



## Stima del numero di conducenti come strumento di efficientamento dei servizi di trasporto pubblico

### *Assessment of the drivers number as a tool for improving efficiency of public transport services*

Umberto PETRUCCELLI<sup>(\*)</sup>  
Antonello RACINA<sup>(\*\*)</sup>

**Sommario** - Lo studio sviluppa una metodologia e propone due modelli regressivi per determinare il numero di conducenti sulla base delle effettive caratteristiche del servizio di trasporto pubblico su gomma da realizzare. Queste caratteristiche sono portate in conto attraverso parametri sintetici misurati direttamente sul servizio in questione. In questo modo si supera il principale limite dei modelli di costo oggi esistenti che utilizzano fra gli input il numero di conducenti calcolato attraverso parametri medi tratti da un campione di servizi di trasporto anziché da quello in esame.

La metodologia è stata messa a punto proprio per permettere di stimare il costo del servizio per differenti schemi di offerta, realizzati sulla stessa area, che totalizzano le stesse percorrenze complessive ma hanno diversi livelli di efficacia ed efficienza.

#### 1. Introduzione

Lo sforzo di efficientamento richiesto al trasporto pubblico locale dalle esigenze di contenimento della spesa pubblica impone la progettazione di schemi di offerta più efficienti cioè in grado di utilizzare meglio le risorse ed in particolare i conducenti. Questa voce di costo incide mediamente per oltre il 40% [1] con punte anche superiori al 50%, quindi anche piccole inefficienze nell'utilizzo di questa risorsa possono generare considerevoli incrementi dei costi aziendali. Il problema è maggiormente sentito nelle aree a bassa densità insediativa dove risulta particolarmente difficile coniugare la ridotta disponibilità di fondi, conseguenza diretta di una domanda debole e diffusa, con l'esigenza di garantire accettabili livelli di accessibilità al territorio servito. In queste aree gli interventi di efficientamento sulla rete di offerta si concretizzano spesso nella trasformazione dei collegamenti fino

**Summary** - In this study, we developed a methodology and refined two regressive models for estimating the number of drivers, using actual characteristics of public transport services. These characteristics were taken into account through synthetic parameters that are directly measured on the service in question. In this manner, the main limitation of the existing cost models is overcome. Existing models, in fact, use as inputs the number of drivers calculated through average parameters taken from a sample of transport services rather than the one in question.

Our methodology was developed to specifically allow estimation of the service cost for different supply schemes realised in the same area, with the same overall mileage but with different effectiveness and efficiency levels.

#### 1. Topic

Increase in efficiency of local public transport (LPT) is necessary to contain public spending. The improvement of the service efficiency requires designing and implementing more efficient supply schemes, such that they can make better use of resources and, in particular, drivers. Note that this cost item has an average impact of >40% with peaks of >50% [1]; therefore, even minor inefficiencies in usage of such resources can cause a considerable increase in a company's cost. Moreover, this problem is mostly experienced for low settlement density areas where combining the limited availability of financial resources (a direct consequence of weak and widespread demand) with the requirement of acceptable levels of accessibility for the served territory is particularly difficult. In such areas, efficiency enhancement for the supply network often requires transformation of links, which are currently fulfilled by direct rides, into links fulfilled via two or more integrated rides (feeder-trunk schemes).

<sup>(\*)</sup> Università della Basilicata, Scuola di Ingegneria.

<sup>(\*\*)</sup> Assegnista di ricerca presso l'Università della Basilicata, Scuola di Ingegneria.

<sup>(\*)</sup> University of Basilicata, School of Engineering.

<sup>(\*\*)</sup> Research Grant Holder at University of Basilicata, School of Engineering.

ad oggi realizzati con corse dirette, in collegamenti resi possibili attraverso due o più corse fra loro integrate (feeder-trunk).

I collegamenti feeder-trunk, rispetto a quelli diretti cioè ottenuti con una sola corsa, se è vero che impongono agli utenti il disagio del trasbordo da un veicolo ad un altro, risultano tuttavia più efficienti sotto due diversi aspetti. Per un verso permettono di ottenere sensibili economie nelle percorrenze complessivamente sviluppate che possono essere eventualmente reimpiegate per aumentare il numero di corse e compensare il disagio che i passeggeri sopportano a causa del trasbordo [2]. Per altro verso, i collegamenti integrati, mettendo in atto linee più brevi ed eventualmente un numero più elevato di corse, permettono un maggiore utilizzo dei conducenti nell'ambito del loro turno di lavoro e quindi un aumento delle ore di guida annue prodotte da ciascuno di loro. Ne consegue una riduzione della voce di costo del personale di guida e quindi del costo chilometrico del servizio offerto.

Questa maggiore efficienza, decisamente sensibile, sebbene sia facilmente quantificabile in fase di esercizio conoscendo i turni di servizio del personale di guida, non è tuttavia determinabile in fase di progettazione attraverso l'impiego di gran parte dei modelli di costo. Infatti, questi modelli non tengono conto della struttura dello schema di offerta in grado di influire sensibilmente sul numero di conducenti da impiegare a parità di percorrenze complessivamente sviluppate.

In tutti i paesi EU è sentita la necessità di conoscere con maggiore precisione, a vari livelli, un costo di riferimento o standard per i servizi di trasporto pubblico da affidare mediante gara pubblica [3], [4]. Infatti a livello micro, il costo di riferimento dei servizi sovvenzionati dagli stati membri o dagli enti locali è alla base del meccanismo di quantificazione delle sovvenzioni da erogare alle aziende esercenti. A livello macro, lo stesso costo ha un peso rilevante in una equa ripartizione delle risorse fra le regioni di uno stesso paese che deve essere basata sulle effettive necessità in termini di quantità di servizio e di costi unitari. In quest'ultimo ambito di utilizzo, il costo standard va inteso come il prodotto tra il costo chilometrico standard calcolato secondo determinati criteri ed il fabbisogno standard, cioè la produzione chilometrica necessaria a soddisfare le esigenze della popolazione secondo livelli adeguati di servizio.

La determinazione del costo di un servizio presenta difficoltà ed incertezze differenti per le ditte esercenti e per tutti gli altri soggetti, in quanto esiste una evidente asimmetria informativa fra le prime che possono determinare con un'ottima approssimazione alcuni importanti driver di costo e tutti gli altri che non dispongono generalmente di dati sufficienti per calcolarli. In particolare, se dal programma di esercizio è possibile dedurre il numero di ore di servizio rese dall'offerta considerata, per determinare il numero di conducenti necessari per produrre quelle ore di servizio è necessario conoscere quante

*Feeder-trunk links compared to direct ones, i.e. realized by single rides, are more efficient for two different reasons, although they lead to the inconvenience of passenger transfers from one vehicle to another. First, integrated links help generate significant savings in the overall mileage, which can then be reused to increase number of rides and compensate for the inconvenience endured by passengers because of transfers [2]. Second, integrated links, which require implementation of shorter lines and then a higher number of rides, allow a larger use of drivers during their work shifts; therefore, it increases the annual driving hours rendered by each driver. As a result, integrated links lead to a reduction in the cost of drivers and then the cost per kilometre of the supplied service.*

*However, this greater efficiency, which is substantial, although easily quantified at the operating stage by knowing the work shifts of the driving staff, cannot be assessed at the design stage. In fact, this evaluation is not possible by using the prevailing cost models because they do not consider those features of the supply scheme that can significantly influence the number of drivers that have been used.*

*In the European Union (EU), there is a need, at various levels, to have a more precise knowledge of a reference or a standard cost for public transport services that have to be entrusted through public tenders [3], [4]. In fact, at the micro level, to quantify the subsidies that should be granted to the operating companies, the reference cost of services subsidised by either the EU states or local authorities is used. Similarly, at the macro level, the same cost carries a significant weight for the fair distribution of resources between each country's regions. Indeed, this distribution must be based on the actual requirements of quantity of service and unit costs. In this area of use, the standard cost is to be understood as a product of the standard cost per kilometre, which is calculated according to certain criteria, and the standard requirement, that is, mileage required to ensure adequate levels of service.*

*A valuation of service cost presents different difficulties and uncertainties for companies and for other subjects. This is because there is an information asymmetry between companies that can determine certain important cost drivers with good approximation and all other subjects that generally do not have sufficient data to calculate similar cost drivers. In particular, if quantification of the number of service hours rendered by a supply scheme is possible from the timetable, differently to obtain the required number of drivers to produce those service hours we need to know the number of annual working hours that a driver has actually spent driving. Note that this parameter has to be determined for the specific services because the timetable of rides, travel time, and terminus location affect its value. In fact, a timetable can impose waiting times for drivers between forward and return rides and/or between successive rides. Moreover, terminus locations make it more or less easy to transfer drivers to other lines, which helps in ensuring that they are employed during breaks between two successive rides as well. Therefore, because these characteris-*

delle ore annue di lavoro del conducente sono effettivamente trascorse alla guida. Questo parametro andrebbe determinato con riferimento allo specifico servizio, atteso che sul valore influiscono l'orario delle corse, i tempi di percorrenza e l'ubicazione sul territorio dei capolinea. Infatti l'orario impone ai conducenti tempi di attesa fra una corsa di andata e quella di ritorno e/o fra corse successive e peraltro l'ubicazione dei capolinea rende più o meno facile l'eventuale trasferimento di un conducente su un'altra linea per una sua utilizzazione durante la pausa fra due corse successive. Pertanto, poiché queste caratteristiche variano sensibilmente da un servizio ad un altro, la percentuale di ore annue trascorse alla guida sul totale delle ore di presenza al lavoro per ciascun conducente può essere determinata con una buona approssimazione solo con riferimento allo specifico servizio.

Nella stima del costo è di solito necessario considerare anche altri parametri del servizio i cui valori, così come il numero di conducenti necessari, non sono di solito noti all'esterno dell'azienda esercente e che pertanto vengono assunti pari a valori medi relativi ad un campione di aziende. Ciò porta ad una stima meno precisa allorché detti parametri variano sensibilmente con le caratteristiche dello specifico servizio considerato.

La tabella 1 suddivide i parametri utilizzati nella maggior parte dei modelli di costo, in base a come di solito vengono determinati i relativi valori e cioè con riferimento allo specifico servizio oppure su un campione di servizi o aziende. Mentre i valori ricavati direttamente dal servizio in esame sono certi, in quanto rilevati, quelli tratti da un campione di aziende possono differire anche sensibilmente dai valori rilevabili dallo specifico servizio. In particolare la stima campionaria del valore di ciascun parametro risulta tanto meno attendibile quanto maggiore è la variabilità dello stesso con alcune caratteristiche del servizio. L'attendibilità della stima del costo che utilizza valori campionari dei parametri ne risentirà di conseguenza. Sulla base di tale considerazione, nella Tabella 1 è riportato con colori diversi anche il livello di attendibilità (alto, medio e basso), rispetto al valore reale per il servizio in esame, che ci si può attendere da ciascun parametro in conseguenza di come viene determinato. Si evidenzia che i parametri, i cui valori ricavati come medie campionarie risultano meno attendibili, sono proprio i più importanti driver di costo; fra questi le "ore di guida annue per conducente"

tics can considerably vary from one service to another, the percentage of hours spent driving compared to the total hours of attendance at work for each driver can be determined with a good approximation only for specific services.

In estimating the cost, it is usually necessary to consider also other service parameters whose values, as well as the number of drivers required, are not usually known outside the operating company and are therefore assumed to be equal to average values relative to a sample of companies. This leads to a less precise estimate when these parameters vary considerably with the characteristics of the specific service. Table 1 lists the parameters, used for most cost models, based on the determination of relative values, i.e. with reference to specific services or for a sample of services or companies. While the values obtained directly from the service in question are certain, as detected, those taken from a sample of companies can also differ significantly from the values that can be found in the specific service. In particular, the sample estimate of the value of each parameter is even less reliable as the greater the variability of the same with some characteristics of the service.

