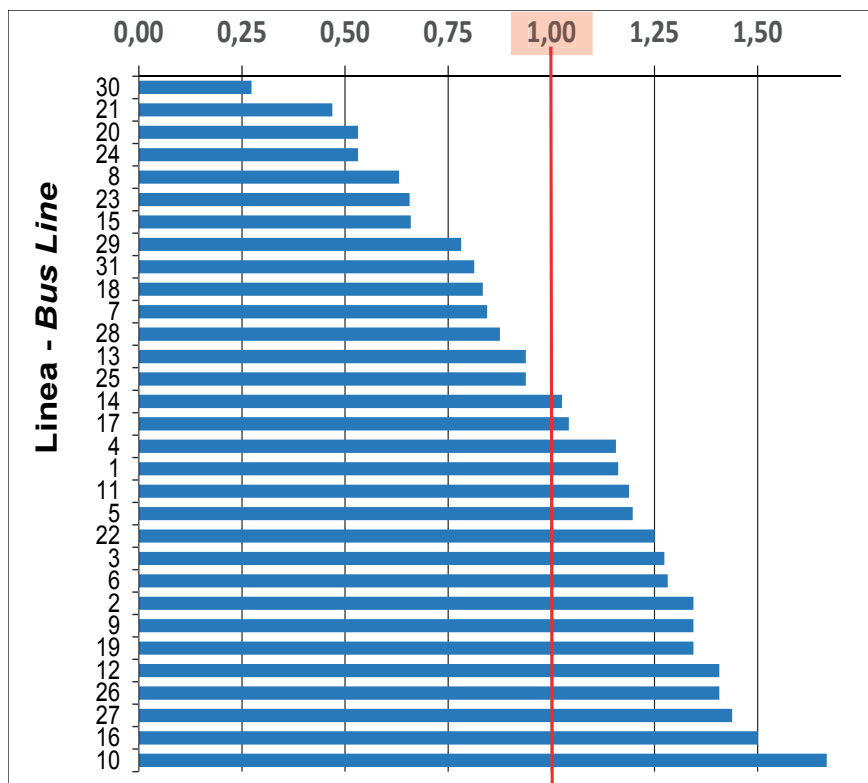


Figura 3 - Diagramma dei valori del coefficiente $K_{R,i}$ per ogni linea di trasporto in ordine di valore crescente.

Figure 3 - Diagram of the values of coefficient $K_{R,i}$ for each transport line in ascending order of value.

also be considered that, if drivers could be moved quickly and easily from one line to another during the same shift, the time spent at the terminus could become negligible.

The daily service interval (4:00 a.m.–12:00 a.m.) has been divided into three time slots (morning, afternoon, and evening) within which the outward and return rides are scheduled. Outbound rides are defined as those from the smaller center to the larger center; return rides follow the reverse route. It is assumed that a ride that reaches the larger center will depart again in the next time slot, except for evening rides.

Since the vehicle and driver generally remain in the smaller center overnight, the first ride in the morning is not considered if it departs from the smaller center before the arrival of the first ride in the opposite direction, and the last return ride is not considered if it is not followed by an outward ride on the same day.

To identify the three-time windows (necessary for determining $\Delta T_{S,i}$), the daily service period was divided into three reference time windows, assumed to be either variable in length from line to line or fixed.

In the first case (variable time windows), the windows are adapted to each line in order to minimize the intervals between the arrival and departure of rides in the two consecutive time slots and to ensure that the departure of all rides arriving in the previous slot falls within the next slot. The

linee con una sola coppia di corse giornaliere ($\approx 30\%$ del campione) le fasce sono definite in modo da far coincidere perfettamente andata e ritorno in due blocchi consecutivi, ottenendo una stima più realistica di $\Delta T_{S,i}$. Nel secondo caso, le finestre temporali assunte costanti per tutte le linee sono 4:00–13:10 la mattutina, 13:11–16:50 la pomeridiana e 16:51–24:00 la serale. Le finestre temporali individuate sono utilizzate, sia per il calcolo di $\Delta T_{S,i}$, sia per il fattore di punta PHF_i .

La stima del $\Delta T_{S,i}$ così effettuata consente anche di tener conto delle norme nazionali e locali che riconoscono in modo convenzionale ai conducenti i tempi di fermo durante il turno di lavoro secondo quanto già riportato nel paragrafo precedente. Si è assunto che, se l'orario del servizio non consente la corsa di ritorno entro i successivi 30 minuti dall'arrivo al capolinea di quella di andata (soglia entro la quale il tempo di sosta viene riconosciuto al conducente per intero), l'azienda preferisca far permanere per un maggiore tempo il conducente. Inoltre, è da evidenziare che la definizione delle tre fasce temporali è dettata anche dalla tipologia di corsa: infatti, per le corse scolastiche, che rappresentano più del 40% del campione in esame, l'inizio della fascia di intervallo pomeridiano è stata fissata all'orario di fine delle lezioni.

La Fig.4 riproduce lo schema dell'algoritmo messo a punto per determinare $\Delta T_{S,i}$ dall'orario delle corse.

La Fig. 5 mostra il confronto tra i $\Delta T_{R,i}$ rilevati dai turni di lavoro (quindi reali) e quelli stimati dall'orario delle corse con l'algoritmo proposto $\Delta T_{S,i}$, sulla base dei tre intervalli costanti per tutte le linee o diversi per ciascuna

three-time windows therefore have a different width for each line: the morning window reaches a maximum width of 10h and 30', the afternoon window 4h and 30', and the evening window 5h. Approximately 75% of outward rides fall within the morning slot. For lines with only one pair of daily rides ($\approx 30\%$ of the sample), the time slots are defined so that the outward and return rides coincide perfectly in two consecutive time-windows, obtaining a more realistic estimate of $\Delta T_{S,i}$. In the second case, the time-windows assumed to be fixed for all lines are 4:00 a.m – 1:10 p.m. in the morning, 1:11 p.m. – 4:50 p.m. in the afternoon, and 4:51 p.m. – 12:00 a.m. in the evening. The identified time windows are used both for the calculation of $\Delta T_{S,i}$ and for the peak factor PHF_i .

The estimate of $\Delta T_{S,i}$ thus obtained also allows for national and local regulations that conventionally grant drivers stopping time during their shift, as already mentioned in the previous paragraph. It has been assumed that if the service schedule does not allow for the return ride within 30 minutes from the arrival of the outward ride at the terminus (the threshold within which the driver is granted the full rest period), the company prefers to keep the driver stationary for a longer period. Furthermore, it should be noted that the definition of the three-time slots is also dictated by the type of ride: in fact, for school rides, which represent more than 40% of the sample under consideration, the start of the afternoon interval slot has been set at the end-time of lessons.

Fig. 4 shows the algorithm developed to determine $\Delta T_{S,i}$ from the timetable.

