



Modelli per la stima del costo del trasporto pubblico su strada: uno stato dell'arte

Models for estimating the cost of road public transit: a state of the art

UMBERTO PETRUCELLI ^(*)

Pietro VUONO ^(**)

(<https://www.medra.org/servlet/view?lang=it&doi=10.57597/IF.10.2024.ART.1>)

Sommario - La determinazione del costo standard del trasporto pubblico locale (TPL) è un tema di grande interesse nei paesi che sovvenzionano con risorse pubbliche questi servizi, in quanto risulta essenziale per regolare i rapporti economici fra l'ente affidante e l'azienda affidataria ma anche per garantire una giusta distribuzione delle specifiche risorse statali fra gli enti locali competenti. L'argomento è stato affrontato da alcuni studiosi che hanno prodotto modelli di stima supportati da relazioni matematiche più o meno complesse, dipendenti da variabili di diversa natura.

Questo lavoro illustra i maggiori risultati presenti nella letteratura scientifica e pone l'accento sulla capacità interpretativa di ciascun modello proposto, valutata attraverso la rappresentatività delle variabili utilizzate e dei parametri di calibrazione. In particolare, per ogni modello vengono discusse le variabili su cui si basa, l'impostazione metodologica e la forma analitica, l'ampiezza e valenza del campione di riferimento, e ne vengono evidenziati i punti di forza ed i limiti. L'obiettivo del lavoro consiste nel sistematizzare le conoscenze attuali sui modelli di stima del costo dei servizi di TPL su gomma fornendo indicazioni per la ricerca futura con particolare attenzione all'importanza delle variabili da considerare.

1. Introduzione

In Italia, il trasporto pubblico locale (TPL) è realizzato su strada per circa il 60% delle percorrenze ed è esercitato in regime di monopolio di Stato e delegato alle regioni che di solito affidano i servizi ad aziende esterne. In tutti i paesi europei in cui il TPL viene sovvenzionato è necessario

Summary - The estimate of the local public transport (LPT) standard cost is a topic of great interest in countries that subsidise these services with public resources, as it is essential to regulate the economic relations between the entrusting authority and the entrusted company but also to guarantee a fair distribution of the specific state resources among the competent local authorities. The subject has been addressed by some scholars who have produced estimation models supported by more or less complex mathematical relations, dependent on variables of a different nature.

This work illustrates the major results in the scientific literature and emphasises the interpretative capacity of each proposed model, assessed through the representativeness of the variables used and the calibration parameters. In particular, for each model, the variables on which it is based, the methodological approach and analytical form, the breadth and value of the reference sample are discussed, and its strengths and limitations are highlighted. The aim of this work is to systematise current knowledge on models for estimating the cost of LPT services by road, providing indications for future research with particular attention to the importance of the variables to be considered.

1. Introduction

In Italy, local public transport (LPT) is carried out by road for about 60% of mileage and is exercised under a State monopoly and delegated to the regions, which usually entrust services to external companies. In all Euro-

^(*) Università della Basilicata – (email: umberto.petruccelli@unibas.it).

^(**) Università della Basilicata.

^(*) University of Basilicata - (email: umberto.petruccelli@unibas.it).

^(**) University of Basilicata.

determinarne il costo di riferimento da utilizzare nelle gare pubbliche di affidamento [1].

Per costo di riferimento o costo standard si intende generalmente il costo di produzione per unità di prodotto (veicolo-km o posto-km), calcolato per un'azienda massimamente efficiente, tenendo conto delle specificità dei prodotti e delle reali condizioni operative all'interno di un contesto territoriale chiaro e ben definito [2][3]. A livello micro, il costo di riferimento è alla base del meccanismo di quantificazione delle sovvenzioni da erogare alle aziende che esercitano il servizio. A livello macro, invece, lo stesso costo può essere utilizzato per supportare 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 da sostenere [4]. Di fatti, il principio del costo standard nel finanziamento dei servizi pubblici è entrato formalmente da molto tempo nell'ordinamento italiano per assicurare una equa distribuzione e un più efficiente uso delle risorse pubbliche [5] anche se, nonostante gli sforzi normativi fino ad oggi profusi, l'obiettivo di una giusta ripartizione delle risorse statali è ancora piuttosto lontano [6]. Seppur in presenza di precise istruzioni predisposte da fonti istituzionali, come l'Autorità di Regolazione dei Trasporti (ART), il Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibile (MIMS) e le Regioni, la maggiore complessità nella definizione e nello sviluppo dei modelli di calcolo di tale costo risiede nella scarsa omogeneità dei dati forniti dalle aziende [3].

Negli ultimi vent'anni la letteratura scientifica sul tema della stima del costo kilometrico dei servizi di TPL su gomma si è arricchita di numerosi modelli dipendenti da più variabili fra cui generalmente sono comprese la velocità commerciale (che condiziona l'impegno temporale dei conducenti e dei veicoli) e la quantità di servizio prodotta (che riflette le eventuali economie e diseconomie di scala). Purtroppo la maggior parte dei modelli esistenti non utilizza variabili in grado di descrivere anche indirettamente le caratteristiche del programma di esercizio (PdE) che influiscono sensibilmente sull'efficienza degli operatori e dei rotabili e ciò ne limita l'attendibilità dei risultati. Infatti lo stesso numero di ore di servizio reso al pubblico (conseguenza diretta della percorrenza realizzata e della velocità commerciale) può essere realizzato utilizzando un numero differente di conducenti e di mezzi dipendente dal progetto delle linee e dell'orario, con evidenti conseguenze sulla percorrenza media annua di ciascun conducente e di ciascun mezzo.

L'incidenza del PdE sul costo kilometrico del servizio è chiarita dall'esempio riportato in [7], a cui si rimanda, che evidenzia il differente utilizzo di conducenti e macchine su due linee extraurbane identiche, servite da un numero di corse molto diverso.

Nell'analisi dei costi elaborata partendo dalle effettive voci di spesa, l'influenza del PdE sul numero di conducenti e di mezzi necessari è automaticamente considerata, a differenza di quanto accade nella stima elaborata a partire dalla quantità e dalle peculiarità del prodotto reso. Infatti

pean countries where LPT is subsidised, it is necessary to determine the reference cost to be used in public tenders [1].

Reference or standard cost is generally understood to be the cost of production per unit of product (vehicle-km or seater-km), calculated for a maximally efficient company, taking into account product specificities and actual operating conditions within a clear and well-defined territorial context [2][3]. At the micro level, the reference cost is the basis for quantifying the subsidies to be paid to the companies operating the service. At the macro level, on the other hand, the same cost can be used to support an equitable distribution of resources between the regions of the same country, which must be based on actual needs in terms of quantity of service and unit costs to bear [4]. Actually, the principle of standard cost in the financing of public services formally entered the Italian legal system a long time ago to ensure a fair distribution and a more efficient use of public resources [5] even though, despite the regulatory efforts made to date, the objective of a fair distribution of state resources is still some way off [6]. Although there are precise instructions prepared by institutional sources, such as the Italian Transport Regulatory Authority (ART), the Italian Ministry of Infrastructure and Sustainable Mobility (MIMS) and the Regions, the greatest complexity in defining and developing models for calculating this cost lies in the lack of homogeneity in the data provided by the companies [3].