The reliability of the cost estimate using sample values of the parameters will be affected accordingly. Based on this

Tabella 1 – Table 1

Parametri utilizzati nei più comuni modelli operativi di costo del trasporto pubblico, suddivisi in base alla fonte da cui il relativo valore è tratto, con evidenziazione della presumibile attendibilità (indicata dal colore)  
*Parameters used in most public transit cost models, broken down based on the source from which their values are obtained, with the presumed reliability of the value highlighted (indicated by the colour)*

Parametri i cui valori, nei modelli di costo operativi, sono: <i>Parameters whose value in operative cost models, are:</i>	
Calcolati sullo specifico servizio <sup>(*)</sup> <i>Obtained from a specific service<sup>(*)</sup></i>	Assunti come medie su campioni di aziende <sup>(*)</sup> <i>Assumed as an average from a sample of service companies<sup>(*)</sup></i>
Percorrenza annua sviluppata dal servizio <i>Yearly mileage of the service</i>	Ore di guida annue per ciascun conducente <i>Average yearly driving hours rendered by each driver</i>
Ore di servizio complessivamente rese in un anno <i>Yearly rendered service hours</i>	Unità di personale diverso rapportato al numero di conducenti <i>Ratio between the different staff units and the driver staff units</i>
Velocità commerciale media del servizio <i>Average commercial speed</i>	Costo unitario annuo di un conducente <i>Yearly driver staff unit cost</i>
	Costo unitario annuo del personale diverso <i>Yearly different staff unit cost</i>
	Costi generali <i>General costs</i>
	Costo di acquisto di un bus nuovo <i>Purchase cost of a new bus</i>
	Percorrenza annua di un bus <i>Average yearly mileage of a bus</i>

<sup>(\*)</sup> Attendibilità del valore rispetto allo specifico servizio: **Alta, Media, Basso.**  
<sup>(\*)</sup> Reliability of the estimated value compared to the real one: **High, Medium, Low.**

da cui discende direttamente il numero di conducenti da impiegare nel servizio.

Nel dettaglio, la metodologia consolidata per la stima del costo del trasporto pubblico su gomma utilizza generalmente alcuni parametri medi globali riferiti allo specifico servizio ed altri rappresentativi di valori medi nazionali o relativi ad un campione molto numeroso di aziende di trasporto. I parametri globali specifici del servizio sono di solito le ore di servizio annue rese oppure la velocità commerciale e la percorrenza chilometrica annua. I principali parametri medi calcolati su campioni estesi di servizi di trasporto offerti sono le ore di guida annue per conducente e il rapporto fra unità di personale diverso e numero di guidatori. I modelli più utilizzati basati su detta metodologia (p.es. Università di Roma, 2013 – ANAV<sup>(1)</sup> [5] e ASSTRA<sup>(2)</sup> [6]), nota l'organizzazione del servizio in termini di linee, corse ed orari, procedono secondo i seguenti passi, calcolando in cascata:

- a. le ore di guida complessivamente richieste;
- b. il numero di conducenti necessari;
- c. il costo del personale di guida;
- d. le unità di personale diverso dai guidatori;
- e. il costo del personale diverso;
- f. i costi relativi al materiale rotabile;
- g. i costi generali.

Mentre le ore di guida richieste (punto a) sono ricavabili con certezza dall'orario del servizio, il passaggio dal punto (a) al punto (b) richiede la conoscenza del numero medio annuo di ore di guida effettive rese da ciascun conducente. Questo dato, nei modelli esistenti viene ricavato come media su un ampio campione di aziende e pertanto non permette di tener conto dalle caratteristiche dello specifico servizio esaminato. Allo stesso modo, cioè sempre come dato medio su un campione di aziende esercenti, sono determinati il rapporto fra le unità di personale diverso ed il numero di guidatori (necessario per effettuare il passaggio dal punto (c) al punto (d)) ed i costi generali. Tuttavia la stima di questi due parametri basata su un campione di aziende è certamente più affidabile rispetto alla stima effettuata con lo stesso metodo sul numero di ore di guida annue rese mediamente da ciascun conducente. Infatti quest'ultimo dato è fortemente influenzato dall'organizzazione dell'offerta dello specifico servizio e quindi non è opportuno desumerlo da un campione di servizi fra loro anche molto diversi.

Nelle aree regionali a domanda debole, dove i centri abitati sono diffusi sul territorio e le corse di trasporto of-

consideration, Table 1 reports, using different colours, also the reliability level (high, medium and low) with respect to values related to specific services, which can be expected from each parameter as a consequence of how it is determined. Furthermore, parameters, whose values are less reliable because obtained by sample averages, are the most important cost drivers, including the number of driving hours per driver per year from which the number of drivers required for a service is directly derived.

In detail the consolidated methodology for estimating public transport cost generally use certain global average parameters detected from specific services and other parameters that are referred to national average values or are related to a very large sample of transport companies or transport services. The service specific global parameters are usually the annual service hours that have been rendered or commercial speed and annual mileage. The main average parameters calculated for extended samples of supplied transport services are annual driving hours per driver and ratio of different staff units versus driver staff units. Most used models that are based on this methodology (e.g. ANAV<sup>(1)</sup> [5] and ASSTRA<sup>(2)</sup> [6]), for a given service in terms of lines, rides, and timetables, proceed by sequentially calculating the following parameters:

- a. total driving hours required;
- b. number of drivers required;
- c. cost of driving personnel;
- d. units of staff different from drivers;
- e. cost of different staff;
- f. costs related to rolling stock;
- g. general costs.

Whilst the required driving hours (item (a) can be obtained with certainty from the service timetable, derived item (b) requires knowledge of the average annual number of actual driving hours for each driver. Such data, in the existing models, is obtained as an average from a large sample of companies or services; therefore, it is not possible to consider the characteristics of a specific service. In the same way, that is considering the average data from a sample, the ratio between different staff units and driver staff units (necessary to move from item (c) to item (d) and the general costs (item (g) is determined. However, this estimation, based on a sample of companies or services, is certainly more reliable for these last two parameters compared to the average number of driving hours per year rendered by each driver. In fact, the latter parameter (driving hours per year) is strongly influenced by organising the service supply

<sup>(1)</sup> ANAV - Associazione Nazionale Autotrasporto Viaggiatori.

<sup>(2)</sup> ASSTRA - Associazione Trasporti (associazione datoriale, nazionale, delle aziende di trasporto pubblico locale, sia di proprietà degli enti locali che private).

<sup>(1)</sup> ANAV – (Italian) National Association of Passenger Road Haulage.

<sup>(2)</sup> ASSTRA – (Italian) National Association of Transport – (employer association of the local public transit companies, both owned by local authorities and private property).

ferte sono in numero molto ridotto, risulta difficile un impiego efficiente del conducente che spesso deve osservare diverse ore di inattività prima di poter effettuare la corsa di ritorno. Per esempio, in una linea scolastica extraurbana che presenta una corsa di andata verso il centro sede dell'istituto di istruzione, con arrivo all'ora di inizio delle lezioni, ed una di ritorno a fine mattinata, il conducente è di solito impegnato nella guida per il solo tempo di viaggio di andata e di ritorno, ma è di fatto in servizio dall'orario di partenza della corsa di andata all'orario di arrivo di quella di ritorno. Perciò egli trascorre inattivo numerose ore di servizio, dato che le notevoli distanze dei capolinea di linee extraurbane regionali diverse non consentono di utilizzare il conducente su più di una linea. Tale aspetto genera delle inefficienze aziendali tanto maggiori quanto più le corse sono lunghe e poco numerose nella giornata, in quanto abbassa sensibilmente il rapporto fra ore di guida effettive ed ore di presenza al lavoro oltre a peggiorare le condizioni di lavoro dei conducenti che, sebbene guidino poche ore al giorno, subiscono un allungamento del loro turno di servizio perché le pause non vengono loro di solito riconosciute per intero come orario di lavoro.

Pertanto questo studio sviluppa una metodologia e mette a punto due modelli regressivi per la stima del numero di conducenti per un servizio di trasporto pubblico su gomma con riferimento allo specifico schema di offerta. Il numero di conducenti così determinato può essere utilizzato, all'interno dei modelli di costo esistenti, in sostituzione del valore che viene generalmente calcolato sulla base di parametri medi tratti da un campione di aziende esercenti. In questo modo si ottiene una maggiore attendibilità del costo stimato e si rende possibile la determinazione del costo per differenti schemi dello stesso servizio, ottenendo una misura dell'efficienza di ciascuno schema.

## 2. Letteratura

L'attenzione della ricerca alla stima del costo dei servizi di trasporto pubblico su gomma ha avuto un grande impulso in Italia successivamente alla introduzione del costo standard per la determinazione del corrispettivo di esercizio da riconoscere alle aziende esercenti il trasporto pubblico locale. Infatti in Italia, questo tipo di trasporto è programmato dagli enti locali, sulla base della propria competenza territoriale, ed affidato ad aziende che producono il servizio ricevendo dagli enti affidatari un corrispettivo commisurato ai costi sostenuti e non coperti dai ricavi da traffico.

Pertanto il costo standard costituisce un valido riferimento per la determinazione del prezzo a base di gara negli appalti per l'affidamento. Per di più, la recente normativa [7] ne ha reso obbligatorio l'uso, da parte degli enti che affidano i servizi di trasporto pubblico locale e regionale, come elemento di riferimento per la quantificazione delle compensazioni economiche e dei corrispettivi.

*scheme. Therefore, it is not appropriate to assume a value derived from on a sample of services that are not equal to each other.*

*In regional areas, where demand for transport is less and population centres are widespread, also the supplied rides are less. Accordingly, it is difficult to efficiently use drivers who have to often observe several hours of inactivity and wait for the scheduled time for a return ride. For example, for an intercity school line that has a forward ride towards the educational institution town with arrival at start of lessons and return at the end of the morning, drivers usually drive only for the time of forward and return travel. However, he/she is in service from the time of departure of the forward ride to the arrival time of the return ride. Therefore, drivers are inactive for most hours of service because of the considerable distance between the termini of different intercity regional lines that do not allow employing drivers for more than one line. Such issue leads to more business inefficiencies as rides are longer and not very numerous during the day. Furthermore, such inefficiencies significantly lower the ratio between actual driving hours and hours of attendance at work, and worsen the working conditions of drivers. In fact, the drivers, although they drive a few hours a day, have to undergo a longer service shift because breaks are not always fully recognised as working hours.*

*Therefore, in this study, we developed a methodology and optimised two regressive models for estimating the number of required drivers for a specific supply scheme of a public road transport service. The number of drivers thus determined can be used, within the existing cost models, in place of the value that is generally calculated on the basis of average parameters taken from a sample of operating companies. In this way, greater reliability of the estimated cost is obtained and it is possible to determine the cost for different schemes of the same service, obtaining also a measure of the efficiency of each scheme.*

## 2. Literature

*In Italy, the estimation of road public transport cost had received considerable attention. Particularly, after the introduction of standard cost for calculating the operating grant to be paid to the local public transport (LPT) operator companies, the interest in this domain of research increased. Indeed, in Italy, LPT is managed by local authorities based on their territorial jurisdiction, and it is entrusted to companies that provide such services and receive, by local authorities, a subsidy; the latter is commensurate to the actual costs incurred that are not covered by traffic revenue.*

*Therefore, the standard cost is a valid reference to fix the base price on tenders in the awarding contracts. Moreover, the recent regulations [7] have made it mandatory, for the authorities entrusting local and regional public transport services, as a reference element to quantify economic compensation and fees.*

In letteratura il tema della stima del costo di un servizio di trasporto pubblico è stato spesso affrontato ed ha prodotto modelli di costo espressi da funzioni più o meno complesse che hanno in comune la caratteristica di essere basati sulla capacità produttiva dei conducenti, misurata direttamente in termini di ore di guida annue o indirettamente attraverso altri parametri che la influenzano. La produttività dei conducenti che, come è noto, ha un peso rilevante sul costo del servizio è facilmente determinabile dalle aziende sulla base del programma di esercizio e dei turni di servizio, ma è difficilmente stimabile, con riferimento ad uno specifico servizio, dal pianificatore e dall'ente affidante che generalmente non dispongono degli strumenti software necessari per determinare i turni del personale e non necessitano di tale livello di dettaglio per progettare la rete di offerta. Nel seguito si richiama solo alcuni dei lavori più significativi.