Fig. 5 shows the comparison between the $\Delta T_{R,i}$ values measured during work shifts (i.e., actual values) and those

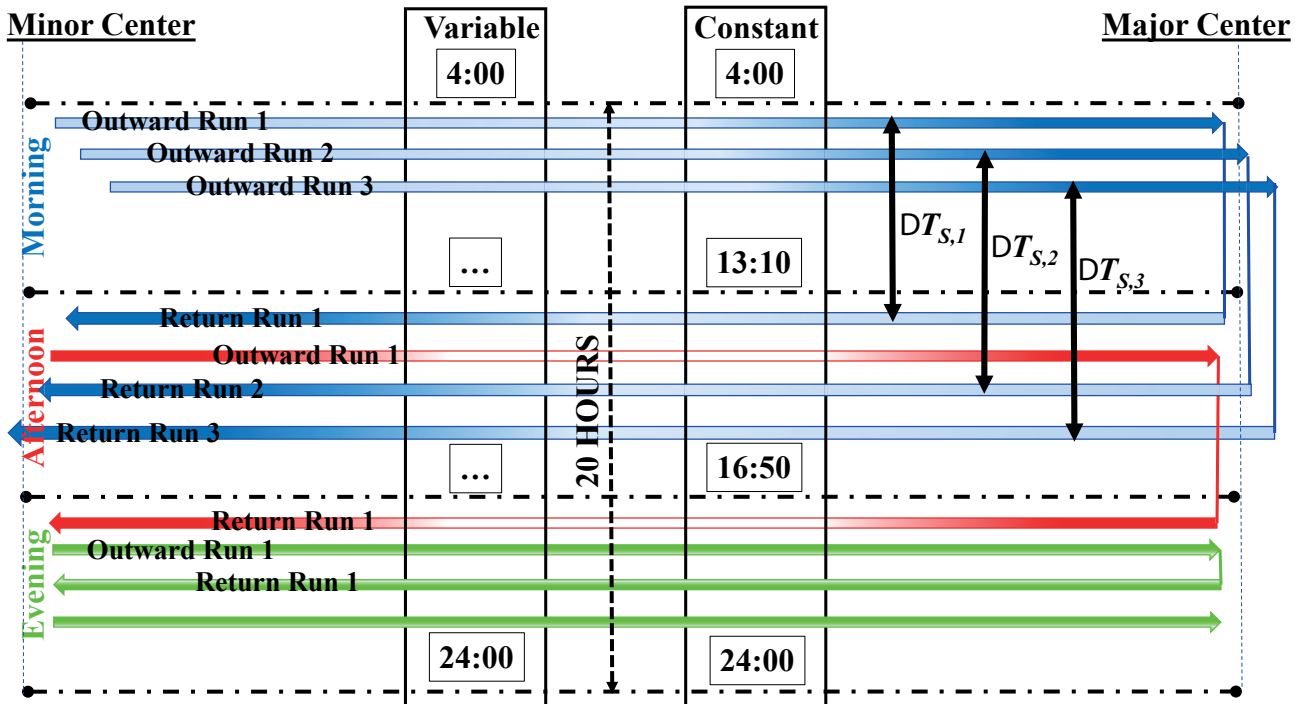


Figura 4 – Schema rappresentativo dell'algoritmo per la stima del tempo di stazionamento dall'orario.
Figure 4 – Diagram representing the algorithm for estimating stopping time from the timetable.

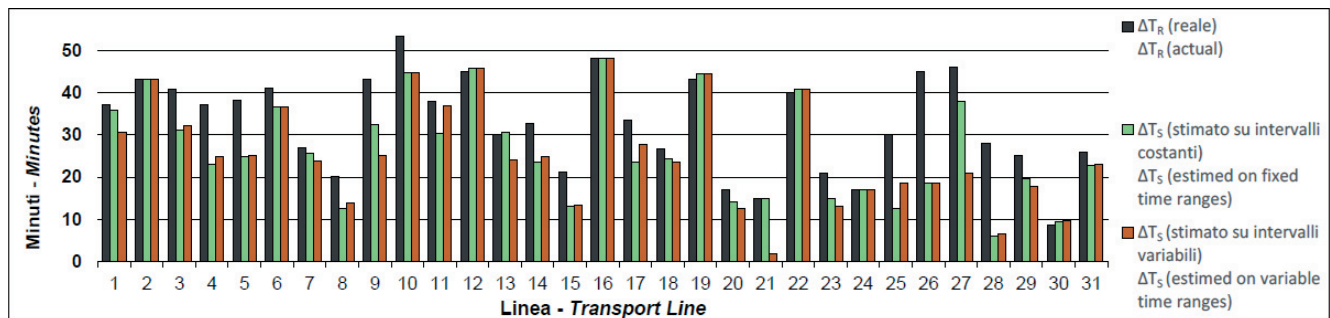


Figura 5 - Confronto tra il tempo effettivo di stazionamento e il parametro ΔT_S misurato con una finestra variabile e costante.

Figure 5 - Comparison between the actual stopping time and the parameter ΔT_S measured with a variable and constant window.

linea. Dalla figura in questione si rileva che la differenza fra valori rilevati e valori stimati risulta decisamente accettabile.

estimated from the timetable using the proposed algorithm $\Delta T_{S,b}$ based on three intervals that are constant for all lines or different for each line. The figure shows that the difference between the measured and estimated values is quite acceptable.

3.4. Modello per il calcolo del coefficiente correttivo

È stato sviluppato un modello statistico per stimare il coefficiente correttivo del costo ottenuto tramite il modello DM (oppure tramite la maggior parte dei modelli che non sono sensibili al PdE), utilizzando esclusivamente l'orario e altre informazioni pubbliche.

Sono state individuate in prima battuta diverse variabili esplicative, potenzialmente correlate al coefficiente correttivo K perché legate anche indirettamente ai tempi di stazionamento dei conducenti ai capolinea durante il turno di lavoro:

- Frequenza delle corse (X1) [corse/anno], prodotto del numero di corse al giorno per il numero di giorni in un anno in cui il servizio è offerto.
- Frequenza del servizio (Fq) [giorni/anno], numero di giorni all'anno nei quali ciascuna linea è in esercizio.
- Durata temporale media delle corse (Tc) [ore/corsa], rapporto fra le ore di servizio rese al pubblico in un anno lungo una linea e il numero di corse effettuate lungo la stessa; rappresenta la media dei tempi di viaggio di tutte le corse offerte sulla linea considerata.
- Intensità del servizio (Fs) [bus-km/anno per km di linea], rapporto fra la percorrenza complessiva realizzata sulla linea in un anno e la distanza misurata fra i capolinea; indica il numero di volte all'anno in cui il percorso fra i due capolinea viene coperto.
- Densità del servizio (Ds) [km/km²], rapporto tra la percorrenza sviluppata annualmente dal servizio e la superficie del territorio servito direttamente; detta grandezza, che è significativa essenzialmente con riferimento ad una rete di servizi, è stata qui calcolata (solo al fine di una selezione preliminare) per ogni singola linea con riferimento alla superficie dell'intera area considerata (3794 km²).

3.4. Model for calculating the correction coefficient

A statistical model has been developed to estimate the corrective coefficient of the cost obtained using the DM model (or most models that are not sensitive to OP), using only the timetable and other public information.