Over the last twenty years, the scientific literature on the estimating the cost per km of LPT road services has been enriched by numerous models dependent on several variables, which generally include commercial speed (which effects the use time of drivers and vehicles) and the quantity of service produced (which reflects any economies and diseconomies of scale). Unfortunately, most existing models do not use variables describing even indirectly the characteristics of the service operating program (SOP) that significantly affect the efficiency of operators and rolling stock, and this limits the reliability of the results. In fact, the same number of hours of service supplied to the public (a direct consequence of the distance travelled and the commercial speed) can be realised using a different number of drivers and vehicles depending on the design of the lines and the timetable, with obvious consequences on the average annual mileage travelled by each driver and each vehicle.

The impact of the SOP on the cost per km of the service is clarified by the example given in [7], to which we refer, which highlights the different use of drivers and buses on two identical extra-urban lines served by very different numbers of rides.

In the cost analysis worked out from the actual expense items, the influence of the SOP on the number of drivers and vehicles required is automatically taken into account, unlike in the estimation elaborated from the quantity and characteristics of the product made. In fact, estimation

i modelli di stima sono in grado di tener conto delle caratteristiche del PdE solo se comprendono variabili che lo rappresentano, o direttamente, o indirettamente attraverso parametri indicativi dell'efficienza dei conducenti, quali la percorrenza media annua o il rapporto medio giornaliero fra ore di guida e ore di servizio. In particolare, se si utilizzano modelli che tengono conto indirettamente del PdE attraverso parametri indicativi dell'efficienza dei conducenti e dei mezzi, è possibile ottenere stime affidabili del costo unitario del servizio solo se si attribuiscono a questi parametri valori medi validati, riferiti a servizi che presentano le stesse caratteristiche di quelli in esame. Considerando che il costo del personale di guida incide all'incirca per il 50% del totale, è chiaro che utilizzare modelli che non tengono conto delle caratteristiche del PdE conduce ad una stima del costo scarsamente rappresentativa dello specifico servizio.

I modelli riportati nel presente lavoro sono stati tratti in prima battuta da studi pubblicati da autori che hanno affrontato più volte, con approfondimenti successivi, il tema. Successivamente si è ampliata notevolmente l'area di indagine comprendendo altri lavori rilevanti sebbene meno noti. Questo ha portato a selezionare 19 modelli di calcolo che costituiscono un campione sufficientemente rappresentativo del fenomeno studiato.

I 19 modelli di stima esaminati (riportati in Fig. 1 in ordine cronologico con il nome degli autori) sono stati confrontati sulla base delle seguenti specificità:

- le variabili utilizzate e l'attendibilità delle stime;
- la metodologia di costruzione e la forma analitica;
- l'ampiezza e valenza del campione di dati sui quali sono stati costruiti.

La prevalenza in letteratura di studi riguardanti il contesto italiano è conseguenza dell'importanza crescente che il costo standard ha assunto in Italia negli ultimi quarant'anni nella determinazione delle compensazioni economiche

models are able to take into account the characteristics of the SOP only if they include variables that represent it, either directly or indirectly, through parameters indicative of driver efficiency, such as average annual mileage or the average daily ratio of driving hours to service hours. In particular, when using models that indirectly account for SOP through parameters indicative of driver and vehicle efficiency, it is possible to obtain reliable estimates of the service unit cost only if validated average values are attributed to these parameters, referring to services with the same characteristics as those under consideration. Considering that the cost of driving staff accounts for approximately 50% of the total, it is clear that using models that do not take into account the characteristics of the SOP leads to a cost estimate that is poorly representative of the specific service.

The models analysed in this work were initially taken from studies published by authors who have addressed the topic several times, with subsequent in-depth studies. Afterwards, the area of investigation was significantly expanded to include other relevant, although less well-known, works. This led to the selection of 19 calculation models that constitute a sufficiently representative sample of the phenomenon studied.

In the following, 19 estimation models were examined (shown in Fig. 1 in chronological order, by the authors' names) and were compared on the basis of the following features:

- *the variables used and the reliability of the estimates;*
- *construction methodology and analytical form;*
- *the size and value of the data sample on which they were constructed.*

The prevalence in the literature of studies regarding the Italian context is a consequence of the growing importance that the standard cost has assumed in Italy over the last forty years in determining the economic

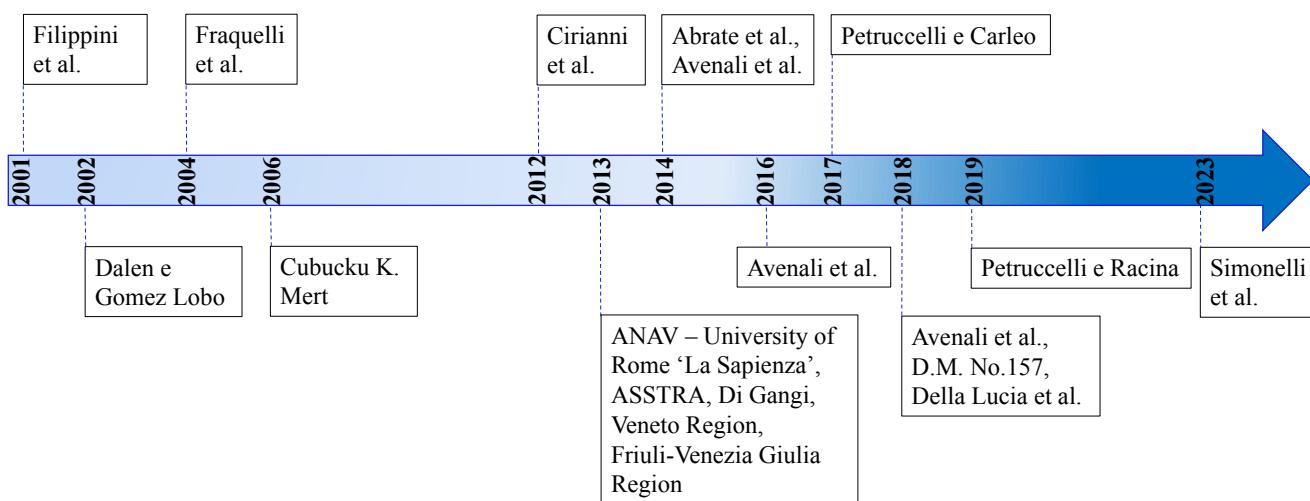


Figura 1 - Ordine cronologico dei modelli esaminati.
Figure 1 - Chronological order of the models examined.

riconosciute dagli enti pubblici committenti alle aziende che esercitano il TPL. Tale importanza è comprovata anche dalla emanazione, da parte Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, di uno specifico Decreto Ministeriale (il 157/2018) che ha stabilito metodi e modelli per il calcolo del costo standard avvalendosi dei dati raccolti negli ultimi anni dall'Osservatorio Nazionale per le Politiche del Trasporto Pubblico Locale.

L'originalità del lavoro qui presentato risiede nell'aver proposto un confronto critico (fino ad oggi mancante nella letteratura del settore) fra i modelli esistenti, e nell'aver illustrato e valorizzato le variabili influenzate dallo specifico PdE che incidono sensibilmente sul costo dei servizi di TPL e che, purtroppo, nonostante ciò, sono trascurate nella maggior parte dei modelli attuali.