FRAQUELLI et al. [8] per la determinazione del numero di conducenti utilizzano dei valori medi di efficienza del lavoro e stabiliscono in 1386, 1343 e 1334 le ore di guida medie annue per conducente rispettivamente per servizi urbani, extraurbani e misti. Come è da attendersi, le ore di guida sono maggiori nei servizi urbani in quanto la brevità dei percorsi e la vicinanza dei capolinea ma soprattutto l'elevato numero di corse offerte permettono una maggiore utilizzazione dei conducenti nell'ambito dei turni di servizio. Tuttavia i valori trovati dallo studio in questione evidenziano per le ore di guida una differenza minima (inferiore al 4%) fra il servizio urbano e quello extraurbano, di gran lunga inferiore a quanto rilevato su campioni diversi di aziende di trasporto in [5], [6] che evidenziano differenze dell'ordine del 20%. Ciò d'altra parte conferma l'influenza della dimensione e della tipologia del campione sulla stima del parametro in questione.

In un lavoro successivo, FRAQUELLI et al. [9] utilizzano una funzione di costo trans-logaritmica per valutare eventuali economie di scala e l'impatto delle caratteristiche della tipologia di servizio (urbano, extraurbano o misto) e delle condizioni ambientali (traffico, infrastrutture, ecc.). Il numero dei conducenti non è direttamente presente nella funzione ma vengono considerati dei parametri medi da cui il costo del lavoro dipende. Nella pubblicazione gli autori dimostrano la possibilità di ottenere economie dalla realizzazione di fusioni tra imprese vicine per creare nuove società, operanti su reti locali integrate, che offrono trasporti pubblici urbani ed extraurbani. Purtroppo questo, come altri studi su base statistica, danno per scontata la capacità dei dati rilevati di rappresentare efficacemente il fenomeno studiato, cosa che non sempre accade. Nello specifico, tutte le analisi statistiche condotte sull'efficienza delle aziende di trasporto assumono come costo reale quello riconosciuto dagli enti affidanti alle aziende esercenti i servizi. Il più delle volte, detto costo è calcolato in attuazione di specifiche normative o è tratto da altre fonti che determinano il costo standard basandosi di fatto su quello storico. Troppo spesso, però, il costo storico si discosta sensibilmente da quello standard per-

*In literature, the issue of estimating the cost of a public transport service has often been tackled and has produced cost models expressed by more or less complex functions that share the characteristic of being based on the drivers' production capacity, measured directly in terms of driving hours per year or indirectly through other parameters influencing it. The productivity of drivers, which, as is known, has a considerable weight on the cost of the service, is easily calculate by the companies on the basis of the operating program and the service work shifts, but it is difficult to estimate, with reference to a specific service, by the planner and the awarding authority that generally do not have the necessary software tools to determine the shifts of personnel and do not need this level of detail to design the supply network. Below, just some of the most significant works are cited.*

*FRAQUELLI et al. [8] used averaged data for labour efficiency and estimated that the average driving hours per driver for urban, suburban, and mixed services were 1386, 1343, and 1334, respectively. As expected, the driving hours are greater for urban services because of shorter routes and proximity of terminals beyond which higher number of rides allow greater use of drivers during their work shifts. However, values obtained for driving hours in this study demonstrated a minimal difference (<4%) between the urban and intercity service; moreover, it was much lower than that observed on different sample of transport companies [5], [6]. This, however, confirms the influence of size and type of sample for estimating the parameter under investigation.*

*In a subsequent study, FRAQUELLI et al. [9] used a trans-logarithmic cost function to evaluate economies of scale and impact of the type of service (urban, suburban, or mixed) and environmental conditions (traffic, infrastructure, etc.). The number of drivers was not directly considered but average parameters that help determine the cost of work are included. In this study, researchers demonstrated the possibility of making savings by merging neighbouring companies to create newer societies that operate via integrated local networks, which offer both urban and intercity public transport.*

*The approach of the University of Rome [5] relates the service cost with both exogenous and endogenous productivity parameters of a company. This study provides, for both parameters, minimum and maximum values related to ANAV-associated companies, which then allows estimating the service cost for two opposite situations, that is, the best and the worst one. Note that the productivity of drivers is measured through the average daily driving hours whose average values are between 5.5 and 5.75 h/day in urban areas and 4.5 and 4.75 h/day in extra-urban areas. Using this parameter, the number of service hours per year, and the working days per year for each driver, it is possible to calculate the number of required drivers and then their corresponding costs. Finally, from the cost of drivers, the unit cost (per kilometre) of a ser-*

ché risente dell'eventuale potere contrattuale che ciascuna azienda esercita nel mercato in cui si trova ad operare.

L'approccio dell'Università di Roma [5], di tipo macro-analitico, mette in relazione il costo del servizio con parametri di produttività sia esogeni che endogeni dell'azienda. Il lavoro fornisce per gli uni e per gli altri dei valori minimi e massimi relativi alle aziende consociate ANAV, che consentono di stimare il costo del servizio nelle due situazioni estreme, migliore e peggiore (best – worst). La produttività dei conducenti è misurata attraverso il parametro “ore medie di guida giornaliera” per il quale vengono forniti valori medi compresi fra 5,5 e 5,75 ore/giorno in ambito urbano e 4,5 e 4,75 ore/giorno in ambito extraurbano. Utilizzando questo parametro e le ore di servizio rese all'anno nonché le giornate di lavoro prestate all'anno da ogni conducente si determina il numero di conducenti necessari e quindi il costo di questi. Infine dal costo dei conducenti si ricava il costo chilometrico del servizio tenendo conto dell'incidenza del primo sul costo totale.

CIRANNI et al. [10] suggeriscono un metodo per la definizione del fabbisogno di conducenti basato sul valore medio dei chilometri annui percorsi da ciascuno di loro. Detto parametro è stimato in 24.000 km/anno ma è ancora una volta ricavato come valore medio su un campione di aziende e non come valore riferito allo specifico servizio.

Anche ASSTRA nel modello proposto all'interno del documento prodotto dalla Commissione costi standard automobilistici (2013) determina il numero di conducenti necessario per effettuare il servizio sulla base del numero di ore di guida medie giornaliere (pari a 4,5 ore/giorno) ricavato da dati nazionali aggregati.

DI GANGI [11] nella valutazione analitica dei costi di un sistema di trasporto collettivo, segue l'impostazione del modello ANAV, determinando il costo unitario dei conducenti sulla base della velocità commerciale media del servizio e delle ore di guida medie giornaliere rese da ogni conducente, tratto da valori medi determinati su un campione.

AVENALI et al. [1] seguono la stessa linea di FRAQUELLI et al. [8], fornendo una serie di valori statistici descrittivi tra i quali le ore di guida nette per conducente che ammontano mediamente in un anno a 1213 con una variabilità del 23%, diretta influenza delle caratteristiche del servizio. Interessanti sono le percentuali di incidenza che essi ricavano per i diversi fattori della produzione e, in particolare, all'incirca il 41% per il personale di guida, di deposito e di movimento, il 13% per il carburante, il 15% per la manutenzione e il 7% per l'ammortamento del parco rotabile.

AVENALI et al. [12], nel modello ibrido per la determinazione del costo standard da essi proposto, stimano il numero dei conducenti necessari sulla base di un valore medio delle ore di guida ancora una volta determinato da un campione di un certo numero di imprese di trasporto pubblico locale.

vice can be calculated by considering the impact of the cost of drivers on the total cost.

CIRANNI et al. [10] suggested a method for assessing the required driver staffing units using the average annual kilometres travelled by each driver. This parameter was estimated to be 24,000 km/year; however, it is obtained as an average value from a sample of companies and is not a value for a specific service.

ASSTRA [6] also, in the cost model proposed into the document of the Road Standard Costs Commission (2013), determined the number of drivers required to perform a service using the number of average driving hours per day (equal to 4.5 h/day), which was obtained from the aggregated national data.

For the analytical evaluation of costs of a collective transport system, DI GANGI [11] followed the ANAV model. He estimated the unit cost of drivers using the average commercial speed for a specific service and the average daily driving hours per driver, which were obtained from a sample.

Using an approach similar to that of FRAQUELLI, AVENALI et al. [1] provided a series of descriptive statistical data. They identified that the net driving hours per driver, which is 1,213 h per year with a variability of 23%, directly influenced by the characteristics of a service. Moreover, in their study, the investigation of the impact of different production factors was very interesting: 41% for driving, storage, and movement staff; 13% for fuel; 15% for maintenance, and 7% for depreciation of the rolling stock fleet.

Furthermore, in their hybrid model of standard cost, AVENALI et al. [12] estimated the number of drivers required using the average value of driving hours, which was determined from a sample of a certain number of LPT companies.

From a database of certain tenders that were entrusted to public transport services for various regions and provinces of Italy, PETRUCELLI and CARLEO [13], [14] developed a cost model for public road transport using a global efficiency index. Note that the index considers the driver's annual driving hours, the impact of the driver on the overall staff cost and the impact of the staff on the total service cost. This model has the advantage of including variables known not only by the operating company (and therefore to the planners and contracting stations as well) and referring to the specific service whose cost is to be determined. The model in question, generally valid for medium and medium-low service speed, represents an alternative for estimating the maximum efficiency costs of regional or suburban road transport services, also in order to support the planner and the contracting authorities in the determination of operating grants to be paid to contractors.

In summary, the most common operating cost models assumed, for the parameter “annual driving hours per driv-

Utilizzando un data-base costruito sui risultati delle gare di affidamento del trasporto pubblico nelle diverse regioni e province in Italia, PETRUCELLI e CARLEO [13], [14] hanno messo a punto un modello di costo per il trasporto pubblico su gomma basato su un indicatore di efficienza globale che tiene conto delle ore di guida annue dei conducenti, dell'incidenza del costo dei conducenti sul costo di tutto il personale e dell'incidenza del costo di tutto il personale sul costo complessivo del servizio. Il modello messo a punto presenta il vantaggio di comprendere variabili i cui valori sono noti al di fuori dell'azienda esercente (e quindi anche ai pianificatori ed alle stazioni appaltanti) e sono riferiti allo specifico servizio del quale si vuole determinare il costo. Il modello in questione, di validità generale per velocità commerciali medie e medio basse del servizio, rappresenta una alternativa per la stima dei costi di massima efficienza dei servizi di trasporto su gomma di tipo regionale o suburbano, anche al fine di supportare il pianificatore e l'ente appaltante nella determinazione delle sovvenzioni di esercizio da corrispondere alle aziende appaltatrici.

In sintesi, i modelli di costo operativi più comuni assumono, per il parametro "ore di guida annue per conducente" (HNC) un valore calcolato come media dei valori rilevati su un campione di aziende esercenti. Noto HNC, il numero di conducenti necessari (NC) si ricava dalla relazione:

$$NC = HS / HNC \quad (1)$$

Nella (1), HS rappresenta la variabile "ore di servizio complessivamente offerte in un anno" ricavabile dall'orario del servizio sommando i tempi di percorrenza di tutte le corse realizzate in un anno oppure rapportando la percorrenza complessiva annua del servizio alla velocità commerciale media.