Several explanatory variables were initially identified that are potentially correlated with the correction coefficient K because they are also indirectly related to the stopping time of drivers at terminals during their shift:

- Frequency of rides (X1) [rides/year], product of the number of rides per day by the number of days in a year in which the service is supplied.
- Service frequency (Fq) [days/year], number of days per year on which each line is in operation.
- Average ride time (Tc) [hours/rides], ratio between the hours of service provided to the public in a year along a line and the number of rides made along that line; represents the average ride time of all rides offered on the line in question.
- Service intensity (Sis) [bus-km/year per km of line], ratio between the total distance traveled on the line in a year and the distance measured between the termini; indicates the number of times per year that the route between the two termini is covered.
- Service density (Ds) [km/km²], ratio between the distance traveled annually by the service and the surface area of the territory directly served; this quantity, which is essentially significant with reference to a network of services, has been calculated here (only for the purposes of preliminary selection) for each individual line with reference to the surface area of the entire area considered (3794 km²).
- Peak factor (PHF), ratio between the number of rides supplied during the peak period of the day and those

- Fattore di punta (*PHF*), rapporto fra il numero di corse offerte nel periodo di punta della giornata e quelle nell'intera giornata, ricondotte ad un intervallo della stessa ampiezza dell'intervallo di punta; questa variabile è stata calcolata su tre diversi periodi della giornata per individuare quello più significativo.
- Lunghezza della linea (*L*) [km], percorso fra i capolinea misurato in andata e ritorno.
- Tempo di sosta (ΔT_s) [ore] trascorso dai conducenti ai capolinea, stimato dal quadro orario per mezzo dell'algoritmo descritto nel paragrafo precedente.

Sono state analizzate correlazioni bivariate per individuare variabili ridondanti. I risultati principali sono riportati in Tab. 3.

La densità del servizio (*Ds*) mostra una correlazione trascurabile con *K* ($R^2=0,0958$), probabilmente perché il campione è composto esclusivamente da linee extraurbane con capolinea molto distanti, che non consentono

throughout the day, reduced to an interval of the same width as the peak interval; this variable was calculated over three different periods of the day to identify the most significant one.

- Line length (*L*) [km], distance between the termini measured as a round trip.
- Stopping time (ΔT_s) [hours] spent by drivers at the terminals, estimated from the timetable using the algorithm described in the previous paragraph.

Bivariate correlations were analyzed to identify redundant variables. The main results are shown in Tab.3.

Service density (*Ds*) shows a negligible correlation with *K* ($R^2=0.0958$), probably because the sample consists exclusively of suburban lines with very distant terminals, which do not allow the driver to be used on alternative lines during the wait.

Multiple regressions were then performed, assuming *K*

Tabella 3 – Table 3

Sintesi dei risultati principali delle regressioni semplici
Summary of the main results of the simple regressions

Variabile dipend. Depend. variable	Variabile indipendente Independent variable		Legge analitica Analytic relationship	R ²	
K	X1		Logaritmica - Logarithmic	0.2089	
	L		Polinomiale 2° - 2nd polynomial	0.1329	
	Ds		Potenza - Power	0.0958	
	Fs		Logaritmica -Logarithmic	0.2910	
	Tc		Logaritmica - Logarithmic	0.1021	
	Fq		Esponenziale - Exponential	0.1048	
	X1/ L		Potenza - Power	0.2103	
	ΔT	a)		Lineare - Linear	0.8208
				Logaritmica - Logarithmic	0.7546
				Potenza - Power	0.6964
				Esponenziale - Exponential	0.6738
		b)		Lineare - Linear	0.9172
				Logaritmica - Logarithmic	0.8277
				Potenza - Power	0.8001
				Esponenziale - Exponential	0.7539
	PHF (a)	Mattina - Morning	Polinomiale 2° - 2nd polynomial	0.2940	
		Pomeriggio - Afternoon		0.3179	
		Sera - Evening		0.1011	
	PHF (b)	Mattina - Morning	Polinomiale 2° - 2nd polynomial	0.2817	
		Pomeriggio - Afternoon		0.2947	
Sera - Evening		0.1521			
a) con finestre temporali costanti – with fixed time ranges b) con finestre temporali variabili – with variable time ranges					

Sintesi dei risultati principali delle regressioni multiple.
Summary of the main results of multiple regressions

Variabile dipendente Dependent variable	Variabili indipendenti Independent variables		R multiplo R multiple	R ² corretto R ² correct	Rif. Numero Ref. number
	Numero Number	Nomi Names			
K	5	X1, L, Fq, Fs, ΔT --- (b)	0.973	0.937	1
	4	X1, L, Ds, ΔT --- (b)	0.952	0.912	2
	3	X1, Fs, ΔT --- (b)	0.966	0.926	3
	3	X1, Fs, ΔT --- (a)	0.898	0.866	4
	3	X1/L, Ds, ΔT --- (a)	0.882	0.856	5
	3	ΔT--(a), L, PHF (Mattina)	0.916	0.821	6
	3	ΔT-- (b), L, PHF (Mattina)	0.963	0.921	7
a) con finestre temporali costanti – with fixed time ranges b) con finestre temporali variabili – with variable time ranges					

l'impiego del conducente su linee alternative durante l'attesa.

Sono state quindi effettuate regressioni multiple, assumendo K come variabile dipendente. I risultati, sintetizzati in Tab. 4, mostrano valori di R multiplo generalmente elevati (0,88 – 0,97). L'algoritmo basato su finestre temporali variabili risulta più performante rispetto a quello con finestre costanti, con un incremento di circa il 10% nel valore di R. Nonostante ciò, per garantire maggiore oggettività e semplicità applicativa, è stato scelto l'algoritmo con finestre temporali costanti.

4. Definizione e validazione del modello

Sebbene l'analisi riportata nella Tab. 4 indichi che la regressione multipla n. 1 rappresenti la soluzione statisticamente più performante, si è scelto di non adottarla integralmente. Tale decisione deriva dall'esigenza di evitare un modello eccessivamente articolato, caratterizzato da un numero elevato di variabili esplicative che ne complirebbero l'applicazione.

Tra tutte le regressioni multiple analizzate, la n. 6 risulta quella che meglio concilia tre aspetti fondamentali: un valore elevato di R², un numero contenuto di variabili e una semplicità computazionale legata all'uso di un intervallo costante per la determinazione dei tempi di sosta. Tale modello, fondato sulle tre variabili ΔT, L e PHF, è stato pertanto selezionato come base per la formulazione definitiva. La validazione tramite test T, F e VIF è stata condotta esclusivamente su questa regressione.

Il modello ottenuto tramite regressione assume la forma:

$$K_{S,i} = 0.316 + 2.90 \times 10^{-3} \Delta T_{S,i} + 1.46 \times 10^{-4} L_i + 5.69 \times 10^{-2} PHF_{Mattina,i} \quad (8)$$

as the dependent variable. The results, summarized in Tab. 4, show generally high multiple R values (0.88–0.97). The algorithm based on variable time windows performs better than the one with constant windows, with an increase of about 10% in the R value. Nevertheless, to ensure greater objectivity and simplicity of application, the algorithm with constant time windows was chosen.

4. Definition and validation of the model

Although the analysis shown in Tab. 4 indicates that multiple regression no. 1 represents the statistically most effective solution, it was decided not to adopt it in its entirety. This decision stems from the need to avoid an overly complex model, characterized by a large number of explanatory variables that would complicate its application.

Of all the multiple regressions analyzed, No. 6 is the one that best reconciles three fundamental aspects: a high R² value, a limited number of variables, and computational simplicity linked to the use of a constant interval for determining stopping times. This model, based on the three variables ΔT, L, and PHF, was therefore selected as the basis for the final formulation. Validation using T, F, and VIF tests was conducted exclusively on this regression.