2. Variabili dei modelli e attendibilità delle stime

Si classificano di seguito i modelli in tre categorie sulla base delle variabili utilizzate e si raccolgono in Tab. 1, Tab. 2, Tab. 3, discutendone poi le caratteristiche nei relativi sottoparagrafi. In particolare, si distinguono:

- Categoria 1: modelli in cui le caratteristiche del programma di esercizio (PdE) vengono descritte in modo completo ed esaustivo attraverso opportune variabili rappresentative.
- Categoria 2: modelli in cui le caratteristiche del PdE vengono descritte solo parzialmente attraverso variabili derivate o variabili discontinue o fittizie (*dummy*).
- Categoria 3: modelli che non tengono in alcun conto delle specificità del PdE limitandosi ad utilizzare variabili rappresentative di aspetti generali del servizio, quali la velocità commerciale e la quantità di servizio prodotto.

2.1. Categoria 1

Fra i modelli ricadenti nella prima categoria, cioè quelli in cui le caratteristiche del programma di esercizio (PdE) vengono descritte in modo esaustivo e diretto attraverso variabili rappresentative, ne sono stati selezionati tre.

Il modello proposto da PETRUCCHELLI e CARLEO (2017) [2] basa la stima del costo su un parametro denominato "Indicatore di Efficienza Globale" (E_G), in grado di rappresentare sinteticamente l'efficienza del PdE e dell'azienda, come prodotto fra i tre fattori:

- il coefficiente di utilizzazione medio degli autisti, consistente nel rapporto fra le ore di guida rese mediamente da ciascun conducente e le ore di lavoro, che misura l'efficienza del programma di esercizio e rappresenta un parametro esogeno all'azienda, cioè non controllabile da quest'ultima;
- l'incidenza del costo degli autisti sul costo complessivo del lavoro ($C_{\text{cond}}/C_{\text{pers}}$), già utilizzato da ANAV [12] e ASSTRA [13] (si veda il successivo paragrafo 2.2), che misura in modo indiretto l'efficienza aziendale e rap-

compensation recognized by public contracting bodies to companies that operate TPL. This importance is also demonstrated by the issuing, by the Ministry of Infrastructure and Transport, of a specific Ministerial Decree (157/2018) which established methods and models for calculating the standard cost using data collected in recent years by the National Observatory for Local Public Transport Policies.

The originality of the work presented here lies in proposing a critical comparison (up to now lacking in the sector literature) between present models and in illustrating and valorising the variables influenced by the specific PdE that significantly affect the cost of TPL services and which, unfortunately, despite this, are neglected in most current models.

2. Model variables and estimate reliability

In the following, the models are classified into three categories on the basis of the variables used and are gathered in Tab. 1, Tab. 2, Tab. 3 and then discussed in the relevant subsections. In particular, we distinguish:

- *Category 1: models in which the characteristics of the service operating program (SOP) are fully and comprehensively described by appropriate representative variables.*
- *Category 2: Models in which the characteristics of the SOP are only partially described through derived variables or discontinuous or dummy variables.*
- *Category 3: models that take no account the specificities of the SOP because they merely use variables representing general aspects of the service, such as the commercial speed and the quantity of service produced.*

2.1. Category 1

We selected three of the models falling into the first category, i.e. those in which the characteristics of the service operating program (SOP) are comprehensively and directly described through representative variables.

The model proposed by PETRUCCHELLI and CARLEO (2017) [2] bases the cost estimation on a parameter called the 'Global Efficiency Indicator' (E_G), which is able to synthetically represent the efficiency of the SOP and the company, as a product between the three following factors:

- *average driver utilisation coefficient, consisting of the ratio between the average driving hours rendered by each driver and the number of hours worked, which measures the efficiency of the SOP and is a parameter external to the company, i.e. not controllable by the latter;*
- *cost of drivers on all staff cost ratio ($C_{\text{driv}}/C_{\text{staff}}$), already used by ANAV [12] and ASSTRA [13], which indirectly measures company efficiency and represents an endogenous variable.*

Tabella 1 – Table 1

Sintesi dei modelli di calcolo relativi alla categoria tipologica n°1
Summary of the calculation models for type category n° 1

CATEGORIA 1 CATEGORY 1		
Modello (autori) Model (authors)	Variabili utilizzate - Variables used	
	Variabili rappresentative del PdE Representative variables of SOP	Altre variabili Other variables
PETRUCELLI e CARLEO (2017) [2]	$H_{G,cond}$, T_c , D_s , F_s , P_f	v_c , Q
PETRUCELLI e RACINA (2019) [4]	X_1 , X_2	
SIMONELLI <i>et al.</i> (2023) [8]	π , α , δ , ε , $N_{depotruns}$, w_{age}	v_c , Q

Legenda variabili - Variable legend:

$H_{G,cond}$ = numero di ore di guida - *number of driving hours*;
 T_c = durata temporale media delle corse - *average running time of the rides*;
 D_s = densità del servizio – *service density*;
 F_s = intensità del servizio – *service intensity*;
 P_f = fattore dell'ora di punta del servizio - *peak hour factor of the service*;
 v_c = velocità commerciale – *commercial speed*;
 Q = percorrenza annuale del servizio – *annual mileage of the service*.
 X_1 = numero di corse offerte – *number of supplied rides*;
 X_2 = tempo di percorrenza medio delle corse – *average travel time of the rides*;
 π = variabile che dipende dal contesto in cui viene svolto il servizio - *variable depending from the context in which the service is performed*;
 α = tasso standard di assenteismo dei conducenti ovvero del numero medio di giornate annue lavorate - *parameter describing the standard rate of driver absenteeism, i.e. the average number of days worked per year*;
 δ = parametro che descrive le inevitabili inefficienze conseguenti alla corrispondenza tra i turni di lavoro e l'orario del servizio - *parameter describing the inevitable inefficiencies resulting from the correspondence between work shifts and service hours*;
 ε = parametro che descrive l'incidenza dei percorsi a vuoto, cioè dello spostamento degli autobus da e per il deposito, all'inizio e alla fine del servizio - *parameter describing the incidence of empty journeys, i.e. the movement of buses to and from the depot, at the beginning and end of the service*;
 $N_{depotruns}$ = numero minimo di spostamenti "vuoti" ovvero da e per il deposito, all'inizio e alla fine del servizio - *minimum number of 'empty' journeys i.e. to and from the depot, at the beginning and end of the service*;
 w_{age} = fattore correttivo che tiene conto della percentuale di autobus con età maggiore della vita utile standard assunta pari a 15 anni - *correction factor taking into account the proportion of buses older than the assumed standard service life of 15 years*.

presenta un parametro endogeno dell'impresa; infatti un'azienda più efficiente realizza valori più alti di questo rapporto perché riesce a contenere il numero di unità del personale diverso dai conducenti;

- l'incidenza del costo totale del lavoro sul costo complessivo del servizio (C_{pers}/C), anche questo già presente nei modelli ANAV e ASSTRA, è un parametro solo parzialmente endogeno in quanto descrive in parte l'efficienza aziendale ed in parte quella del programma di esercizio.