L'utilizzo di un valore campionario per il parametro HNC presenta due ordini di importanti limitazioni. In primo luogo, una scarsa attendibilità della stima del costo ottenuta sulla base di un valore medio campionario assunto per il parametro HNC che ha un peso consistente nel risultato della stima. In secondo luogo, l'impossibilità di tener conto della specifica organizzazione del programma di esercizio, atteso che il parametro HNC estratto dal campione è la media dei valori medi dichiarati da ciascuna azienda del campione con riferimento alla totalità dei servizi da essa esercitati e perciò può risultare anche molto diverso da quello rilevabile nel servizio in esame. L'utilizzo di un valore medio campionario per il parametro HNC conduce a stimare lo stesso costo per servizi di trasporto pubblico che hanno in comune la percorrenza annua, la velocità commerciale media e l'ambito operativo (urbano o extraurbano) ma che presentano programmi di esercizio molto diversi in grado di influire sensibilmente sulle ore di guida medie annue rese da ciascun conducente e quindi sul numero di conducenti necessari.

Differente è invece il modello per la determinazione del costo dei servizi di trasporto pubblico con autolinea

er" (HNC), a value calculated as the average of the values measured on a sample of operating companies. Known HNC, the number of required drivers (NC) is derived from the ratio:

$$NC = HS / HNC \quad (1)$$

In (1), HS represents the variable "total service hours offered in a year", which can be obtained from the service timetable by adding up the travel times of all the rides carried out in a year or by dividing the total annual service travel by the average commercial speed.

Using a sample value for the HNC parameter has two important limitations. Firstly, the lack of reliability of the estimate of the cost obtained on the basis of a sample average value assumed for the HNC parameter which has a substantial weight in the result of the estimate. Secondly, the impossibility to take into account the specific organization of the operating program, given that the HNC parameter extracted from the sample is the average of the average values declared by each company of the sample with reference to the totality of the services it produces and therefore can be also very different from the one found in the service in question. The use of a sample average value for the HNC parameter leads to estimate the same cost for public transport services that share the annual distance, the average commercial speed and the operating environment (urban or extra-urban) but which have very different operating program that can significantly influence the average annual driving hours of each driver and therefore the number of drivers required.

The model, recently developed by the Italian Ministry of Infrastructures and Transport and reported in the Ministerial Decree of standard costs [7], to assess the cost of road public transport services is different. This model, of a regressive type, was built on the basis of data collected by the National Observatory for Local Public Transport Policies<sup>(3)</sup>. In addition to the limit, which we already mentioned above, that is the possible discrepancy between real costs and those recognized to the contractor by the entrusting authority (collected in the Observatory database), the model does not allow anyway to take into account the different operating program implemented. In fact, the variables from which the standard cost depends on are only the commercial speed, the annual mileage developed by the service and the depreciation rates of the rolling stock. Any variable representative of the productivity of the driving staff resulting from the specific operating program is missing.

Therefore, the existing operation cost models cannot take into account the effective organization of work that

<sup>(3)</sup> The (Italian) National Observatory for Local Public Transport Policies, established at the Ministry of Infrastructure and Transport as a result of the article 1, subsection 300 of the Law 244/07, was formed by the Inter-ministerial Decree n. 325 of 25 November 2011.

recentemente messo a punto dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti e riportato nel DM dei costi standard [7]. Detto modello, di tipo regressivo, è stato costruito sulla base dei dati raccolti dall'Osservatorio Nazionale per le Politiche del Trasporto Pubblico Locale<sup>(3)</sup>. Oltre ai limiti, a cui si è già accennato in precedenza, connessi alla possibile difformità fra i costi reali e quelli riconosciuti dagli enti affidanti alle aziende affidatarie raccolti nel data base dell'Osservatorio, il modello non permette comunque di tener conto dei differenti programmi di esercizio messi in atto. Infatti le variabili da cui si fa dipendere il costo standard sono solo la velocità commerciale, le percorrenze annue sviluppate dal servizio e le quote di ammortamento del materiale rotabile. Manca qualsiasi variabile rappresentativa della produttività del personale di guida conseguente allo specifico programma di esercizio.

Per quanto detto fin qui, i modelli applicativi esistenti non possono tener conto dell'effettiva organizzazione del lavoro che influisce in modo sensibile sul numero di conducenti necessari per produrre uno specifico servizio e quindi sul costo.

## 3. Analisi e risultati

### 3.1. Metodologia generale

Nel presente lavoro, per superare il limite riscontrato nei modelli esistenti, si propone di determinare il numero di conducenti NC facendo riferimento allo specifico servizio di trasporto in esame anziché sulla base di valori medi campionari di parametri ad esso collegati. A tal fine si propongono due modelli appositamente costruiti che tengono conto di alcune variabili specifiche del programma di esercizio in grado di influire sulla possibilità di utilizzo più o meno intensivo dei conducenti.

La costruzione di questi modelli prevede innanzitutto l'individuazione delle variabili principali caratteristiche dell'esercizio in grado di influire sensibilmente sul numero di conducenti necessari per realizzare il servizio. Successivamente la metodologia prevede la costruzione della banca dati in base alla quale effettuare le regressioni necessarie per costruire e calibrare i modelli per la stima del numero di conducenti. I test F e t forniscono una verifica della significatività delle variabili selezionate. Il data-base, costruito con riferimento ad una rete di trasporto pubblico reale, contiene i valori che le variabili indipendenti e quella dipendente assumono per due diverse configurazioni della rete considerata, corrispon-

has a significant influence on the number of drivers necessary to produce a specific service and therefore on the cost.

## 3. Analysis and results

### 3.1. General methodology

*In this work, to overcome the limit found in existing models, we propose to assess the number of drivers NC by referring to the specific transport service rather than on the basis of average sample values of parameters connected to it. To this end we propose two specially built models that take into account some specific variables of the operating program that can influence the possibility of more or less intensive use of drivers.*

*The construction of these models involves first of all identifying the main operating characteristics that can significantly influence the number of drivers necessary to carry out the service. Subsequently, the methodology provides for the construction of the database on which to make the necessary regressions to build and calibrate the models to estimate the number of drivers. The tests F and t provide a verification of the significance of the selected variables. The data base, constructed with reference to a real public transport network, contains the values that the independent and dependent variables assume for two different configurations of the network considered, corresponding to the current (direct) and project (feeder-trunk).*

*In a first screening, several variables describing the transport offer were taken into consideration for the proposed models, namely:*

- *overall mileage developed by the service;*
- *commercial speed;*
- *surface of the served territory;*
- *intensity of service, understood as the ratio between the total average daily mileage and the development of the supply network;*
- *number of supplied rides;*
- *average travel time of the rides.*

*However, the first four were not sufficiently significant for the F and t tests and so we decided to leave them out to avoid complications that would not increase the reliability of the estimate.*

*Therefore the variables of the model for estimating NC are only the "number of supplied rides" ( $X_1$ ) and the "average travel time of the rides" (in minutes) ( $X_2$ ). The choice of  $X_1$  is motivated by the fact that, with the same annual mileage, a service made by more rides but with a shorter route allows better use of drivers and therefore an increase in the HNC parameter. The use of  $X_2$  in the model is justified by the direct dependence, from this variable, of the round trip time affecting the possibility of re-employing the driver in a subsequent ride on the same line.  $X_2$  replaces the*

<sup>(3)</sup> L'Osservatorio Nazionale per le Politiche del Trasporto Pubblico Locale, istituito presso il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ai sensi dell' art .1, c.300 della legge 244/07, è stato costituito con Decreto Interministeriale n. 325 del 25 Novembre 2011.

denti allo schema attuale (diretto) ed a quello di progetto (feeder-trunk).

In un primo screening sono state prese in considerazione, per i modelli proposti, diverse variabili descrittive dell'offerta di trasporto e cioè:

- la percorrenza complessivamente sviluppata dal servizio;
- la velocità commerciale;
- l'estensione del territorio servito;
- l'intensità di servizio, intesa come rapporto fra la percorrenza media giornaliera complessiva e lo sviluppo della rete di offerta;
- il numero di corse offerte;
- il tempo di percorrenza medio delle corse.

Tuttavia, le prime quattro non sono risultate sufficientemente significative ai test  $F$  e  $t$  e quindi si è deciso di tralasciarle per evitare complicazioni che non avrebbero aumentato l'affidabilità della stima.

Pertanto le variabili contenute nel modello per la stima di NC sono soltanto il "numero di corse offerte" ( $X_1$ ) ed il "tempo di percorrenza medio delle corse" (espresso in minuti) ( $X_2$ ). La scelta di  $X_1$  è motivata dal fatto che, a parità di percorrenze annue, un servizio realizzato con corse più numerose ma che presentano un percorso più breve permette un migliore utilizzo dei conducenti e quindi un incremento del parametro HNC. L'utilizzo di  $X_2$  nel modello è giustificato dalla diretta dipendenza, da questa variabile, del tempo di giro da cui dipende la possibilità di reimpiegare il conducente in una corsa successiva sulla stessa linea.  $X_2$  sostituisce il parametro velocità commerciale (spesso utilizzato nei modelli di costo) e lo comprende essendo il tempo di percorrenza delle corse  $X_2$  inversamente proporzionale alla velocità commerciale oltre che direttamente proporzionale alla lunghezza del percorso sviluppato. È da ribadire comunque che il modello qui proposto serve solo a determinare il numero dei conducenti NC da utilizzare poi in uno dei modelli di costo esistenti.

La costruzione del data-base è stata effettuata con riferimento ad un servizio di trasporto pubblico extraurbano provinciale che realizza attualmente, attraverso linee dirette, tutti i collegamenti fra i centri serviti. Si è provveduto a suddividere l'intera rete in sub-reti, ciascuna operante su uno schema viario riconducibile ad una infrastruttura primaria di fondovalle ed infrastrutture secondarie trasversali che raggiungono i centri abitati in quota. Quindi, costruendo i turni di lavoro, si è ottenuto il numero di conducenti necessario per realizzare ciascun collegamento nello schema a linee dirette ed in quello a linee integrate riprogettato. Evidentemente la determinazione dei turni di lavoro operata per quantificare il numero di conducenti necessari nei due schemi considerati è finalizzata a creare il data base per la calibrazione dei modelli che, una volta operativi, forniscono una stima del

commercial speed parameter (often used in the cost models) and includes it, being the travel time of the rides  $X_2$  inversely proportional to the commercial speed as well as directly proportional to the length of the trip. It should however be stressed that the proposed models only estimate the number of drivers NC to be used in one of the existing cost models.

The construction of the data-base has been carried out with reference to a provincial extra-urban road public transit service which currently supplies, through direct lines, all the links between the served centres. The entire network has been divided into sub-networks, each operating on a road scheme that is made up by a primary valley infrastructure and transversal secondary roads that reach the high-altitude towns. Then, the number of drivers needed to make each link, in the direct line scheme and the redesigned feeder-trunk one, was obtained by building the work shifts. Evidently, the building of the work shifts made to quantify the number of drivers required in the two schemes considered is aimed at creating the database for the calibration of the models that, once operational, provide an estimate of the number of drivers required, knowing only the values of the two independent variables. Therefore the number of drivers has been related to the values of the variables  $X_1$  (number of rides offered) and  $X_2$  (travel time of the rides) to build regressive models which allow to estimate the number of drivers required according to these variables.

It should be pointed out that the type of analysis carried out with reference to each link is valid on condition that the termini are sufficiently dispersed throughout the territory so as to make it impossible to transfer the driver from one line to another to re-employ him/her during downtime between one ride and the next in the same line. This situation is typical of regional intercity transport where, due to the dispersion of the lines on the served territory, it is possible to assume that drivers are not used, during the same work shift, on lines different from the one to which they were assigned. The reference to a specific type of service, if it does not allow to apply the built models to different type of services (e.g. urban), does not represent a limitation for the developed methodology. In fact the latter remains the same for any service, provided to re-build the models on the basis of a number of drivers computed taking into account, where possible, of their employ on more than one line during the same work shift.

The procedure developed to build the data base and models for estimating the number of drivers is described in detail below.

### 3.2. Data-base construction

We used the 2010 operating program (still in force) of the local road public transport in the traffic basin of the Province of Matera (Italy), based on direct link, because settlement features and road networks of this territory were suitable for a structure of the LPT using a feeder-trunk scheme.

numero di conducenti necessari, conoscendo soltanto i valori delle due variabili indipendenti. Perciò il numero di conducenti è stato messo in relazione con i valori delle variabili X1 (*numero di corse offerte*) e X2 (*tempo di percorrenza delle corse*) per costruire modelli regressivi che permettono di determinare il numero di conducenti necessari in funzione di dette variabili.