The model obtained through regression takes the form:

$$K_{S,i} = 0.316 + 2.90 \times 10^{-3} \Delta T_{S,i} + 1.46 \times 10^{-4} L_i + 5.69 \times 10^{-2} PHF_{Morning,i} \quad (8)$$

where:

$\Delta T_{S,i}$ [minutes] = total time drivers spend at the terminus of line (i); L_i [km] = length of line (i);

$PHF_{Morning,i}$ [dimensionless] = peak factor for the morning period.

To ensure the validity of relation (8), it is necessary to

dove:

$\Delta T_{S,i}$ [minuti] = tempo totale di stazionamento dei conducenti ai capolinea della linea (i);

L_i [km] = lunghezza della linea (i);

$PHF_{Mattina,i}$ [adimensionale] = fattore di punta relativo alla fascia mattutina.

Per garantire la validità della relazione (8) è necessario verificarne la significatività complessiva mediante un test F, volto a valutare l'esistenza di una relazione lineare tra la variabile dipendente e l'insieme delle variabili esplicative. Le ipotesi da considerare sono:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_j = 0 \quad (9)$$

$$H_1: \text{almeno un } \beta_j \neq 0 \quad (10)$$

L'ipotesi nulla implica l'assenza di qualsiasi relazione lineare tra il coefficiente K e le variabili esplicative, mentre l'ipotesi alternativa afferma che almeno una di esse contribuisce significativamente alla spiegazione del fenomeno. La statistica di Fisher (F) con (p) e ($n-p-1$) gradi di libertà, è definita come:

$$F = MQR / MQE \quad (11)$$

dove:

(MQR) = media dei quadrati della regressione;

(MQE) = media dei quadrati degli errori.

Il valore ottenuto deve essere confrontato con il valore critico (F_U) (livello di significatività $\alpha = 0.05$), che rappresenta la soglia oltre la quale si rifiuta H_0 . Le regioni decisionali sono:

$$F > F_U \rightarrow \text{rifiuto di } H_0 \quad (12)$$

$$F < F_U \rightarrow \text{accettazione di } H_0 \quad (13)$$

Attraverso specifiche tavole si rileva il valore critico della distribuzione F_U in funzione del numero di variabili del modello p con $n-p-1$ gradi di libertà. Tab. 5 e Tab. 6 riportano i risultati dell'analisi statistica.

Il confronto tra il valore calcolato ($F = 46,971$) e il valore critico ($F_U = 2,95$) mostra che F è nettamente superiore alla soglia tabellare. Di conseguenza, l'ipotesi nulla viene respinta e si conferma l'esistenza di una relazione lineare significativa tra il coefficiente K e almeno una delle variabili esplicative. Il modello risulta quindi statisticamente valido.

verify its overall significance using an F-test, aimed at assessing the existence of a linear relationship between the dependent variable and the set of explanatory variables. The hypotheses to be considered are:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_j = 0 \quad (9)$$

$$H_1: \text{at least one } \beta_j \neq 0 \quad (10)$$

The null hypothesis implies the absence of any linear relationship between the coefficient K and the explanatory variables, while the alternative hypothesis states that at least one of them contributes significantly to the explanation of the phenomenon. Fisher's statistic (F) with (p) and ($n-p-1$) degrees of freedom is defined as:

$$F = MQR / MQE \quad (11)$$

where:

(MQR) = mean of the squares of the regression; (MQE) = mean of the squares of the errors.

The value obtained must be compared with the critical value (F_U) (significance level $\alpha = 0.05$), which represents the threshold beyond which H_0 is rejected. The decision regions are:

$$F > F_U \rightarrow \text{rejection of } H_0 \quad (12)$$

$$F < F_U \rightarrow \text{acceptance of } H_0 \quad (13)$$

Specific tables are used to determine the critical value of the F_U distribution as a function of the number of variables in the model p with $n-p-1$ degrees of freedom. Tables 5 and 6 show the results of the statistical analysis.

The comparison between the calculated value ($F = 46.971$) and the critical value ($F_U = 2.95$) shows that F is significantly higher than the tabulated threshold. Consequently, the null hypothesis is rejected and the existence of a significant linear relationship between the K coefficient and at least one of the explanatory variables is confirmed. The model is therefore statistically valid.

Multicollinearity was verified using the Variance Inflation Factor (VIF), defined as:

$$VIF_j = 1 / (1 - R^2) \quad (14)$$

where R_j^2 is the coefficient of determination obtained by setting the variable X_j as dependent on the others. The criteria adopted are:

- $VIF_j > 5 \rightarrow$ variable to be excluded due to strong correlation;
- $VIF_j = 1 \rightarrow$ variable completely independent;

Tabella 5 – Table 5

Analisi della varianza
Analysis of variance

	GDL	SQ	MQ	F	Significatività F Significance F	F_U (Tabellato) F_U (Table)
Regressione - Regression (*)	3	3.0856	1.0285	46.9711	7.56717E-11	2.95
Residuo - Residue (**)	27	0.5912	0.0219			
Totale - Total	30	3.6768				

(*) p = variabili del modello --- model variables = 3
 (**) $n-p-1$ con -- with: n = numerosità del campione - sample size = 31
 p = variabili del modello - model variables = 3

Tabella 6 – Table 6
Statistiche della regressione multipla
Multiple regression statistics

R multiplo – R multiple	0.9160
R²	0.8392
R²_c	0.8213
Errore Standard – Standard error	0.1079
Osservazioni - Observations	31

La verifica della multicollinearità è stata condotta tramite il *Variance Inflation Factor* (VIF), definito come:

$$VIF_j = 1 / (1 - R_j^2) \quad (14)$$

dove R_j^2 è il coefficiente di determinazione ottenuto ponendo la variabile X_j come dipendente rispetto alle altre.

I criteri adottati sono:

- $VIF_j > 5 \rightarrow$ variabile da escludere per forte correlazione;
- $VIF_j = 1 \rightarrow$ variabile completamente indipendente;
- $1 \leq VIF_j \leq 5 \rightarrow$ variabile accettabile nella formulazione del modello.

La Tab. 7 attesta che tutte le variabili presenti nel modello (8), cioè ΔT , L , $PHF_{Mattina}$, sono accettabili perché soddisfano la verifica di collinearità ($VIF < 5$).

Per valutare la capacità predittiva del modello, si è confrontato il coefficiente reale $K_{R,i}$, ricavato dai turni di servizio dei conducenti, con il coefficiente stimato $K_{S,i}$. Il primo passo è consistito nel calcolo della statistica t di Student:

$$T = r \cdot \sqrt{[(n - 2) / (1 - r^2)]} = 12,30 \quad (15)$$

- $1 \leq VIF_j \leq 5 \rightarrow$ variable acceptable in the formulation of the model.

Tab. 7 shows that all variables in model (8), i.e., ΔT , L , $PHF_{Morning}$ are acceptable because they satisfy the collinearity test ($VIF < 5$).