Gli autori hanno definito, su base regressiva, una relazione analitica che consente di determinare l'indicatore di efficienza globale in funzione di sei variabili descrittive del PdE, che sono: la percorrenza annuale del servizio, la velocità commerciale media del servizio, la durata temporale media delle corse, la densità e l'intensità del servizio e il fattore dell'ora di punta dello stesso. Noto il valore di E_g e dopo aver determinato le ore annue di servizio reso, la stima del costo è immediata. Questo modello presenta il vantaggio della semplicità del calcolo e dell'approccio metodologico nonché dell'utilizzo di soli input noti anche al di fuori dell'azienda.

nous parameter of the company; in fact, a more efficient company achieves higher values of this ratio because it manages to contain the number of staff units other than drivers;

- *all staff cost on the total service cost ratio (C_{staff}/C), which is also already present in the ANAV and ASSTRA models (see subsection 2.2), is only partially an endogenous parameter as it partly describes the efficiency of the company and partly that of the SOP.*

The authors defined, on a regression basis, an analytical relationship that makes it possible to determine the overall efficiency indicator as a function of six descriptive variables of the SOP, which are: the annual mileage of the service, the average commercial speed, the average time of the rides, the density and intensity of the service, and the peak hour factor of the service. Once the value of E_g is known and the annual service hours are determined, the cost estimate is immediate. This model has the advantage of the simplicity in the calculation and methodological approach as well as the use of only inputs known also outside the company.

Tabella 2 – Table 2

Sintesi dei modelli di calcolo relativi alla categoria tipologica n°2
Summary of calculation models for type category n° 2

Modello (autori) Model (authors)	CATEGORIA 2 CATEGORY 2		
	Variabili Variables		Altre variabili Other variables
	Continue Continuous	Discontinue (o dummy) Discontinuous (or dummy)	
FILIPPINI <i>et al.</i> (2001) [9]		DEN ² , REGIO	Q, n, T
FRAQUELLI <i>et al.</i> (2004) [10]		DINT, DMIX,	v _c , Q, y _{VC}
CIRIANNI <i>et al.</i> (2012) [11]	H _{L,cond} , Q _{cond}		v _c , Q, v _{utile}
ANAV (2013) [12]	H _{G,cond}		v _c
ASSTRA (2013) [13]	H _{G,cond}		v _c
DI GANGI (2013) [14]	H _{L,cond}		v _c , Q, v _{utile}
Veneto Region (2013) [15]		5 categorie di servizio - 5 service categories	v _c
Friuli V. G. Region (2013) [16]	H _{G,cond}		v _c
AVENALI <i>et al.</i> (2018) [17]	H _{G,cond} , v _{utile} , a _v		v _c , Q, Km _v , D _{KM1} , D _{KM2}
DELLA LUCIA <i>et al.</i> (2018) [3]	t _u , t	α ₁ , α ₂ , α ₃	h

Legenda variabili - Variable legend:

DEN² = fattore che dipende dal numero di fermate per km di rete servito - *factor dependent on stops number per km of served network*;
 REGIO = fattore dipendente dal contesto territoriale in cui viene svolto il servizio di trasporto - *factor dependent on the territorial context in which the transport service is provided*;
 Q = percorrenza annuale del servizio - *annual running time of service*;
 n = lunghezza della rete - *length of network*;
 T = parametro che descrive le possibili fluttuazioni nel tempo - *parameter describing possible fluctuations over time*;
 DINT e DMIX = variabili dummy relative, rispettivamente, al servizio extra-urbano e misto - *dummy variables relating to extra-urban and mixed service, respectively*;
 v_c = velocità commerciale - *commercial speed*;
 y_{VC} = fattore che descrive l'errore stocastico della funzione di costo - *factor describing the stochastic error of the cost function*;
 H_{L,cond} = numero di ore lavorative del personale di guida - *number of working hours of the driving staff*;
 Q_{cond} = media dei km percorsi da ogni conducente in un anno - *average number of kilometres driven by each driver per year*;
 v_{utile} = vita utile di ogni autobus - *useful life of each bus*;
 H_{G,cond} = ore di guida nette di ogni conducente all'anno - *number of driving hours for each driver in a year*;
 Le 5 categorie di servizio, proposte dalla Regione Veneto, riguardano i seguenti ambiti territoriali:
 - urbano, in comuni con una popolazione inferiore a 150.000 abitanti;
 - urbano, in comuni con una popolazione maggiore o uguale a 150.000 abitanti;
 - extra-urbano, su percorsi pianeggianti o collinari (con quote fino a 600 m s.l.m.);
 - extra-urbano, su percorsi montani (con quote superiori a 600 m s.l.m.);
 - urbano, con mezzi a guida vincolata (metrotram).
 The 5 service categories, proposed by the Veneto Region, cover the following territorial areas:
 - urban, in municipalities with a population of less than 150,000 inhabitants;
 - urban, in municipalities with a population of 150,000 inhabitants or more;
 - extra-urban, on flat or hilly routes (with altitudes up to 600 m above sea level);
 - extra-urban, on mountain routes (with altitudes above 600 m above sea level);
 - urban, with guided vehicles (metrotram).
 a_v = età media dei veicoli - *average age of the vehicles*;
 Km_v = numero totale di bus.km/anno per ogni veicolo - *total annual number of bus.kilometres/year for each vehicle*;
 D_{KM1} e D_{KM2} = variabili dummy che garantiscono la relazione tra gli altri costi e la quantità del servizio prodotto - *dummy variables that make it possible to define the relationship between the other costs and the quantity of service produced*;
 t_u = tempo di servizio corrispondente ad un "servizio base" - *service time for a base service*;
 t = volume di produzione espresso in termini di tempo di servizio erogato al pubblico - *production volume expressed in terms of service time provided to the public*;
 α₁ = coefficiente rappresentativo del costo per ammortamenti, trazione e manutenzione connessi alle tipologie di bus e motorizzazione ed all'utilizzo - *coefficient representing the cost for depreciation, traction and maintenance associated with the types of buses and engines and their use*;
 α₂ = coefficiente che descrive i fattori di costo indipendenti dalla velocità commerciale, legati agli assetti logistici ed alle scorte tecniche del parco mezzi - *coefficient describing the cost factors independent from commercial speed, linked to logistical assets and technical stocks of the fleet*;
 α₃ = coefficiente che descrive il peso dei costi fissi di struttura - *coefficient describing the weight of fixed structural costs*;
 h = fattore di elasticità del costo rispetto alla quantità prodotta - *coefficient of the cost elasticity with respect to the quantity produced*.