È da evidenziare che il tipo di analisi condotta con riferimento a ciascun collegamento realizzato è valida a condizione che i capolinea siano sufficientemente dispersi sul territorio così da rendere impossibile il trasferimento del conducente da una linea ad un'altra per reimpiegarlo durante i tempi di fermo fra una corsa e la successiva della stessa linea. Questa situazione è tipica del trasporto extraurbano regionale in cui, a causa della dispersione delle linee sul territorio servito, è possibile assumere che i conducenti non siano utilizzati, durante lo stesso turno di lavoro, su linee diverse da quella alla quale sono stati assegnati. Il riferimento ad una specifica tipologia di servizio, se non permette l'applicabilità dei modelli messi a punto a servizi di tipo diverso (p. es. urbano), non rappresenta una limitazione per la metodologia messa a punto che rimane identica per qualsiasi servizio a condizione di ricostruire i modelli sulla base di un numero di conducenti determinato tenendo conto eventualmente, ove risulti realmente possibile, del loro utilizzo su più di una linea durante lo stesso turno di lavoro.

Di seguito si descrive in dettaglio il procedimento sviluppato per la costruzione del data-base e dei modelli di stima del numero di conducenti.

## 3.2. Costruzione del data-base

Si è preso in considerazione il programma di esercizio 2010 (tuttora in vigore) del trasporto pubblico locale su gomma del bacino di traffico della Provincia di Matera, basato su collegamenti diretti, poiché le caratteristiche insediative e la dotazione stradale di questo territorio si prestano ad un'organizzazione secondo uno schema feeder-trunk.

Si è riprogettata parte della rete di offerta del trasporto pubblico su gomma interessante ciascuno dei tre sub-bacini individuati nell'ambito della provincia, secondo uno schema feeder-trunk che prevede una o più linee direttrici veloci lungo ciascuna strada di fondovalle e linee adduttrici che connettono le prime ai centri abitati serviti, realizzando l'interscambio in prestabiliti punti attrezzati.

Come rappresentato nella Fig. 1, le infrastrutture principali sono la S.S.407, la S.S.7 e la S.S.106. Queste, nel progetto, sono percorse dalle linee direttrici mentre le strade secondarie sono interessate dalle adduttrici.

La Tabella 2 raccoglie i principali indicatori di produzione del servizio di trasporto pubblico su gomma della Provincia di Matera.

*The network of road public transport was redesigned, for each of three sub-basins identified in this Province, using a feeder-trunk scheme that provides one or more trunk-lines along each bottom valley road and feeder-lines connecting to the former ones in pre-established equipped transfer points.*

*As shown in Fig. 1, the primary roads are S.S.407, S.S.7, and S.S.106. In the project, S.S.407, S.S.7, and S.S.106 are covered by the bus trunk-lines, whereas secondary roads are traveled by bus feeder-lines.*

*Table 2 contains the main production indicators of the public road transport service of the Province of Matera.*

*For redesigning the current transport supply in compliance with a feeder-trunk scheme, we preserved the minimum value for the current links between centres as well as the overall annual mileage. Furthermore, for organising the work shifts, we observed the Italian rules for employing drivers.*

*First, we analysed the supplied lines and rides to identify direct rides that should be reprogrammed using the feeder-trunk scheme and their mileage. Then, we calculated connection matrices representative of the links made by the current transport supply, to ensure in the new network design.*

*For every portion of the service and for each alternative scheme (the current with direct links and the design one feeder-trunk type) we determined the driving shifts and consequently the number of drivers using the Regulations of the Italian National Collective Labour Agreement of Transit Workers [15], which mentions the following:*

- *a time of 15 min at the beginning and at the end of the work shift (to control vehicles) is remunerated as driving time;*
- *a maximum driving time of 4.5 h, with a stop of 45 min;*
- *an hourly payment equal to 1/12 during breaks between one run and another if it exceeds 30 min.*

*Each observation refers to a line and therefore, takes into consideration all the rides that run through it.*

*Table 3 shows, by way of example, some records of the built data base.*

*The conversion of 206 rides of the direct links supply in integrated links involved the design of 3 trunk-lines and 12 feeder-lines for a total of 232 daily rides with an increase of 12.6%, keeping the mileage of considered services, of about 5600 bus-km/day, unchanged. This highlights a further potential of an integrated system that, with the same annual mileage, allows to achieve a greater number of rides as it avoids the traveling of common stretches of infrastructure by rides that have partially overlapping routes. The number of drivers required decreased by around 30%, from 62 for the current supply, to 43 for the alternative integrated scheme.*



Fig. 1 – Main roads infrastructures of the Province of Matera (Italy)

Innanzitutto si sono analizzate le linee e le corse offerte, al fine di individuare le corse dirette da riprogrammare secondo lo schema integrato e le relative percorrenze. A seguire sono state calcolate quindi le matrici di connessione rappresentative dei collegamenti realizzati attraverso l'offerta attuale al fine di garantire, in fase di riprogettazione, un numero di connessioni almeno uguale all'attuale.

INGEGNERIA FERROVIARIA

As you can read, the average inactive time of drivers between two successive rides drops from 138 minutes to 29 minutes with a 79% reduction. Such a high value for the direct drive scheme is a consequence of its organization and is accentuated in the extra-urban service. In fact, the few daily rides and the distance between the connected population centres do not allow efficient use of drivers. On the contrary, in the integrated scheme, the brevity of the routes of the feeder-lines and the increase in the number of supplied rides produce a rise in the average daily driving time that goes from 125 minutes to 165 minutes (+ 32%) and, consequently, a reduction in the number of required drivers.

- 306 -

cessari tenendo presente il Contratto collettivo nazionale di lavoro (CCNL) degli autoferrotranvieri in Italia [15] che prevede:

- tempo di 15 minuti ad inizio e fine servizio per operazioni di presa visione del mezzo, retribuito come il tempo alla guida;
- tempo massimo alla guida di 4:30 ore, con interruzione di 45 minuti;
- paga oraria pari a 1/12 durante la pausa tra una corsa e l'altra se essa supera i 30 minuti.

Ogni osservazione fa riferimento ad una linea e quindi, prende in considerazione tutte le corse che la percorrono.

La Tabella 3 riporta, a scopo esemplificativo, alcuni record del data-base costruito.

La conversione di 206 corse dell'offerta a collegamenti diretti in collegamenti integrati ha visto la progettazione di 3 linee direttrici e 12 adduttrici per un totale di 232 corse giornaliere con un incremento del 12.6%, mantenendo invariata la percorrenza chilometrica di circa 5600 bus-km/giorno dei servizi considerati. Questo mette in luce un'ulteriore potenzialità di un sistema integrato che, con lo stesso sviluppo chilometrico annuo, permette di realizzare un maggior numero di connessioni in quanto evita la percorrenza di tratti comuni di infrastrutture da parte di corse che hanno instradamenti parzialmente in sovrapposizione. Il numero di conducenti necessari si è ridotto di circa il 30%, passando da 62 per l'attuale offerta, a 43 per lo schema integrato alternativo.

La Fig. 2 riporta un istogramma di raffronto tra le caratteristiche principali dei due schemi di offerta.

Come è possibile leggere, il tempo medio inattivo dei conducenti tra due corse successive scende da 138 minuti a 29 minuti con una riduzione del 79%. Un valore così alto per lo schema a corse dirette è conseguenza della sua organizzazione ed è accentuato nel servizio extraurbano. Infatti, le poche corse giornaliere e la distanza tra i centri abitati collegati non permettono un utilizzo efficiente dei conducenti. Al contrario, nello schema integrato, la brevità dei percorsi delle adduttrici e l'incremento del numero di corse offerte producono un aumento del tempo medio giornaliero

Tabella 2 – Table 2

Indicatori di produzione del trasporto pubblico su gomma preso in esame (dati 2009)

*Indicators of production of the considered public road transport (2009 data)*

Tipo di contratto Type of contract	Net-cost
Servizio prodotto Product (mileage)	bus.km 8.217.407
Corrispettivo annuo + contributo integrativo (contrattuali) Annual fee + additional contribution (contractual)	Euro 11.743.000
Ricavi da traffico Traffic revenues	Euro 2.504.452
Ricavo complessivo del Gestore (da traffico + corrispettivo) Total revenues of the Contractor (from traffic + fee)	Euro 14.247.452
Coefficiente di esercizio (R/C) Operating factor (Revenue/Cost)	0,18
Passeggeri trasportati Carried passengers	2.546.926
Ricavo per passeggero trasportato Revenue per carried passenger	Euro 0,98
Coefficiente di riempimento Passenger load factor	0,35

*Note that the feeder-trunk scheme, compared to the direct one, allows to significantly increase the number of driving hours per driver and more than halve the idle time between one ride and another, demonstrating the greater efficiency of the first scheme compared to the second.*

3.3. Modelling

*The data obtained from the above analysis have been elaborated using linear regression to build simple models usable to estimate the number of drivers necessary to produce a given transport service.*

Tabella 3 – Table 3

Record esemplificativi del data base costruito per la calibrazione dei modelli  
*Exemplary records of the data-base built for the calibration of the models*

Schema diretto Direct link scheme	Collegamento Link	N° conducenti Number of drivers	N° corse/giorno Number of rides/day	Tempo di collegamento (min) Link time (min)
	1	1	4	15
	2	2	6	35
	3	2	3	20
Schema feeder Feeder-trunk scheme	Collegamento Link	N° conducenti Number of drivers	N° corse/giorno Number of rides/day	Tempo di collegamento (min) Link time (min)
	5	4	16	50
	6	2	16	20
	7	2	10	23

ro di guida che sale da 125 minuti a 165 minuti (+32%) e, di conseguenza, una riduzione del numero di conducenti necessari.

La Tabella 4 riporta i valori medi per conducente risultanti dalla procedura descritta.

Si nota che lo schema feeder-trunk, rispetto a quello diretto, permette di aumentare sensibilmente il numero di ore di guida per conducente e più che dimezzare il tempo inoperoso tra una corsa ed un'altra, dimostrando la maggiore efficienza del primo schema rispetto al secondo.

3.3. Costruzione dei modelli

I dati tratti dalle analisi condotte sono stati elaborati attraverso regressioni lineari al fine di costruire semplici modelli per la stima del numero di conducenti necessari a realizzare un determinato servizio di trasporto.

Come già discusso a proposito della metodologia, le variabili indipendenti, scelte per descrivere le caratteristiche dello schema di offerta che influiscono sul numero di conducenti necessari, sono:

- numero di corse offerte  $X_1$
- tempo di percorrenza medio delle corse  $X_2$ .

La variabile dipendente è il numero di conducenti necessari  $Y$ ;  $\beta_1$  e  $\beta_2$  sono i coefficienti delle variabili indipendenti e  $c$  la costante di calibrazione.