To evaluate the predictive capacity of the model, the actual coefficient $K_{R,i}$, obtained from the drivers' shifts, was compared with the estimated coefficient $K_{S,i}$. The first step consisted in calculating Student's t -statistic:

$$T = r \cdot \sqrt{[(n - 2) / (1 - r^2)]} = 12.30 \quad (15)$$

where:

- $r = 0.9160$ is the correlation coefficient between the two series under examination (measured values and estimated values);
- n is the number of degrees of freedom and therefore, in this case, the number of lines in the sample. The value obtained from (15) was used to detect the probability associated with the t -distribution:

$$t = f(T; n-2) < 0.05 \quad (16)$$

The following t -test was also conducted:

$$t\text{-test} = f(\text{series } K_{R,i}; \text{series } K_{S,i}; \text{two-tailed distribution; paired test}) \rightarrow \quad (17)$$

The tests confirm that there are no statistically significant differences between the actual $K_{R,i}$ values and the estimated $K_{S,i}$ values, as shown in Fig. 6. The model is therefore reliable in representing the phenomenon.

Finally, Fig. 7 shows a comparison, with reference to each of the 31 lines in the sample, between the cost estimated by the

Tabella 7 – Table 7

Verifica della multicollinearità
Multicollinearity check

Variabile dipendente Dependent variable	Variabili indipendenti Independent variables	R multiplo R multiple	VIF	Esito della verifica Verification result
ΔT	L, PHF (Mattina - Morning)	0.6252	1.6417	Positivo - Positive
L	ΔT , PHF (Mattina - Morning)	0.3817	1.1706	Positivo - Positive
PHF (Mattina - Morning)	PHF (Mattina - Morning), L	0.6795	1.8578	Positivo - Positive

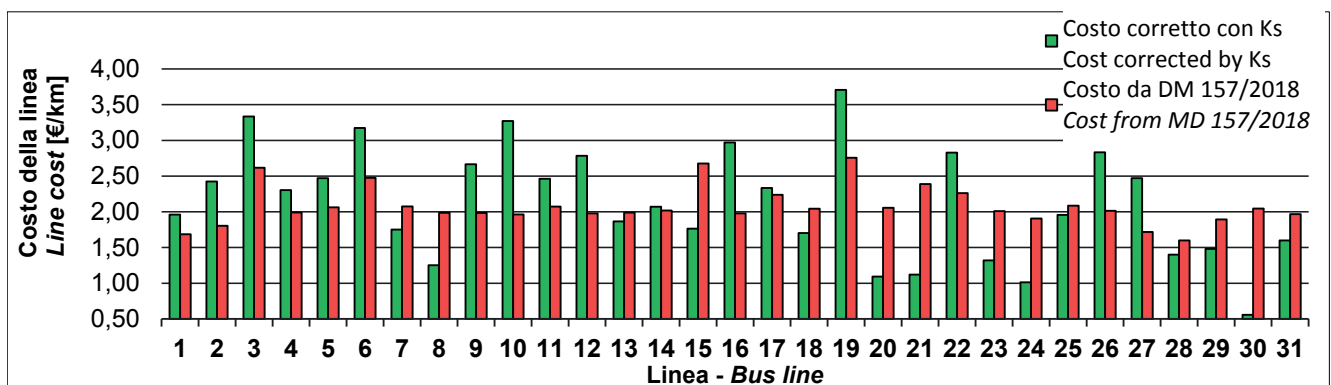


Figura 6 - Confronto tra il costo reale (D.M. 157/2018) e quello "corretto" attraverso il coefficiente K_S .
Figure 6 - Comparison between the actual cost (D.M. 157/2018) and the "corrected" cost using the K_S coefficient.

dove:

- $r = 0,9160$) è il coefficiente di correlazione tra le due serie in esame (valori rilevati e valori stimati);
- n è il numero di gradi di libertà e quindi nella fattispecie al numero di linee del campione.

Il valore ottenuto dalla (15) è stato utilizzato per determinare la probabilità associata alla distribuzione t :

$$t = f(T; n-2) < 0,05 \quad (16)$$

È stato inoltre condotto il t -test di seguito:

$$t\text{-test} = f(\text{serie } K_{R,i}; \text{serie } K_{S,i}; \text{distribuzione a due code; test accoppiato}) \rightarrow \quad (17)$$

Le verifiche confermano che non esistono differenze statisticamente significative tra i valori $K_{R,i}$ reali e quelli $K_{S,i}$ stimati, come illustrato in Fig. 6. Il modello risulta quindi affidabile nella rappresentazione del fenomeno.

Infine si riporta in Fig. 7 in confronto, con riferimento a ciascuna delle 31 linee del campione, fra il costo ricavato dal modello del DM (quindi non strettamente legato al PdE attuato) e quello ottenuto da quest'ultimo moltiplicandolo per il coefficiente correttivo $K_{S,i}$ che tiene conto espressamente del PdE attraverso i tempi di stazionamento dei conducenti ai capolinea. Le differenze più marcate emergono sulle linee caratterizzate da tempi di stazionamento elevati a cui corrispondono valori più alti di $K_{S,i}$ e quindi correzioni più sensibili. Inoltre il costo DM è inversamente proporzionale alla velocità commerciale, variabile ovviamente non presente nel modello di K ; il costo corretto diminuisce all'aumentare del numero di corse annue, riflettendo una maggiore efficienza nell'impiego dei conducenti sulle linee servite da più corse.

5. Discussione

L'analisi sviluppata in questo studio prende avvio dall'evidenza che la maggior parte dei modelli di stima del costo del trasporto pubblico (TP) su gomma non incorpora, nella propria formulazione, le caratteristiche del programma di esercizio (PdE) effettivamente attuato. Tale mancanza rappresenta un limite rilevante, poiché il PdE influenza in modo diretto l'impiego dei fattori produttivi e, di conseguenza, i costi reali del servizio. In Italia, il modello per la stima del costo standard del TPL su gomma prescritto dal D.M. 157/2018, pur presentandosi affidabile perché costruito su una base informativa molto estesa fornita dall'Osservatorio Nazionale per le Politiche del TPL, condivide il limite comune di non essere sufficientemente sensibile alle caratteristiche del PdE in quanto ne tiene conto solo attraverso riduzioni della velocità commerciale conseguenti a valori convenzionali delle soste ai capolinea.

L'obiettivo perseguito è stato quindi quello di definire una metodologia capace di superare questa criticità senza dover costruire un nuovo modello di costo la cui affidabi-

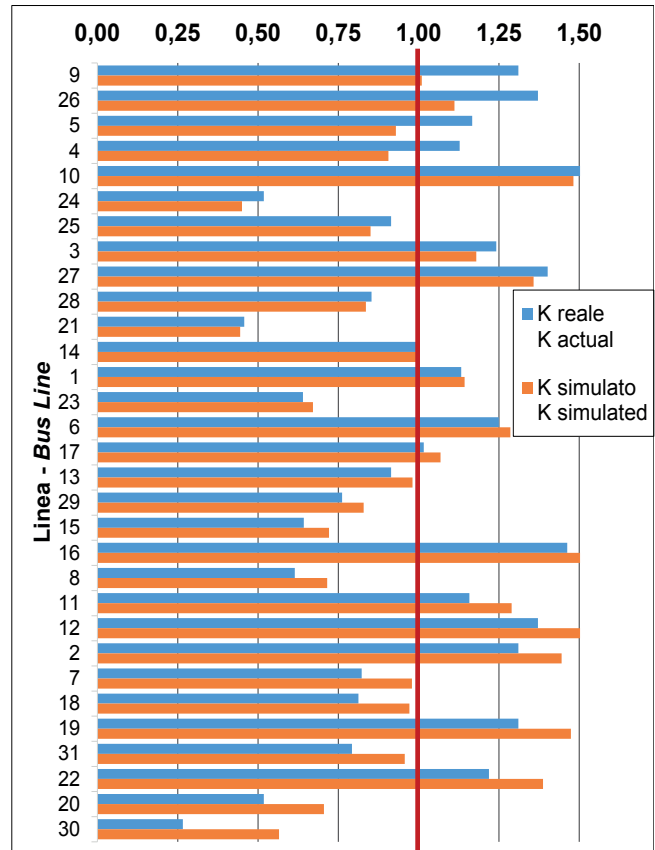


Figura 7 - Confronto tra il coefficiente K effettivo e quello stimato attraverso il modello proposto.