Tabella 3 – Table 3

Sintesi dei modelli di calcolo relativi alla categoria tipologica n°3
Summary of the calculation models for type category n° 3

CATEGORIA 3 – CATEGORY 3	
Modello (autori) Model (authors)	Variabili non rappresentative del PdE Variables used not representative of SOP
DALEN e GOMEZ LOBO (2002) [18]	X_{imt} , Y_m , μ_{imt} , ε_{imt} , I_{imt}
CUBUKCU K. MERT (2006) [19]	Q , $H_{DENSITY}$, H_{STREET} , H_{SLOPE}
ABRATE <i>et al.</i> (2014) [20]	Q_U , Q_I , Q_H , π , ϕ , τ
AVENALI <i>et al.</i> (2014, 2016) [5, 21]	v_c , Q , A , D_{VC1} , D_{VC2} , D_{KM1} , D_{KM2}
D.M. 157 (2018) [22]	v_c , Q , A ,

Legenda variabili - Variable legend:

X_{imt} = variabili specifiche dell'azienda in funzione del tempo - *transport company-specific variables as a function of time*;
 Y_m = fattore che descrive le caratteristiche della rete stradale - *factor describing the characteristics of the road network*;
 μ_{imt} = inefficienza economica specifica di un'azienda - *company-specific economic inefficiency*;
 ε_{imt} = fattore rappresentativo dell'errore stocastico - *factor representing stochastic error*;
 I_{imt} = variabile dummy indicativa della tipologia di contratto - *dummy variable indicative of the type of contract*;
 Q = percorrenza annuale del servizio - *annual mileage of the service*;
 $H_{DENSITY}$ = densità di popolazione nell'area servita - *population density in the served area*;
 H_{STREET} = lunghezza media del tronco stradale compreso tra due intersezioni successive - *average length of road section between two successive intersections*;
 H_{SLOPE} = percentuale di terreno pianeggiante - *percentage of flat land*;
 Q_U = quantità di servizio prodotta in ambito urbano - *quantity of service produced in urban area*;
 Q_I = quantità di servizio prodotta in ambito interurbano - *quantity of service produced in extra-urban area*;
 Q_H = quantità di servizio prodotta a noleggio - *quantity of service produced for hire*;
 π , ϕ , τ = parametri che consentono la trasformazione Box-Cox - *parameters allowing Box-Cox transformation*;
 v_c = velocità commerciale – *commercial speed*;
 A = ammodernamento del materiale rotabile per unità di servizio - *rolling stock modernisation per service unit*;
 D_{VC1} , D_{VC2} , D_{KM1} , D_{KM2} = variabili dummy, utili a modellare l'andamento lineare a tratti della velocità commerciale e della dimensione del servizio - *dummy variables, useful for modelling the linear trend in commercial speed and service size*.

Solo pochi dei modelli di costo proposti in letteratura comprendono variabili rappresentative dalla produttività dei conducenti. Quest'ultimo è un fattore esogeno all'azienda produttrice in quanto dipendente quasi esclusivamente dal programma di esercizio messo in atto ma difficilmente determinabile al di fuori dell'organizzazione produttiva perché misurabile solo a valle della costruzione dei turni di lavoro. Il modello sviluppato da PETRUCCELLI e RACINA [4] fa emergere questo importante driver di costo confrontando uno schema di offerta con collegamenti tutti diretti (*direct-link*) ed uno con collegamenti tutti integrati del tipo a pettine (*feeder-trunk*), a servizio della stessa area e caratterizzati dalla stessa percorrenza complessiva. Come dimostrato dagli autori con l'applicazione ad un caso reale, questi due schemi realizzano una produttività per conducente molto diversa. In particolare il secondo si dimostra molto più efficiente del primo perché è costituito da linee più brevi servite da un numero di corse più elevato e quindi consente un maggiore utilizzo dei conducenti durante il turno di lavoro. Ciò si traduce in una maggiore percorrenza prodotta da ciascun conducente e perciò in un minore costo kilometrico. Si evidenzia così quanto una stima del costo kilometrico basata su un valore della percorrenza per conducente ricavato come media da un campione di aziende conduca ad un risultato errato in quanto indipendente dallo specifico PdE messo in atto.

Only a few of the cost models proposed in the literature include variables representative of driver productivity. The latter is a factor that is exogenous to the production company as long as it depends almost exclusively on the SOP but it is difficult to know outside the production company because it can only be measured downstream in the construction of the work shifts. The model developed by PETRUCCELLI and RACINA [4] brings out this important cost driver by comparing a supply scheme with all-direct links (direct-link) and one with all-integrated links i.e. comb type (feeder-trunk), serving the same area and characterised by the same overall mileage. As the authors demonstrate with the application to a real case, these two schemes reach very different productivity per driver. In particular, the latter proves to be much more efficient than the former because it consists of shorter links served by a higher number of rides and therefore allows for a higher use of drivers during the work-shift. This results in a greater mileage travelled by each driver and therefore a lower cost per km. This shows how an estimate of the cost per km based on a value of the mileage travelled per driver taken as an average from a sample of companies leads to an incorrect result because it is independent of the specific SOP implemented.

To allow the number of drivers to be estimated with reference to the specific SOP, without knowing the work-

Per consentire di determinare il numero di conducenti con riferimento allo specifico PdE senza conoscere i turni di servizio, gli autori hanno costruito due modelli regressivi, uno per ciascuno dei due schemi di offerta esaminati, basati su due variabili descrittive del PdE risultate maggiormente significative fra diverse analizzate, che sono il “numero di corse offerte” e il “tempo di percorrenza medio delle corse”. Pertanto è possibile utilizzare le relazioni messe a punto per determinare il numero di conducenti effettivamente necessario ad attuare lo specifico PdE e utilizzare questo valore in altri modelli di stima del costo standard quali ad esempio quelli ANAV o ASSTRA sostituendo in questi ultimi, alla percorrenza media di ciascun conducente ricavata come valore medio campionario, il valore determinato sull'effettivo PdE messo in atto.

Con la finalità di supportare le aziende di TPL nel miglioramento delle performance, SIMONELLI *et al.* (2023) [8] hanno seguito un differente approccio per la stima del costo operativo che ha condotto ad un modello basato su variabili di contesto e variabili di servizio. Il costo totale è calcolato come somma delle principali voci di costo rappresentate dai conducenti, dal servizio marketing e personale amministrativo, dall'ammortamento ed altri fissi, dalla manutenzione e personale dei depositi e dalla trazione. Il modello in esame, prendendo spunto da alcuni studi presenti in letteratura, determina il numero medio di ore di guida annue realizzato da ogni conducente come il prodotto tra un valore standard e una variabile dipendente dal contesto in cui viene svolto il servizio. Il primo fattore è funzione del numero massimo di ore di guida annuali consentito dai regolamenti e del numero medio di giornate annue lavorate. Il secondo fattore invece dipende da due parametri, di cui uno descrive le inevitabili inefficienze conseguenti alla corrispondenza tra i turni di lavoro e l'orario del servizio e l'altro descrive l'incidenza dei percorsi a vuoto, cioè dello spostamento degli autobus da e per il deposito, all'inizio e alla fine del servizio. Oltre al diverso approccio nella determinazione del numero di autobus e conducenti, il modello si distingue dagli altri in letteratura, per il calcolo del costo di ammortamento di ogni autobus. Detta voce è funzione anche di un fattore correttivo che tiene conto della percentuale di autobus con età maggiore della vita utile standard assunta di 15 anni. I risultati hanno mostrato la capacità del modello di stimare un valore di costo molto vicino alla realtà nonché valutare correttamente le inefficienze di un'azienda in funzione delle specifiche peculiarità del servizio e del contesto in cui viene svolto.