La forma funzionale del modello ritrovato per lo schema a collegamenti diretti è la seguente:

$$Y = 0,169 + 0,213 \cdot X_1 + 0,008 \cdot X_2 \quad (2)$$

Dalla Tabella 5 si evince che il coefficiente di determinazione multiplo  $R^2$  del modello è abbastanza alto (0,81), cioè l'81% della variabilità del numero di conducenti viene spiegato attraverso queste variabili esplicative scelte. Anche l' $R^2$  corretto è sufficientemente alto e raggiunge il valore di 0,80, mentre il coefficiente di correlazione multiplo  $R$ , che misura la correlazione lineare tra i valori os-

Tabella 4 – Table 4

Valori medi per conducente Average values per driver		
Schema di offerta Supply scheme	Ore di guida nette Net driving time	Ore di riposo Inactive time
A collegamenti diretti Direct links	2:04	0:38
Feeder – trunk Feeder-trunk	2:44	0:13

Confronto fra il sistema diretto e quello integrato  
Direct and integrated system comparison

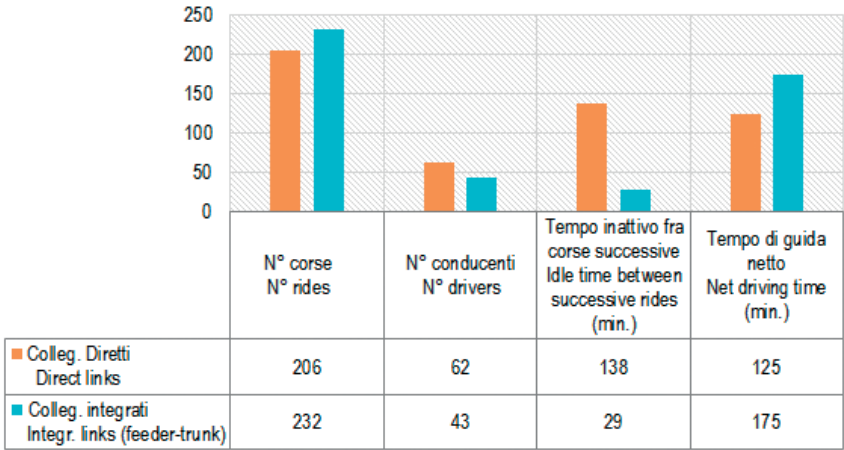


Fig. 2 – Caratteristiche degli schemi di offerta a confronto.

Fig. 2 – Features of the comparison supply schemes.

As already discussed with regard to the methodology, the independent variables that describe the characteristics of the supply scheme have been chosen among those that most significantly influence the number of drivers required. These variables are:

- the supplied rides  $X_1$ ;
- the ride average travel time  $X_2$ .

The dependent variable is the number of required drivers  $Y$ ;  $\beta_1$  and  $\beta_2$  are the coefficients of the independent variables and  $c$  the calibration constant.

The functional form established for the direct link scheme is

$$Y = 0,169 + 0,213 \cdot X_1 + 0,008 \cdot X_2 \quad (2)$$

From Table 5, it is evident that the coefficient of determination (multiple  $R^2$ ) of the model is relatively high (0.81), that is, 81% of the variability of the number of drivers is accounted for through these chosen explanatory

Tabella 5 – Table 5

Statistica della regressione multipla lineare per lo schema a collegamenti diretti  
Statistics of the multiple linear regression (direct link system)

Statistica della regressione Regression statistics	
R multiplo - Multiple R	0,90
R al quadrato - $R^2$	0,81
R al quadrato corretto - Corrected $R^2$	0,80
Errore standard - Standard error	0,39
Osservazioni - Observations	36

servati del numero di conducenti e quelli stimati, è pari a 0,90 sottolineando un buon adattamento della funzione ritrovata.

Per verificare l'esistenza di una relazione significativa tra la variabile dipendente e le due indipendenti è stato eseguito un test F sull'intero modello di regressione multiplo. Dal momento che ci sono due variabili esplicative, l'ipotesi nulla e quella alternativa da verificare con il test F sono:

- Ipotesi 0:  $\beta_1 = \beta_2 = 0$  (nessuna relazione lineare tra variabile dipendente ed esplicative);
- Ipotesi 1:  $\beta_i \neq 0$  (vi è una relazione lineare tra la variabile dipendente ed almeno una delle variabili esplicative).

La statistica F, come è noto, è data dal rapporto tra SQ (media dei quadrati della regressione) e MQ (media dei quadrati dell'errore). La statistica di F è una distribuzione F con p e n-p-1 gradi di libertà, con p = numero delle variabili esplicative. L'ipotesi 0 è da rifiutare se  $F > F_{crit}$ , essendo  $F_{crit}$  il valore critico sulla coda di destra di una distribuzione F con p e n-p-1 gradi di libertà.

I risultati del test F sono raccolti nella Tabella 6 da cui si rileva il valore di F del modello (72,03) che pertanto risulta maggiore di  $F_{crit}$  (0,05) confermando la linearità tra la variabile dipendente e quelle indipendenti e quindi la significatività del modello.

La Tabella 7 raccoglie i valori della Stat t per ciascuna delle variabili esplicative. Al fine di determinare se ciascuna di quest'ultime abbia o meno un effetto significativo per la determinazione del numero di conducenti, cioè sulla variabile dipendente Y del modello, si è proceduto, come per il test F eseguito in precedenza, a verificare le due ipotesi alternative, ovvero ( $\beta_i=0$ ) e ( $\beta_i \neq 0$ ).

Per verificare la significatività pari a 0,05 dei coefficienti di regressione  $\beta_i$  per 32 gradi di libertà si sono confrontati i valori Stat t (Tabella 7) con il valore critico dedotto da tabelle relative al test Stat t che è risultato pari a 2,032. Per entrambe le variabili esplicative Stat t > 2,032 e pertanto resta verificata l'esistenza di una relazione significativa tra le variabili esplicative (numero di corse offerte  $X_1$  e tempo medio di percorrenza  $X_2$ ) e la variabile dipendente (numero di conducenti Y).

Si ripetono di seguito le verifiche di significatività delle variabili anche per il modello calibrato per il sistema integrato che è dato dalla relazione:

$$Y = -0,790 + 0,121 X_1 + 0,066 \cdot X_2 \quad (3)$$

In questo caso i valori di R,  $R^2$  e  $R^2$  corretto (Tabella 8) scendono lievemente (0,88, 0,77 e 0,73). Questo è dovuto ad un numero ridotto di osservazioni influenzato dalla presenza delle tre direttrici che hanno caratteristiche dif-

Tabella 6 – Table 6

Analisi della varianza per lo schema diretto  
Variance analysis for direct-links scheme

	Gdl DoF	SQ	MQ	F	Significatività F Significance F
Regressione Regression	2	22,15	11,07	72,03	9,14 E-13
Residuo Residual	33	5,07	0,15		
Totale Total	35	27,22			

variables. Moreover, the corrected  $R^2$  is also high and equal to 0.80, whereas the multiple correlation coefficient R, which measures the linear correlation between the values of the number of drivers observed and those estimated, is equal to 0.90, thus indicating good agreement of the established function.

To verify the existence of a significant relationship between the dependent variable and the two independent ones, an F test was performed on the whole multiple regression model. Since there are two explanatory variables, the null hypothesis and the alternative to be verified with the F test are:

- Hypothesis 0:  $\beta_1 = \beta_2 = 0$  (no linear relationship between dependent and explanatory variables);
- Hypothesis 1:  $\beta_i \neq 0$  (there is a linear relationship between the dependent variable and at least one of the explanatory variables).

Tabella 7 – Table 7

Coefficienti stimati della regressione per lo schema diretto  
Estimated regression coefficients for direct scheme

	Coefficienti Coefficients	Errore standard Standard deviation	Stat t
c	0,169	0,187	0,900
X1	0,213	0,018	11,908
X2	0,008	0,003	2,480

Tabella 8 – Table 8

Statistica della regressione multipla lineare per lo schema a collegamenti integrati (feeder-trunk)  
Statistics of the multiple linear regression for integrated links scheme (feeder-trunk)

Statistica della regressione Regression statistics	
R multiplo - Multiple R	0,88
R al quadrato - $R^2$	0,77
R al quadrato corretto - Corrected $R^2$	0,73
Errore standard - Standard error	0,94
Osservazioni - Observations	15

Analisi della varianza per lo schema integrato  
Variance analysis for integrated-links scheme (feeder-trunk)

	Gdl DoF	SQ	MQ	F	Significatività F Significance F
Regressione Regression	2	35,14	17,57	19,915	0,00015
Residuo Residual	12	10,59	0,88		
Totale Total	14	45,73			

ferenti dalle restanti adduttrici per sviluppo e velocità commerciale.

Il valore critico di F, in corrispondenza di 2 e 12 (n-p-1) gradi di libertà e con un livello di significatività pari a 0,05 (Tabella 9), è  $F_{2,12}=3,89$ . Il valore di F del modello (19,91) supera quello di F critico verificando la linearità tra la variabile dipendente e quelle indipendenti ed attestando perciò la significatività del modello calibrato. Ad avvalorare questa conclusione, come per il caso precedente, interviene anche il livello di significatività di F pari a  $1,54 \cdot 10^{-13}$  che risulta inferiore a 0,05.

Il test Stat t sulle variabili esplicative, per 12 gradi di libertà, ha restituito un valore critico del t pari a 2,179. Confrontando questo valore con le Stat t del numero di corse e del tempo di percorrenza si rileva che entrambe (Tabella 10) sono superiori al valore critico, pertanto entrambe le variabili esplicative sono significative per la determinazione del numero di conducenti.

Da una prima lettura delle (2) e (3) si evince che il coefficiente moltiplicativo della variabile  $X_1$ , ovvero del numero di corse offerte, risulta essere circa due volte superiore ( $X_{1,diretto} / X_{1,integrato} = 1,76$ ) per un sistema organizzato secondo collegamenti diretti anziché integrati o feeder-trunk, mentre i coefficienti relativi al tempo medio di percorrenza  $X_2$  differiscono di un ordine di grandezza (0,008 per lo schema diretto e 0,066 per quello feeder-trunk).

Uno schema di offerta organizzato secondo corse dirette, come risulta dall'analisi dell'offerta della Provincia di Matera, è particolarmente sensibile al numero di corse in quanto costringe i conducenti ad un tempo inattivo consistente tra un collegamento di andata ed uno di ritorno che porta ad una scarsa efficienza nell'utilizzo del personale di guida, anche perché in ambito extraurbano risulta difficile impiegare un conducente su diverse linee, date le distanze dei centri serviti. Per contro uno schema feeder-trunk risulta maggiormente dipendente dal tempo medio di percorrenza rispetto ad uno diretto. Infatti in questo caso l'inattività dei conducenti tra una corsa di andata ed una di ritorno si riduce tanto più quanto minore è il tempo di viaggio delle corse; la produttività dei conducenti cresce di conseguenza.

Tabella 9 – Table 9

The F statistic, as is known, is given by the ratio between SQ (average of the squares of the regression) and MQ (average of the squares of the error). The statistics of F is a distribution F with p and n-p-1 degrees of freedom, with p = number of explanatory variables. The hypothesis 0 is to be rejected if  $F > F_{crit}$ ,  $F_{crit}$  being the critical value on the right tail of a distribution F with p and n-p-1 degrees of freedom.

The results of the F test are collected in Table 6 from which the F value of the model (72.03) is found. This value is therefore higher than  $F_{crit}$  (0.05) confirming the linearity between the dependent variable and the independent variables and therefore the significance of the model.

Table 7 collects the values of the Stat t for each of the explanatory variables. In order to determine whether each of them has a significant effect for determining the number of drivers, that is the dependent variable Y of the model, we proceeded, as for the previous F test, to verify the two hypotheses alternatives, that is ( $\beta_i=0$ ) e ( $\beta_i \neq 0$ ).

To verify the significance of 0.05 of the regression coefficients  $\beta_i$  for 32 degrees of freedom, the Stat t values were compared (Table 7) with the critical value deduced from tables relative to the Stat t test, which was 2.032. For both the explanatory variables  $Stat t > 2.032$  and therefore the existence of a significant relationship between the explanatory variables (number of supplied rides  $X_1$  and average travel time  $X_2$ ) and the dependent variable (number of drivers Y) remains valid.

The verifications of significance of the variables are repeated below also for the model calibrated for the integrated system (feeder-trunk) that is given by the relationship:

$$Y = -0,790 + 0,121 X_1 + 0,066 \cdot X_2 \quad (3)$$

In this case, the values of R,  $R^2$ , and corrected  $R^2$  (Table 8) slightly drop (0.88, 0.77, and 0.73, respectively). This is due to the reduced number of observations that are influenced by the presence of three trunk-lines having different characteristics compared to the remaining feeder ones on the development and commercial speed.