Figure 7 - Comparison between the actual K coefficient and the one estimated using the proposed model.

DM model (therefore not strictly linked to the OP implemented) and that estimated by the latter by multiplying it by the correction coefficient $K_{S,i}$ which expressly takes into account the OP through the stopping times of drivers at the terminals. The most marked differences emerge on lines characterized by high stopping times, which correspond to higher values of $K_{S,i}$ and therefore more significant corrections.

Furthermore, the DM cost is inversely proportional to the commercial speed, a variable that is obviously not present in the K model; the corrected cost decreases as the number of annual rides increases, reflecting greater efficiency in the use of drivers on lines served by more rides.

5. Discussion

The analysis developed in this study starts from the evidence that most models for estimating the cost of public transport (PT) by road do not incorporate the characteristics of the operating program (OP) actually implemented in their formulation. This omission represents a significant limitation, since the OP directly influences the use of production factors and, consequently, the actual costs of the service. In Italy, the model for estimating the standard cost of road local public transport

lità avrebbe richiesto la disponibilità di un campione di indagine molto esteso. La strategia adottata è consistita nell'introdurre un coefficiente correttivo K che consente di adeguare il costo stimato da modelli già disponibili, tenendo conto esclusivamente delle peculiarità del PdE. Questo approccio presenta il significativo vantaggio di poter essere applicato a qualunque modello di costo che non consideri il PdE, inclusi quelli resi obbligatori da normative nazionali. Ne deriva una metodologia flessibile e generalizzabile, utilizzabile anche con il modello imposto dal DM. 157/2018 senza modificarne la struttura e quindi conservandone l'affidabilità.

Allo scopo è stato sviluppato un modello che esprime il coefficiente correttivo K come funzione di variabili ricavabili direttamente dall'orario delle corse attraverso un algoritmo appositamente costruito. La scelta di basarsi esclusivamente su informazioni desumibili dall'orario risponde alla necessità di prescindere dai turni di lavoro dei conducenti, dati che le aziende non rendono disponibili in quanto parte del proprio know-how. Evidentemente, se tali informazioni fossero accessibili, il tempo di stazionamento ai capolinea potrebbe essere ricavato in modo diretto, rendendo superfluo il modello proposto.

La metodologia proposta, applicata per correggere il costo standard ricavato dal modello del DM, permette di ottenere un risultato più vicino al vero, in particolare per quei servizi di TPL, caratterizzati da linee lunghe esercite con poche corse al giorno, nei quali i tempi di stazionamento ai capolinea contribuiscono sensibilmente ad aumentare il numero di conducenti e mezzi necessari. Nello specifico, nell'applicare il modello di costo del DM, si dovrà determinare la velocità commerciale del servizio in esame trascurando i tempi di sosta convenzionali ai capolinea previsti dall'art. 2 della norma in questione, giacché questi ultimi sono considerati con maggiore dettaglio e precisione attraverso la metodologia di correzione del costo qui proposta. In termini di policy, una stima più realistica del costo standard rende possibile una più equa distribuzione delle risorse del Fondo Nazionale Trasporti fra le regioni e l'individuazione di un costo a base di gara più attinente allo specifico servizio da appaltare.

Lo studio ha utilizzato un data-base relativo a un servizio regionale composto da 31 linee, comprendente sia gli orari delle corse sia i turni dei conducenti messi gentilmente a disposizione degli autori, per sole finalità di ricerca, dalla ditta esercente i servizi. Questo ha permesso di calibrare il modello e di verificare la coerenza tra i tempi di stazionamento stimati attraverso l'algoritmo e quelli effettivi.

Il lavoro fornisce un duplice contributo. Da un lato, propone un procedimento che consente di perfezionare il costo stimato da un modello affidabile ma insensibile al PdE, correggendolo sulla base delle caratteristiche dell'esercizio. Dall'altro, mette a disposizione un modello specifico per il calcolo del coefficiente, fondato principalmente sul tempo di stazionamento dei conducenti ai capolinea, e un algoritmo

(LPT) prescribed by Ministerial Decree 157/2018, although reliable because it is based on extensive information provided by the Italian National Observatory for Public Transport Policies, shares the common limitation of not being sufficiently sensitive to the characteristics of the OP, as it only takes them into account through reductions in commercial speed resulting from conventional values for stops at terminals.

The objective was therefore to define a methodology capable of overcoming this critical issue without having to build a new cost model, the reliability of which would have required the availability of a very extensive survey sample. The strategy adopted consisted of introducing a corrective coefficient K that allows the cost estimated by existing models to be adjusted, taking into account only the specific characteristics of the OP. This approach has the significant advantage of being applicable to any cost model that does not consider the OP, including those made mandatory by national regulations. The result is a flexible and generalizable methodology that can also be used with the model imposed in Italy by Ministerial Decree 157/2018 without changing its structure and thus preserving its reliability.

To this end, a model has been developed that expresses the correction coefficient K as a function of variables that can be obtained directly from the timetable using a specially designed algorithm. The decision to rely exclusively on information that can be inferred from the timetable responds to the need to disregard drivers' work shifts, data that companies do not make available as part of their know-how. Obviously, if such information were accessible, the time spent at the terminals could be obtained directly, making the proposed model superfluous.

The proposed methodology, applied to correct the standard cost derived from the DM model, allows for a more accurate result, particularly for those public transport services characterized by long routes with few rides per day, in which stopping times at terminals significantly contribute to increasing the number of drivers and vehicles required. Specifically, when applying the DM cost model, the commercial speed of the service in question must be determined, disregarding the conventional stopping times at terminals provided for in Article 2 of the Regulation in question, as these are considered in greater detail and with greater precision through the cost correction methodology proposed here. In terms of policy, a more realistic estimate of the standard cost makes it possible to distribute the resources of the State fund more equitably among the regions and to identify a tender-based cost that is more relevant to the specific service to be contracted.

The study used a database relating to a regional service consisting of 31 lines, including both timetables and driver shifts, kindly made available to the authors for research purposes only by the company operating the services. This made it possible to calibrate the model and verify the consistency between the parking times estimated using the algorithm and the actual times.

The work makes a twofold contribution. On the one hand, it proposes a procedure that allows the estimated cost to be refined using a reliable model that is insensitive to the

mo che permette di stimare tale tempo a partire dal solo orario di servizio. Il modello è direttamente applicabile a contesti simili a quello utilizzato per la calibrazione. In scenari diversi, una ricalibrazione è consigliabile; per servizi con caratteristiche molto differenti (ad esempio servizi urbani ad alta frequenza), potrebbe essere opportuno introdurre ulteriori variabili più rappresentative dell'impiego di mezzi e personale. In ogni caso è evidente che in contesti urbani e comunque in presenza di linee brevi coperte da numerose corse nelle quali è quindi possibile impiegare conducenti e mezzi su più linee durante lo stesso turno di lavoro, la necessità correggere il costo calcolato con un modello insensibile al PdE è meno sentita perché i tempi di stazionamento di conducenti e mezzi ai capolinea sono molto contenuti e possono addirittura diventare trascurabili.