2.2. Categoria 2

Fra i modelli appartenenti alla seconda categoria un contributo significativo in tema di stima del costo standard è stato dato dal modello ANAV (Associazione Nazionale Autotrasporto Viaggiatori) – Università di Roma “La Sapienza” [12]. Questo metodo tiene conto indirettamente del PdE, attraverso il numero medio di ore di guida rese da ogni conducente ($H_{G,cond}$) e considera parametri di efficienza della produzione rappresentati dall'incidenza del costo del personale di guida su quello dell'intero personale ($C_{cond}/$

shifts, the authors constructed two regression models, one for each of the two supply schemes considered, based on two descriptive variables of the SOP, which were found to be the most significant among several analysed, namely the 'number of rides supplied' and the 'average trip time of the rides'. It is therefore possible to use these relations to estimate the number of drivers actually required for the specific SOP and to use this value in other standard cost estimation models such as the ANAV or ASSTRA models by substituting in the latter, for the average mileage travelled by each driver obtained as an average sample value, the value estimated on the actual SOP.

*With the aim of supporting LPT companies in improving performance, SIMONELLI *et al.* (2023) [8] followed a different approach for estimating the operating cost that led to a model based on context and service variables. The total cost is calculated as the sum of the main cost items represented by drivers, marketing and administrative staff, depreciation and other fixed costs, depot maintenance and staff, and traction. This model, taking its cue from a number of previous studies, determines the average number of annual driving hours achieved by each driver as the product between a standard value and a variable dependent on the context in which the service is carried out. The first factor is a function of the maximum number of annual driving hours permitted by regulations and the average number of annual days worked. The second factor, on the other hand, depends on two parameters, one of which describes the inevitable inefficiencies resulting from the correspondence between the work-shifts and the service timetable and the other describes the incidence of empty runs, i.e. the movement of buses to and from the depot, at the beginning and end of the service. In addition to the different approach in estimating the number of buses and drivers, the model differs from others in the literature since it calculates the depreciation cost of each bus. This is also a function of a correction factor that takes into account the percentage of buses with an age greater than the assumed standard service life of 15 years. The results showed the model's ability to estimate a cost value very close to the real one as well as correctly assessing the inefficiencies of a company according to the specific characteristics of the service and the context in which it is carried out.*

2.2. Category 2

Among the models belonging to the second category, a significant contribution to standard cost estimation was made by the model of ANAV (Italian Associazione Nazionale Autotrasporto Viaggiatori – Italian National Travellers' Road Transport Association) and University of Rome “La Sapienza” [12]. This method indirectly takes into account the SOP, through the average number of driving hours rendered by each driver ($H_{D,driv}$) and considers production efficiency parameters represented by ratio of the driving staff cost on that of the entire staff (C_{driv}/C_{staff}) and the ratio of the entire staff cost on that

C_{pers}) e dall'incidenza del costo dell'intero personale sul costo totale del servizio (C_{pers}/C). Per ottenere un costo minimo ed uno massimo, tutti i parametri utilizzati vengono assunti con due valori medi estremi, ricavati da un campione di aziende di trasporto consociate ad ANAV, distinte in base alla tipologia di servizio prodotto, in urbano o extraurbano. La procedura si basa sulla determinazione del costo kilometrico dei conducenti, da cui, noti i rapporti (C_{cond}/C_{pers}) e (C_{pers}/C) sopra definiti, si ricava il costo kilometrico totale; a quest'ultimo vanno aggiunti l'utile di impresa e l'IRAP. Il costo kilometrico dei conducenti si ottiene dividendo il costo annuo di ciascuna unità per la percorrenza media sviluppata. Quest'ultima scaturisce dal prodotto delle giornate di lavoro annue di ciascun conducente per le ore giornaliere di guida rese mediamente da ciascuna unità e per la velocità commerciale media del servizio. Il parametro che ha maggior peso e che è strettamente legato alle caratteristiche del PdE è quindi l'efficienza dei conducenti, espressa dal numero di ore di guida giornaliero. Per questo parametro gli autori forniscono valori medi rilevati sul campione selezionato dal modello di ANAV.

Un'altra metodologia di interesse applicativo è definita dal modello ASSTRA (Associazione Trasporti) [13] che prevede una suddivisione dei costi per i vari processi aziendali e valuta l'efficienza, non solo del singolo fattore produttivo, ma dell'intera area di processo. Pertanto, vengono individuate quattro aree principali con le relative voci di costo riportate in Tab. 4.

Come nel modello ANAV, il costo unitario finale viene incrementato della remunerazione del capitale (utile di impresa) e dell'IRAP. Il procedimento operativo è lo stesso del modello ANAV, con la differenza che vengono forniti valori leggermente diversi dei parametri ricavati dal campione di aziende consociate, che sono messi a confronto nella Tab. 5.

E' da ravvisare che i modelli ANAV e ASSTRA, seppur siano stati elaborati ormai una decina di anni fa circa, rappresentano un riferimento nella metodologia stima del costo standard, distinguendosi il primo per un approccio di tipo macro-analitico che mette in relazione il costo del servizio con parametri di produttività, mentre il secondo per un approccio di tipo micro-analitico che analizza tutte le voci di costo del processo produttivo di un'azienda di trasporto, il che consente di valutare l'evoluzione di ogni singolo fattore della produzione. Una caratteristica in comune è la valutazione di due scenari, il migliore e il peggiore, in base ai valori assunti dai parametri considerati. Presentano molte similitudini e concettualmente sono ineccepibili, ma il loro limite consiste nell'utilizzare valori dei parametri ricavati da un campione di aziende consociate, non validati all'esterno delle stesse associazioni. Peraltra detti parametri sono valutati distinguendo solo il servizio urbano da quello extraurbano senza tener conto di altre caratteristiche dell'offerta, quali l'estensione delle linee e la frequenza delle corse, che influenzano sensibilmente il costo unitario.

Il modello proposto dalla Regione Friuli-Venezia Giulia [16], invece, mira a fornire una conferma della congruità del corrispettivo attuale che, in questo contesto territoria-

of the total service (C_{staff}/C). In order to obtain a minimum and a maximum cost, all the parameters used are assumed to have two extreme average values, taken from a sample of transport companies associated with ANAV, distinguished on the basis of the type of service produced, whether urban or extra-urban. The procedure is based on the estimate of the cost per km of the drivers, from which, given the ratios (C_{driv}/C_{staff}) and (C_{staff}/C) defined above, the total cost per km is derived; to the latter must be added company profit and IRAP (Italian Regional tax on productive activities). The cost per km of the drivers is obtained by dividing the annual cost of each unit by the average mileage travelled by each one. The latter is derived from the product of the average annual working days of each driver, for the average daily driving hours performed by each one and the average commercial speed of the service. The parameter that has the greatest weight and is closely linked to the characteristics of the SOP is therefore the efficiency of the drivers, expressed by the number of daily driving hours. For this parameter, the authors provide average values measured on the sample selected by ANAV Model.

Another methodology of application interest is defined by the ASSTRA (Italian Transport Association) model [13], which provides a cost splitting between the various business processes and evaluates the efficiency, not only of the individual production factor, but of the entire process area. Therefore, four main areas are identified with their corresponding cost items shown in Tab. 4.