Tabella 10 – Table 10  
Coefficienti stimati della regressione per lo schema integrato  
Estimated regression coefficients for integrated links scheme

	Coefficienti Coefficients	Errore standard Standard deviation	Stat t
c	-0,790	0,646	-1,223
X1	0,121	0,049	2,493
X2	0,066	0,023	2,912

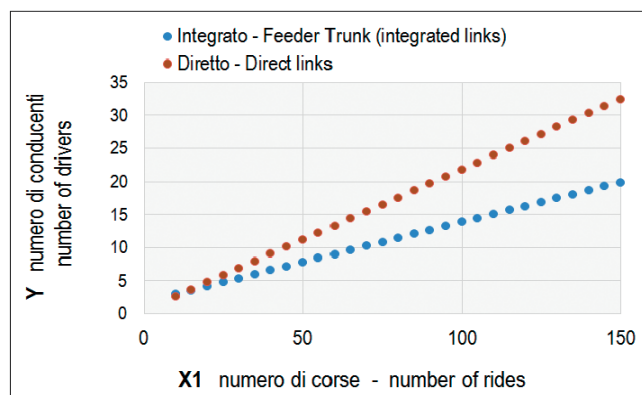


Fig. 3 – Numero di conducenti al variare del numero di corse.

Fig. 3 – Number of drivers depending on the number of rides.

Un confronto fra i due modelli calibrati è mostrato dai diagrammi di Fig. 3 che riportano l'andamento del numero di conducenti al variare del numero di corse offerte assumendo costante il tempo medio di percorrenza di ciascuna corsa pari a 38 minuti, ovvero uguale alla media pesata dei tempi di percorrenza dei servizi di trasporto pubblico locale offerti nell'area in esame.

I diagrammi di Fig. 3 confermano che, a parità del numero di corse offerte, uno schema integrato o feeder-trunk richiede un numero di conducenti inferiore rispetto a quello diretto. Tale divario diviene sempre più ampio all'aumentare del numero di corse  $X_1$ , data la diversa inclinazione delle rette dettata dal coefficiente della variabile in questione che per lo schema a collegamenti diretti è circa due volte quello dello schema feeder-trunk). Solo nel tratto iniziale, per un numero di corse inferiore a 20, risulta più efficiente un'organizzazione del servizio a collegamenti diretti; casistica però poco rilevante in quanto un'offerta a scala regionale o almeno comprensoriale richiede sempre un numero di corse ben maggiore.

#### 4. Conclusioni

L'efficientamento richiesto in questi ultimi anni in ambito UE al trasporto pubblico locale rende necessari interventi di razionalizzazione che interessano più aspetti dell'offerta. In presenza di esubero della capacità del sistema, e quindi tendenzialmente nelle aree a domanda debole, è possibile aumentare l'efficienza del servizio attraverso la sostituzione di collegamenti a linee dirette con collegamenti integrati cioè realizzati con più linee in serie, più noti come feeder-trunk. Infatti questi ultimi rispetto a quelli diretti, consentono due tipi di economie:

- minori percorrenze per effetto della eliminazione delle duplicazioni di percorso sui tratti comuni a più linee;
- maggiore utilizzo dei conducenti durante il turno di lavoro conseguente alla minore lunghezza delle linee

The critical value of  $F$  at 2 and 12 ( $n-p-1$ ) degrees of freedom at a significance level of 0.05 (Table 9) is  $F_{2,12} = 3.89$ . The  $F$  value of the model, equal to 19.91, is greater than the critical  $F$  value; hence, there is linearity between the dependent variable and the independent ones; therefore, the model has certain significance. To validate this conclusion, as in the previous case, the significance level of  $F$  is equal to  $1.54 \text{ E-}13$ , which is lower than 0.05.

The Stat- $t$  test conducted on the explanatory variables, with 12 degrees of freedom, gave a critical value equal to 2.179. Comparing this value with the Stat  $t$  of the number of rides and the travel time we detect that these last are both higher than the reported value (Table 10); therefore, both explanatory variables are significant to the number of drivers.

From a first reading of (2) and (3) it is clear that the multiplicative coefficient of variable  $X_1$ , i.e. the number of rides offered, is about twice as high ( $X_{1, \text{direct}} / X_{1, \text{integrated}} = 1.76$ ) for a system organized according to direct links instead of integrated or feeder-trunk, while the coefficients relating to the average travel time  $X_2$  differ by an order of magnitude (0.008 for the direct scheme and 0.066 for the feeder-trunk one).

A supply scheme organized according to direct links, as shown by the analysis of the transit supply of the Province of Matera, is particularly sensitive to the number of rides as it forces drivers to a substantial inactive time between a forward and a return rides that leads a poor efficiency in the use of driving staff, also because in the suburban area it is difficult to employ a driver on different lines, given the distances of the served centres. On the other hand, a feeder-trunk scheme is more dependent on the average travel time compared to a direct one. In fact in this case the inactivity of the drivers between a forward and return ride is reduced the more the less the travel time of the rides; driver productivity grows accordingly.

A comparison between the two calibrated models is shown in the diagrams of Fig. 3 which show the trend of the number of drivers as the number of rides varies, assuming constant the average travel time of each run of 38 minutes that is equal to the weighted average of travel times of local public transport services supplied in the area in question.

The diagrams in Fig. 3 confirm that, with the same number of supplied rides, an integrated scheme or feeder-trunk requires a lower number of drivers than the direct one. This gap becomes increasingly wider as the number of rides  $X_1$  increases, given the different inclination of the lines dictated by the coefficient of the variable in question, which for the direct links scheme is about twice that of the feeder-trunk one. Only in the initial section, for a number of journeys of less than 20, a service structure for direct links is more efficient; however, it is not very relevant as a supply on a regional or at least a district scale always requires much more rides.

a al maggior numero di corse realizzabili con il risparmio di percorrenze di cui al punto precedente.

Mentre il primo tipo di economia si presta ad una facile quantificazione, non accade lo stesso per il secondo tipo. Infatti il numero di conducenti necessari per produrre il servizio, nei modelli di stima del costo viene solitamente determinato sulla base delle ore di guida annue rese o dei chilometri annui percorsi da ciascun conducente. Detti parametri non sono di solito rilevati sullo specifico servizio da realizzare ma sono assunti come valore medio determinato su un campione di aziende esercenti servizi che sono assimilabili a quello in esame solo relativamente ad aspetti molto generali quali l'ambito operativo (urbano, suburbano, extraurbano) o la velocità commerciale. Ciò rende impossibile tener conto del diverso utilizzo dei conducenti raggiungibile attraverso schemi di offerta con differente livello di integrazione delle linee.

La metodologia ed i modelli qui proposti permettono di superare questo limite rendendo possibile la determinazione del numero di conducenti effettivamente necessari per attuare lo specifico programma di esercizio, valore che può essere utilizzato nei modelli esistenti per stimare il costo del servizio.

La metodologia individuata nasce dalla relazione verificata sperimentalmente fra le ore di guida rese dai conducenti, da un lato, e il numero di corse su ciascuna linea ed il tempo di percorrenza medio delle corse, dall'altro. È intuitivo infatti comprendere che maggiore è il numero di corse e minore il loro tempo di percorrenza, maggiore è la possibilità di utilizzare il conducente durante il suo turno di lavoro, come peraltro confermato dal raffronto fra i coefficienti delle due variabili discusso nella sezione precedente. In particolare il coefficiente della variabile tempo di percorrenza  $X_2$ , pur essendo positivo in entrambi i modelli, in quello relativo allo schema feeder-trunk assume un valore oltre 8 volte maggiore di quello con cui è presente nel modello riferito allo schema diretto.

Perciò si sono scelti alcuni schemi di offerta di trasporto pubblico regionale caratterizzati da collegamenti diretti fra i centri serviti e li si sono trasformati in schemi integrati, con un maggior numero di corse, così da mantenere le stesse percorrenze complessive di quelli originali. Per gli uni e per gli altri si sono determinati sperimentalmente, sulla base del programma di esercizio, il numero di conducenti che successivamente è stato messo in relazione con il numero di corse ed il tempo di percorrenza medio delle corse attraverso una regressione lineare conducendo alcuni test statistici.

I due modelli ottenuti rappresentano strumenti di rapida applicazione per stimare il numero di conducenti su schemi di offerta a collegamenti diretti e su quelli a collegamenti integrati. L'applicazione dei due modelli in presenza di schemi misti permette di determinare un intervallo, con estremi i valori ricavati dai due modelli, all'in-

## 4. Final remarks

*In recent years, within the EU, increased efficiency imposed on the local public transport required rationalisation measures involving more aspects of the supply. Where the system capacity is in excess, that is generally in areas with a weak demand, it is possible to increase the efficiency of a service by replacing direct links with integrated links realised with two or more lines in series. Indeed, compared to those with direct links, the supply schemes with integrated links (feeder-trunk) allow two types of economies:*

- *lower mileage due to the elimination of duplication of route on the main infrastructure, which are irrepressible in direct link schemes, and*
- *greater use of drivers during the work shift resulting from the shorter line length and the greater number of rides that can be achieved by the mileage saving mentioned in the previous point.*

*While the first type of economy lends itself to easy quantification, the same does not happen for the second type. In fact, the number of drivers required to produce a service, in the cost estimation models is usually evaluated on the basis of the annual driving hours rendered by each driver or by the annual kilometres travelled by each driver. These parameters are not assessed on the specific service to be carried out but are considered as average values estimated on a sample of transport companies, which are similar to the one in question just in relation to very general aspects such as the operative field (urban, suburban, and extra-urban) or the commercial speed. This makes it impossible to take into account the different employments of drivers that can be addressed through supply schemes with different levels of line integration.*

*The methodology and models here proposed make it possible to overcome this limitation, that is, these allow us to calculate the number of drivers actually required to realise a specific operating program, a value that can be used in existing models to estimate the cost of service.*

*This methodology is the result of an experimentally verified relationship between the driving hours rendered by the drivers, on the one hand, and the number of rides on each line and the average travel time of the rides, on the other. In fact, it is intuitive to think that a greater number of rides leads to lesser travel time for each ride, with a greater possibility of using drivers during their work shifts, as also confirmed by the comparison between the coefficients of the two variables discussed in the previous section. In particular, the coefficient of the travel time variable  $X_2$ , although positive in both models, in the one related to the feeder-trunk scheme takes on a value 8 times higher than that in the model referred to the direct scheme.*

*Therefore, we chose some regional public transport supply schemes that were characterised by direct links between the served centres. We then transformed them into integrated schemes with a greater number of rides to maintain the same overall mileages as the original ones. On the basis of*

terno del quale ricade il numero di conducenti necessari per produrre il servizio in esame.

Il limite di applicabilità dei modelli così calibrati è rappresentato dalla necessità di considerare schemi di trasporto di ambito regionale o provinciale nei quali, a causa della distanza reciproca fra i capolinea, non è possibile l'utilizzazione del conducente su più di una linea durante lo stesso turno di servizio. Il numero di conducenti è stato calcolato sotto questa ipotesi. La costruzione di modelli simili adatti all'utilizzo nel trasporto urbano condurrebbe, in linea di principio, ad una nuova formulazione che comprenda anche variabili ubicazionali dei capolinea, in quanto non si può escludere che, in ambiti ristretti, il conducente, durante l'intervallo fra due corse successive, possa essere impiegato su un'altra linea. Tuttavia, come è noto agli operatori, ciò accade molto raramente. Infatti, benché al ridursi dell'estensione dell'area servita diminuisca la distanza fra i capolinea di corse diverse e di conseguenza il trasferimento del conducente da una linea all'altra diventi più rapido e quindi più facilmente realizzabile, allo stesso tempo i servizi resi in ambiti più ristretti, come quello urbano, presentano frequenze delle corse generalmente più elevate e quindi minori tempi inoperosi fra una corsa e la successiva che riducono di fatto la possibilità di trasferire il conducente fra capolinea di corse diverse. Pertanto, se si trascura la possibilità dell'utilizzo del conducente su più di una linea durante lo stesso turno di servizio, i modelli proposti possono essere applicati anche al trasporto urbano previa una specifica calibrazione della stessa struttura matematica.