Le analisi condotte hanno confermato la necessità di tener conto, per queste stime di costo, della normativa italiana che impone di riconoscere ai conducenti, come tempo di lavoro, solo una quota del 12% del tempo di stazionamento eccedente i 30 minuti. Qualora tale prescrizione venisse modificata o si operasse in paesi con regole differenti, sarebbe necessaria una nuova calibrazione del modello. In contesti in cui il tempo di stazionamento non fosse riconosciuto neppure in parte come tempo di lavoro, il costo chilometrico non dipenderebbe più dal PdE e i modelli tradizionali risulterebbero sufficienti senza necessità di correzioni.

I risultati ottenuti mostrano che la metodologia proposta è in grado di riprodurre con buona accuratezza i costi unitari reali, offrendo uno strumento di stima del costo standard accessibile e sufficientemente affidabile. L'impostazione metodologica appare promettente e suscettibile di ulteriori sviluppi, tra cui l'estensione della calibrazione a un campione più ampio di servizi e aziende, al fine di aumentarne la robustezza statistica e l'applicabilità a differenti tipologie di TPL e contesti territoriali.

La possibilità di stimare un costo standard più aderente alla realtà operativa rappresenta un supporto concreto per diverse categorie di operatori, in particolare:

- enti affidanti, che possono determinare con maggiore precisione le compensazioni economiche da riconoscere alle aziende;
- pianificatori del TP, che dispongono di uno strumento utile per progettare servizi più efficienti;
- gestori del servizio, che possono formulare offerte più coerenti con i costi effettivi, favorendo una competizione più equilibrata nelle procedure di gara.

Un ulteriore punto di forza della metodologia risiede nella sua applicabilità in qualunque contesto internazionale. Poiché il modello fornisce un coefficiente correttivo e non un costo diretto, esso può essere combinato con qualsiasi modello di costo standard non sensibile al PdE, anche quelli imposti da normative locali. Il costo stimato viene semplicemente moltiplicato per il coefficiente ottenuto dal modello proposto, rendendo la metodologia utilizzabile in modo universale, con le sole ricalibrazioni necessarie per adattarla alle specificità del contesto.

OP, correcting it on the basis of the characteristics of the operation. On the other hand, it provides a specific model for calculating the coefficient, based mainly on the stopping time of drivers at terminals, and an algorithm that allows this time to be estimated from the service timetable alone. The model is directly applicable to contexts similar to the one used for calibration. In different scenarios, recalibration is advisable; for services with very different characteristics (e.g., high-frequency urban services), it may be appropriate to introduce additional variables that are more representative of the use of vehicles and personnel. In any case, it is clear that in urban contexts and in any case in the presence of short lines covered by numerous rides, where it is therefore possible to use drivers and vehicles on multiple lines during the same work shift, the need to correct the cost calculated with a model insensitive to the OP is less pressing because the stopping times of drivers and vehicles at the terminals are very limited and may even become negligible.

The analyses conducted confirmed the need to take into account, for these cost estimates, the Italian legislation that requires drivers to be recognized as working time only 12% of the parking time exceeding 30 minutes. If this requirement were to be changed or if operations were to take place in countries with different rules, a new calibration of the model would be necessary. In contexts where parking time is not recognized even partially as working time, the cost per kilometer would no longer depend on the OP, and traditional models would be sufficient without the need for corrections.

The results obtained show that the proposed methodology is able to reproduce real unit costs with good accuracy, providing an accessible and sufficiently reliable standard cost estimation tool. The methodological approach appears promising and susceptible to further development, including the extension of calibration to a larger sample of services and companies, in order to increase its statistical robustness and applicability to different types of public transport and territorial contexts.

The ability to estimate a standard cost that more closely reflects operational reality provides concrete support for various categories of operators, in particular:

- *contracting authorities, which can estimate with greater precision the financial compensation to be paid to companies;*
- *public transport planners, who have a useful tool for designing more efficient services;*
- *service operators, who can formulate bids that are more consistent with actual costs, promoting more balanced competition in tendering procedures.*