As in the ANAV model, the final unit cost is increased by the return on capital (business profit) and IRAP. The operating procedure is the same as in the ANAV model, the difference being that slightly different values are given for the parameters derived from the sample of affiliated companies, which are compared in Tab. 5.

It should be noted that, although the ANAV and ASSTRA models were developed around ten years ago, they represent a reference in the standard cost estimation methodology. In particular, the former distinguishing itself by a macro-analytical approach that relates the cost of the service to productivity parameters, while the latter by a micro-analytical approach that analyses all the cost items of the production process of a transport company, which allows the evolution of each individual factor of production to be assessed. A common feature is the evaluation of two scenarios, the best and the worst, based on the values assumed by the parameters considered. They have many similarities and are conceptually unimpeachable, but their limitation is that they use parameter values taken from a sample of member companies, not validated outside the associations themselves. Moreover, these parameters are evaluated by distinguishing only between urban and extra-urban services without taking into account other characteristics of the offer, such as the extension of the lines and the frequency of rides, which significantly influence the unit cost.

The model proposed by the Friuli-Venezia Giulia (F.V.G.) Region (Italy) [16], on the other hand, aims to

POLITICA E ECONOMIA

Tabella 4 – Table 4

Aree e voci di costo nel modello ASSTRA [13]
Areas and cost items in the ASSTRA model [13]

Area di costo <i>Cost area</i>	Voce di costo <i>Cost Item</i>
Esercizio <i>Operation</i>	Personale di guida, personale di movimento, personale di deposito, carburante, lubrificante, pneumatici, ammortamento dell'autobus e delle rimesse, Information and technology, costi fissi connessi gli autobus, altri costi. <i>Driving staff, movement staff, depot staff, fuel, lubricant, tyres, depreciation of bus and depots, information and technology, bus-related fixed costs, other costs.</i>
Manutenzione <i>Maintenance</i>	Personale di manutenzione, altri costi di manutenzione. <i>Maintenance staff, other maintenance costs.</i>
Marketing, comunicazione e qualità <i>Marketing, communication and quality</i>	Costo del personale commerciale. Altri costi marketing e comunicazione. <i>Cost of commercial staff.</i> <i>Other marketing and communication costs.</i>
Amministrativa <i>Administrative</i>	Costo del personale amministrativo. Altri costi (consumi, godimento beni di terzi, oneri diversi di gestione, altri ammortamenti). <i>Cost of administrative staff.</i> <i>Other costs (consumption, leases and rentals, miscellaneous operating expenses, other depreciation).</i>

Tabella 5 – Table 5

Raffronto fra i valori dei parametri utilizzati nei modelli ANAV [12], ASSTRA [13] e F.V.G [16]
Comparison of parameter values used in ANAV [12], ASSTRA [13] and F.V.G [16] models

Parametro <i>Parameters</i>	Modello ANAV <i>ANAV model</i>				Modello ASSTRA <i>ASSTRA model</i>				Modello F.V.G <i>F.V.G. Model</i>	
	Scenario peggiore <i>Worst case</i>		Scenario migliore <i>Best case</i>		Scenario peggiore <i>Worst case</i>		Scenario migliore <i>Best case</i>			
	Urbano <i>Urban</i>	Extraurb. <i>Extraurban</i>	Urbano <i>Urban</i>	Extraurb. <i>Extraurban</i>	Urbano <i>Urban</i>	Extraurb. <i>Extraurb.</i>	Urbano <i>Urban</i>	Extraurb. <i>Extraurban</i>		
Giornate lavorative annue <i>Annual working days</i>	255	255	255	255	250	250	250	250	255	255
Velocità commerciale minima (km/h) <i>Minimum commercial speed (km/h)</i>	17	30	17	30	15	28	16,5	30	17,27	39,05
Ore di guida al giorno <i>Driving hours per day</i>	5,5	4,5	5,75	4,75	5,25	4,50	5,25	4,50	5,50	4,50
Costo annuo di un conducente (Euro) <i>Annual cost of a driver (Euro)</i>	42.000	42.000	42.000	42.000	40.552	40.552	40.552	40.552	43.470	43.470
Costo conducenti/costo lavoro totale (C_{cond}/C_{pers}) Driver cost/total labour cost (C_{driv}/C_{staff})	75%	75%	80%	80%	73%	66%	76%	76%	77%	77%
Costo del lavoro sul costo totale (C_{pers}/C) <i>Labour cost on total cost (C_{staff}/C)</i>	50%	50%	52%	52%	60,6%	52,1%	54,8%	43,6%	52%	52%
IRAP da coprire <i>Local taxes</i>	0,09	0,06	0,08	0,06	0,11	0,08	0,10	0,06	-	-

le, fa registrare un soddisfacente utile d'impresa, nonché a provvedere un riferimento per la valutazione degli attuali livelli di efficienza aziendale. La procedura operativa è quella introdotta da ANAV, con input contestualizzati al territorio regionale (cfr. Tab. 5). La stima del corrispettivo standard, condotta utilizzando il modello in questione ha fornito risultati di approssimazione accettabile alla scala di Piano. In particolare, il corrispettivo standard stimato con lo strumento in questione è maggiore di quello che si sarebbe ottenuto applicando rigorosamente il metodo ANAV dal momento che, nella procedura di calcolo, non sono stati considerati i ricavi standard (pari al 35% dei costi) bensì quelli effettivi, che sono sensibilmente inferiori. Per gestire la grande quantità di dati ed effettuare accurate valutazioni economiche, gli autori hanno usufruito di un "simulatore tecnico-economico" che ricostruisce i conti economici aziendali sulla base dei parametri di tipo tecnico, economico e produttivo, permettendo di sviluppare analisi comparative su indicatori omogenei e simulazioni d'impatto di variazioni di efficienza e produttività.

FILIPPINI *et al.* (2001) [9] hanno messo in relazione il costo con alcuni fattori come il lavoro, il capitale e il carburante a cui si aggiungono due variabili fittizie che descrivono la densità delle fermate e l'orografia del territorio. È da evidenziare tuttavia che le variabili considerate, pur rappresentative di alcune caratteristiche del PdE, non risentono in alcun modo dei tempi trascorsi dai conducenti ai capolinea durante il turno di servizio in attesa dell'orario della corsa di ritorno e quindi non sono rappresentative dell'influenza di questo importante aspetto del PdE sulle percorrenze annue prodotte dal personale di guida. I risultati che si ottengono consistono in costi unitari di produzione, in funzione dei valori assunti dalle due variabili dummy e della produzione in bus/km, utilizzabili per aziende che operano nel settore del TPL su gomma come un "parametro di valutazione" al fine di limitare le distorsioni tra i costi definiti dal regolatore e quelli sostenuti dal soggetto regolato, così come specificato dagli autori.

FRAQUELLI *et al.* (2004) [10] invece, hanno proposto una funzione di costo comprendente variabili che riguardano gli oneri del lavoro, del carburante e dei materiali e servizi oltre che due variabili discontinue specifiche del servizio per le aziende extra-urbane e miste, proprio perché si voleva verificare la presenza di eventuali economie di scopo derivanti da una produzione mista che unisce urbano e extraurbano. Il modello in questione contempla anche la velocità commerciale media per portare in conto le differenti condizioni di traffico e quelle geografiche dell'area in cui il servizio viene offerto nonché un fattore che descrive l'errore stocastico complessivo. Il numero dei conducenti, sebbene non compaia esplicitamente nel modello proposto, influenza la variabile rappresentativa del costo di lavoro. Dall'analisi risulta la possibilità di ottenere economie di scala attraverso la realizzazione di fusioni tra aziende di TPL operanti su una rete integrata urbana ed extraurbana.