Il lavoro ha permesso inoltre di rilevare che uno schema di offerta feeder-trunk comporta, rispetto allo schema a collegamenti diretti, una riduzione di oltre il 30% del numero di conducenti necessari, già in presenza di 100 corse/giorno. Considerando che, in Italia, un conducente del trasporto pubblico su gomma extraurbano percorre mediamente fra i 31.000 ed i 35.000 km/anno e comporta un costo per l'azienda intorno ai 41.000 €/anno [5] e [6], ne consegue che questo tipo di riorganizzazione dell'offerta può realizzare un risparmio intorno a 0,4 Euro/bus.km sulla voce conducenti. Dato che quest'ultima voce incide fra il 40% ed il 50% sul costo complessivo del servizio, la conseguente riduzione del costo chilometrico per un servizio extraurbano può raggiungere anche il 15% in corrispondenza di sole 100 corse/giorno.

Lo schema feeder-trunk trova un campo di impiego particolarmente favorevole nelle aree a domanda debole, dove la capacità generalmente esuberante permette di caricare su una sola corsa di una linea direttrice di fondovalle i passeggeri scesi da più corse di diverse linee adduttrici in coincidenza. Nelle aree in questione peraltro, spesso i ricavi da traffico coprono i costi di esercizio solo in percentuale molto ridotta, il che rende più pressante l'esigenza di un efficientamento in termini di riduzione del costo chilometrico. E pertanto è necessario che questa riduzione sia stimabile in fase di pianificazione del

*the operating program, we experimentally determined the number of drivers for each scheme and correlated this with the travel time and the number of rides using linear regression analysis and some statistical tests.*

*The two models obtained represent rapid application tools to estimate the number of drivers on supply schemes with direct links as well as on those with integrated links. The application of the two models on mixed schemes allows to establish a range, with the values obtained from the two models as extremes. The number of drivers necessary to produce the service in question falls within these extremes.*

*The limitation of applicability of the so calibrated models is due to the need to consider transport schemes of a regional or provincial areas in which, due to the distance between the termini, it is not possible to employ the driver on more than one line during the same work shift. This is because the number of drivers has been calculated under this hypothesis. The construction of similar models suitable for use in urban transport would, in principle, lead to a new formulation that also includes termini location variables, as it cannot be excluded that, in narrow areas, the driver during the break between two successive rides, can be employed on another line. However, as is known to operators, this happens very rarely. In fact, as the extension of the served area decreases, the distance between the termini of different rides drops and consequently the transfer of the driver from one line to another becomes faster and therefore more easily achievable; however, at the same time, the services rendered in narrower areas, such as the urban one, have generally higher frequency of rides and therefore less inactive times between one ride and the next. All that, indeed, reduces the possibility of transferring the driver between termini of different lines. Therefore, if we neglect the possibility of employing the driver on more than one line during the same work shift, the proposed models can also be applied to urban transport after a specific calibration of the same mathematical structure.*

*This work also made it possible to point out that a feeder-trunk supply scheme implies a reduction of the order of 30% on the number of required drivers, compared to the direct link scheme. Considering that, in Italy, a public transport driver on intercity buses travels on average between 31,000 and 35,000 km/year and entails a cost of approximately 41,000 Euros/year for the company, it follows that this type of reorganisation of the transport supply can save up to 0.4 Euros/(bus km) on the driver cost. Because this last item affects between 40% and 50% of the total service cost, the consequent reduction in cost per kilometre for an intercity service can even reach up to 15%.*

*The feeder-trunk scheme is very effective in areas with a weak demand, where the transport capacity, generally in excess, allows to load, on the same ride of a trunk-line, passengers coming from several connecting rides of more feeder-lines. In the examined areas, however, traffic revenues often cover operating costs only to a very small percentage and that makes the efficiency improvements in terms of re-*

servizio in modo da tenerne conto nel prezzo posto a base delle gare di affidamento.

È da considerare che l'eventuale utilizzo di tecnologie informatiche per la rilevazione dei dati di esercizio permetterebbe di disporre di valori più accurati circa la durata delle corse che tuttavia difficilmente potrebbero produrre vantaggi apprezzabili in termini di affidabilità dei modelli calibrati.

Per migliorare l'affidabilità dei modelli proposti sarebbe opportuno ricalibrarli avvalendosi di un data base più ampio ed articolato che permetta di conoscere il numero esatto di conducenti complessivamente impiegati su intere reti, sia di tipo diretto che feeder, anziché su singoli collegamenti, tenendo conto anche della eventuale possibilità di impiego di ciascuna unità del personale di condotta su più di una linea durante il turno di servizio. Purtroppo la determinazione dei turni di servizio relativi ad una intera rete di trasporto pubblico presenta complessità superabili solo avvalendosi di software specifico che risulta molto costoso e complesso da utilizzare. Peraltro si riscontra l'assoluta indisponibilità delle aziende esercenti a fornire dati di questo tipo perché altamente sensibili ai fini commerciali. Pertanto la disponibilità di ulteriori risorse permetterà di sviluppare la ricerca nella direzione indicata.

La ricerca qui presentata è stata svolta con il contributo della Fondazione Banca Nazionale delle Comunicazioni - Roma che ha finanziato l'assegno di ricerca per il progetto "Reti ad alta efficienza ed efficacia per il trasporto pubblico locale su gomma".

*ducing the cost per kilometre more urgent. It is therefore necessary that this reduction can be estimated during the planning phase of a service so that it can be considered in the base price of the tender for contracts.*

*It should be considered that the possible use of information technology for the recording of operating data would allow to have more accurate values about the duration of the rides which, however, could hardly produce appreciable advantages in terms of reliability of the calibrated models.*

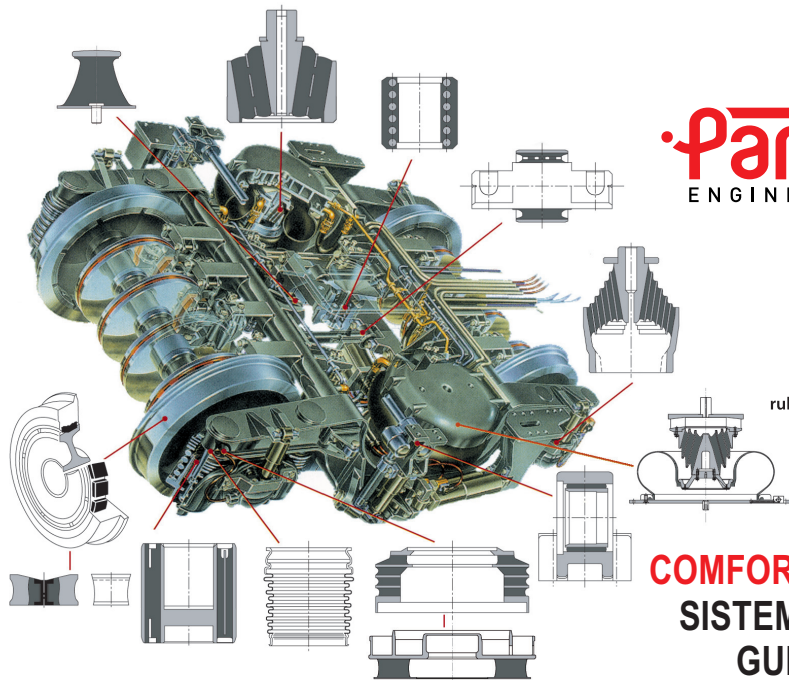
*To improve the reliability of the proposed models, it would be advisable to recalibrate them using a broader and more detailed database that allows to know the exact number of drivers used overall on entire networks, both direct and feeder, rather than on individual links, also taking into account any possible use of each driver's unit on more than one line during the work shift. Unfortunately, the determination of work shifts related to an entire public transport network presents complexity that can only be overcome by using specific software that is very expensive and complex to manage. Moreover, there is the absolute unavailability of transport companies to supply this type of data because they are highly sensitive to commercial purposes. Therefore the availability of additional resources will allow to develop the research in this direction.*


*This research was conducted with a financial contribution from the National Bank of Communications Foundation - Rome, which primarily provided a research grant for the project "High efficiency and effectiveness networks for the local public bus transport".*

## BIBLIOGRAFIA - REFERENCES


- [1] 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", an econometric cost model for local public bus transport, *Economia e Politica Industriale*. Issue 4. pp. 181-213.
- [2] PETRUCELLI U., RACINA A. (2019), "Feeder-trunk and direct-link schemes for public transit: a model to evaluate the produced accessibility", *Public Transport* (in print).
- [3] Comunità Europea - Regolamento 1191/69-CE, modificato dal Regolamento 1893/91-CE,
- [4] Comunità Europea Regolamento 1370/2007-CE, modificato dal Regolamento 2338/2016-CE
- [5] Università di Roma "La Sapienza", Dipartimento di Ingegneria Informatica, Automatica e Gestionale (2013), "La determinazione del costo standard nei servizi di Trasporto Pubblico Locale su Autobus: aspetti metodologici e prime esperienze applicative", Roma, 2 ottobre 2013, <https://dokodoc.com/la-determinazione-del-cost-standard-nei-servizi-di-trasport.html>
- [6] 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, [https://www.sindacatofast.it/sites/default/files/doc\\_pdf\\_inf/audizione%20commissione%20trasporti.pdf](https://www.sindacatofast.it/sites/default/files/doc_pdf_inf/audizione%20commissione%20trasporti.pdf)
- [7] MIT - Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2018), DM. 28-03-2018 n.157 – "Definizione dei costi standard dei servizi di trasporto pubblico locale e regionale e dei criteri di aggiornamento e applicazione".
- [8] FRAQUELLI G., PIACENZA M., & ABRATE G. (2001), "Il trasporto pubblico locale in Italia: variabili esplicative dei divari di costo tra le imprese", *Economia e Politica Industriale*, Issue 111/2001. 51-82.

- [9] 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.
- [10] CIRIANNI F., LEONARDI G., & IANNÒ D. (2012), "Model definition and optimization of unit cost functions in service integration of bus services", in: (conference paper) 6th International Symposium "Networks for Mobility", September 27/28, 2012 TY. 1-11.
- [11] DI GANGI M., "Un approccio analitico per la valutazione dei costi nei sistemi di trasporto collettivo", in (a cura di) BERGANTINO A.S., CARLUCCI F., CIRÀ A., MARCUCCI E., MUSSO E. "I sistemi di trasporto nell'area del Mediterraneo: infrastrutture e competitività", Milano: Franco Angeli. 2013. 347-358.
- [12] 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*, Volume 62, 48-57.
- [13] PETRUCCELLI U., CARLEO S. (2017), "Cost models for local road transit", *Public Transport*, Volume 9, Issue 3, pp 527-548.
- [14] PETRUCCELLI U., CARLEO S. (2016), "Un metodo per la stima del costo del trasporto pubblico su gomma - A methodology to assess the road public transit cost", *Ingegneria Ferroviaria*, 11/2016, pp. 837-858.
- [15] Contratto collettivo nazionale di lavoro per la categoria degli autoferrotranvieri ed internavigatori e dei dipendenti delle aziende private esercenti autolinee in concessione, Anav, Asstra e Filt-Cgil, Fit-Cils, Uiltrasporti.



  
**Pantecnica®**  
 ENGINEERED SOLUTIONS  
 DIVISIONE  
**GMT®**  
**IRIS**  
 Certification  
 rules: 2017 and based on  
 ISO/TS 22163:2017

COMFORT e AFFIDABILITA'  
 SISTEMI ANTIVIBRANTI  
 GUMMIMETALL®



Via Magenta, 77/14A - 20017 Rho (Mi) Tel. 02.93.26.10.20 - E-mail: info@pantecnica.it - www.pantecnica.it