A further strength of the methodology lies in its applicability in any international context. Since the model provides a correction coefficient and not a direct cost, it can be combined with any standard cost model that is not sensitive to the OP, even those imposed by local regulations. The estimated cost is simply multiplied by the coefficient obtained from the proposed model, making the methodology universally applicable, with only the necessary recalibrations to adapt it to the specificities of the context.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] OJEU (Official Journal of the European Union, Directive), (2007), (2016). EU no. 2007/1370 of the European Commission, modified with Directive (EU) no. 2338/2016. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2016/2338/oj/eng>.
- [2] PETRUCCELLI U., VUONO P. (2024), “*Il fondo nazionale e le politiche del trasporto pubblico locale tra obiettivi di efficienza ed equità metodo per la stima del costo del trasporto pubblico su gomma - The National Fund and local public transport policies between efficiency and equity objectives*”. *Ingegneria Ferroviaria*, 2, 103-130. <https://doi.org/10.57597/IF.02.2024.ART.2>.
- [3] PETRUCCELLI U. (2021). “*Indicazioni per l'aggiornamento del D.M. sui costi standard per il trasporto pubblico locale*”. In Proceedings of the 4° Convegno, Sistema su Gomma nel Trasporto Passeggeri, Roma, Italia, Giornate di Studio 13 e 14 ottobre. https://www.researchgate.net/publication/366645413_Indicazioni_per_l'aggiornamento_del_DM_sui_costi_standard_per_il_trasporto_pubblico_locale_Instructions_for_updating_the_Italian_Ministerial_Decree_on_the_standard_costs_for_local_public_transport
- [4] FILIPPINI M., MAGGI R., PRIONI P. (2001), “*Cost-based Yardstick Regulation in the Swiss Regional Public Bus Industry*”. 1st Swiss Transport Research Conference, Monte Verità/Ascona. https://www.researchgate.net/publication/228603705_Costbased_Yardstick_Regulation_in_the_Swiss_Regional_Public_Bus_Industry.
- [5] DALEN D.M., GOMEZ LOBO A. (2002), “*Regulatory contracts and cost efficiency in the Norwegian Bus Industry: Do high-powered contracts really work*”. 7th Annual Conference of the Latin American and Caribbean Economic Association, Discussion Paper 6. <http://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/94048/1/Dalen1dp2002-06.pdf>.
- [6] FRAQUELLI G., PIACENZA M., ABRATE G. (2004), “*Regulating Public Transit Networks: How do Urban Intercity Diversification and Speed up Measures Affect Firms' Cost Performance?*” *Annals of Public and Cooperative Economics*, 75(2), 193-225. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1467-8292.2004.00250.x>.
- [7] BRUUN E. (2005), “*Bus rapid transit and light rail: comparing operating costs with a parametric cost model*”. *Transportation Research Record*, 1927, 1. <https://doi.org/10.1177/0361198105192700102>.
- [8] CUBUKCU KM. (2006), “*Cost of Urban Bus Transit Operations and Geography of Service Territory*”. Conference of Regional and Urban Modeling, Free University of Brussels. <http://ecomod.net/sites/default/files/document-conference/ecomod2006-rum/1149.pdf>.
- [9] CUBUKCU K.M. (2008), “*Examining the cost structure of urban bus transit industry: does urban geography help?*”. *Journal of Transport Geography*, 16, 278-291. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2007.09.001>.
- [10] ISEKI H. (2008), “*Economies of scale in bus transit service in the USA: How does cost efficiency vary by agency size and level of contracting?*”. *Transportation Research Part A*, 42, 1086-1097. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2008.03.017>.
- [11] ANAV, La Sapienza University (2013), “*La determinazione del costo standard nei servizi di trasporto pubblico locale su autobus: aspetti metodologici e prime esperienze applicative*”. Residenza di Ripetta, Roma. <http://www.filt.veneto.cgil.it/sites/default/files/2014%201%2017%20COSTI%20STANDARD%20TPL.pdf>(accessed on 18 December 2015).
- [12] ASSTRA (2013), “*Un modello di calcolo del costo standard per il trasporto pubblico locale e regionale automobilistico*”. Audizione presso la IX Commissione trasporti, poste e telecomunicazioni della Camera dei Deputati. Roma. <https://www.camera.it/temiap/temi17/Asstra%20%20percorsi%20di%20sviluppo%20per%20il%20trasporto%20pubblico%20locale.pdf>.
- [13] Regione Veneto (2013), “*Costruzione del Costo Standard 2010 per il TPL su gomma e metrotram - Descrizione del metodo, delle attività svolte e delle risultanze raggiunte relazione finale*. 12 marzo 2013”, allegato G alla D.gr n. 686 del 14 maggio 2013. <https://bur.regione.veneto.it/BurvServices/pubblica/DettaglioDgr.aspx?id=249942>.
- [14] Regione Friuli - Venezia Giulia (2013), “*Piano Regionale del Trasporto Pubblico Locale - Relazione Illustrativa*”. Delibera n.605/2013. https://mtom.regione.fvg.it/storage//2013_605/Allegato%201%20alla%20Delibera%20605-2013.pdf.
- [15] ABRATE G., ERBETTA F., FRAQUELLI G., VANNONI D. (2014), “*Cost function estimation of multi-service firms. Evidence from the passenger transport industry*”. Carlo Alberto Notebooks, n. 380. <http://www.carloalberto.org/assets/working-papers/no.380.pdf>.
- [16] AVENALI A., BOITANI A., CATALANO G., D'ALFONSO T., MATTEUCCI G. (2014), “*Un modello per la determinazione del costo standard nei servizi di trasporto pubblico locale su autobus in Italia*”. *Economia e Politica Industriale*, 4, 181-213. DOI 10.3280/POLI2014-004009. <https://www.francoangeli.it/riviste/articolo/52558>.
- [17] AVENALI A., BOITANI A., CATALANO G., D'ALFONSO T., MATTEUCCI G. (2016), “*Assessing standard costs in local public bus*

- transport: evidence from Italy*". *Transport Policy*, 52, 164-174. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0967070X16303286>.
- [18] AVENALI A., BOITANI A., CATALANO G., D'ALFONSO T., MATTEUCCI G. (2018). "Assessing standard costs in local public bus transport: A hybrid cost model". *Transport Policy*, 62, 48-57. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0967070X17301245>.
- [19] PETRUCCELLI U., CARLEO S. (2017), "Cost models for local road transit". *Public Transport*, 9, 527-548. <https://doi.org/10.1007/s12469-017-0162-2>.
- [20] DELLA LUCIA L., MENEGUZZER C., ZOTTIS G. (2018), "Un approccio semplificato al calcolo del costo standard nel Trasporto Pubblico Locale - A simplified approach to the determination of standard cost in Local Public Transport". *Ingegneria Ferroviaria*, 11, 883-898. <https://www.ingegneriaferroviaria.it/web/it/content/un-approccio-semplificato-al-calcolo-del-cost-standard-nel-trasporto-pubblico-locale>.
- [21] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Decreto 28/03/2018 no.157. "Definizione dei costi standard dei servizi di trasporto pubblico locale e regionale e dei criteri di aggiornamento e applicazione". *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana* n.126 del 1/06/2018. <https://www.mit.gov.it/normativa/decreto-ministeriale-numero-157-del-28032018>.
- [22] PETRUCCELLI U., CIAMPA S., DIOMEDI M., OLITA S. (2020), "L'offerta di trasporto pubblico locale in Italia: analisi dei dati dell'Osservatorio Nazionale per le Politiche del Trasporto Pubblico Locale - Local public transport supply in Italy: analysis of data from the National Observatory for Local Public Transport Policies". *Ingegneria Ferroviaria*, 9, 599-632. <https://www.ingegneriaferroviaria.it/web/it/content/l%E2%80%99offerta-di-trasporto-pubblico-locale-italia-analisi-dei-dati-dell%E2%80%99osservatorio-nazionale>.
- [23] BATARCE M., GALILEA P. (2018), "Cost and fare estimation for the bus transit system of Santiago". *Transport Policy*, 64, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.01.002>.
- [24] PETRUCCELLI U., RACINA A. (2019), "Stima del numero di conducenti come strumento di efficientamento dei servizi di trasporto pubblico - Assessment of the number of drivers as a tool for improving the efficiency of public transit services". *Ingegneria Ferroviaria*, 4, 295-315. <https://www.ingegneriaferroviaria.it/web/it/content/stima-del-numero-di-conducenti-come-strumento-di-efficientamento-dei-servizi-di-trasporto>.
- [25] PETRUCCELLI U., RACINA A. (2021). "Feeder-trunk and direct-link schemes for public transit: a model to evaluate the produced accessibility". *Public Transport*, 13, 301–323. <https://doi.org/10.1007/s12469-021-00262-4>.
- [26] MEHRAN B., YANG Y., MISHRA S. (2020), "Analytical models for comparing operational costs of regular bus and semi-flexible transit services". *Public Transport* (2020) 12:147–169. <https://doi.org/10.1007/s12469-019-00222-z>.
- [27] ASEEVAA M. A., ZOLKINB A.L., CHISTYAKOV M.S., DRAGULENKOD V.V., BREUSOVAE E.A. (2022), "Personnel costs management as an important trend of competitiveness improvement of transport sector." *Transportation Research Procedia* 61, 16–21. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.01.004>.
- [28] SIMONELLI F., PAPOLA A., TINESSA F., TOCCHI D., MARZANO V. (2023), "Towards a bottom-up estimation of a standard unit operating cost for bus operators: Methodology and policy implications in Italy". *Transport Policy*. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2023.101017>.
- [29] GERIKA G.R., MARLENO R., MUHAMMADUN H. (2025), "Suroboyo Bus Vehicle Operating Cost Analysis". *International Journal of Engineering Business and Social Science*, 3, 3. <https://doi.org/10.58451/ijebss.v3i3.214>.
- [30] PETRUCCELLI U., VUONO P. (2024), "Modelli per la stima del costo del trasporto pubblico su strada: uno stato dell'arte" - Models for estimating the cost of road public transit: a state of the art. *Ingegneria Ferroviaria*, 10. <https://doi.org/10.57597/IF.10.2024.ART.1>.