DI GANGI (2013) [14], invece, ha proposto una metodologia leggermente differente che consiste, nel definire, attra-

provide a confirmation of the congruity of the current economic compensation (which, in this territorial context, allows a satisfactory business profit), as well as to cater a reference for the evaluation of current levels of business efficiency. The operating procedure is the one introduced by ANAV, with inputs contextualised to the regional territory (see Tab. 5). The estimate of the standard economic compensation, conducted using the model in question, provided results of acceptable approximation at the plan scale. In particular, the standard economic compensation estimated with the tool in question is greater than that obtained by rigorously applying the ANAV method since, in the calculation procedure, the standard revenues (equal to 35% of the costs) were not considered, but rather the actual revenues, which are significantly lower. In order to manage the large quantity of data and to carry out accurate economic evaluations, the authors made use of a 'technical-economic simulator' that reconstructs the company's profit and loss accounts on the basis of technical, economic and production parameters, allowing comparative analyses to be developed on homogeneous indicators and simulations of the impact of changes in efficiency and productivity.

FILIPPINI et al. (2001) [9] related cost to certain factors such as labour, capital and fuel to which they added two dummy variables describing the density of stops and the orography of the territory. It should be pointed out, however, that the variables considered, although representative of certain characteristics of the SOP, are in no way affected by the time spent by drivers at the terminus, during their work-shift, waiting for the time of the return journey and are therefore not representative of the influence of this important aspect of the SOP on the annual mileage produced by drivers. The results obtained consist of unit production costs, as a function of the values assumed by the two dummy variables and the production in bus/km, which can be used for companies operating in the road LPT sector as an evaluation parameter in order to limit the distortions between the costs defined by the regulator and those sustained by the regulated subject, as specified by the authors.

FRAQUELLI et al. (2004) [10], on the other hand, proposed a cost function comprising variables concerning labour, fuel and material and service charges as well as two service-specific discontinuous variables for extra-urban and mixed companies, precisely because they wanted to verify the presence of possible economies of scope deriving from a mixed production combining urban and extra-urban transit. The model in question also includes the average commercial speed to take into account the different traffic and geographical conditions of the area in which the service is supplied as well as a factor describing the overall stochastic error. The number of drivers, although it does not explicitly appear in the proposed model, influences the variable representing labour costs. The analysis shows the possibility of obtaining economies of scale through mergers between LPT companies

verso un'analisi quantitativa, le risorse utili a fornire un determinato servizio di trasporto una volta nota la domanda esistente e la struttura tariffaria adottata. In particolare, il modello, si compone delle seguenti fasi:

- individuazione delle attività svolte per l'erogazione del servizio sulla linea;
- determinazione della tipologia di risorse impiegate per lo sviluppo delle singole attività;
- determinazione del costo di acquisizione di tali risorse;
- determinazione delle quantità di risorse impiegate sulla linea;
- calcolo dei costi diretti di linea per attività.

Dal punto di vista analitico, la formulazione che consente di determinare il costo dipende da tre vettori degli attributi che descrivono, il primo il servizio prodotto, la dimensione complessiva del programma e gli aspetti tecnologici, il secondo gli aspetti temporali connessi al servizio prodotto, il terzo la componente rigida del costo e la componente additiva che varia con la quantità di servizio prodotto. A questo punto, il costo operativo totale viene determinato attraverso la somma del costo di trazione, di manutenzione, del personale, degli impianti e veicoli e delle spese generali. Il costo unitario dei conducenti è stato determinato sulla base della velocità commerciale media del servizio e delle ore di guida medie giornaliere rese da ogni conducente, desunto da valori medi relativi ad un determinato campione di aziende. Questo modello propone una metodologia per la stima e la valutazione di costi, dove ogni PdE può essere descritto attraverso diversi parametri come la struttura delle linee, la localizzazione delle fermate, le frequenze, i tempi di percorrenza tra fermate adiacenti, gli orari, la capacità dei veicoli, ecc. Si definisce così uno strumento utile che consente, alle autorità, di determinare preventivamente l'ordine di grandezza delle risorse da erogare per consentire l'espletamento dei servizi programmati in maniera ottimale.

La metodologia proposta da CIRIANNI *et al.* (2012) [11] provvede alla determinazione del fabbisogno di conducenti in servizio di trasporto pubblico locale ricavandolo dalla percorrenza media annua prodotta da ciascuno. Quest'ultimo valore viene stimato da un campione di aziende su una produzione di 24.000 km/driver.

Il modello proposto dalla Regione Veneto [15] determina il costo standard come sommatoria di diciotto voci i cui valori di riferimento sono stati ottenuti dalle elaborazioni statistiche sia dei dati direttamente raccolti sia delle loro successive trasposizioni. In particolare, la procedura adottata determina una serie di costi kilometrici specifici per ciascuna categoria omogenea di servizio. All'interno della stessa categoria, tuttavia i servizi differiscono per la percorrenza prodotta, per la dimensione dell'azienda esercente, per l'ambito specifico di svolgimento, per politiche industriali e per l'entità degli investimenti. Nella fattispecie, il processo di costruzione del costo standard a km ha previsto cinque diverse tipologie di servizio, di cui quattro

operating on an integrated urban and extra-urban network.

Di GANGI (2013) [14], on the other hand, proposed a slightly different methodology that consists in defining, through a quantitative analysis, the resources useful for providing a given transport service once the existing demand and the fare structure are known. In particular, the model consists of the following steps aimed to quantify:

- *the activities carried out to provide the service on the line;*
- *the type of resources used for the development of individual activities;*
- *the acquisition cost of these resources;*
- *the resources deployed on the line;*
- *direct line costs by activity.*

From an analytical point of view, the formulation to determine the cost depends on three attribute vectors describing, the first the service produced, the overall size of the service and the technological aspects, the second the time aspects related to the service produced, the third the rigid cost component and the additive component that varies with the amount of service produced. At this point, the total operating cost is determined through the sum of the cost of traction, maintenance, staff, plant and vehicles, and overheads. The unit cost of the drivers was determined on the basis of the average commercial speed of the service and the average daily driving hours rendered by each driver deduced from average values for a given sample of companies. This model proposes a methodology for estimating and evaluating costs, where each SOP can be described through various parameters such as line structure, location of stops, frequencies, travel times between adjacent stops, timetables, vehicle capacity, etc. This defines a useful tool that allows the authorities to determine in advance the economic resources to be provided to enable the planned services to be carried out in an optimal manner.

*The methodology proposed by CIRIANNI *et al.* (2012) [11] provides for the estimation of the drivers needed in local public transport services by deriving it from the average annual mileage produced by each one. The latter value is estimated from a sample of companies on a production of 24,000 km/driver.*

The model proposed by the Veneto Region (Italy) [15] determines the standard cost as the summation of eighteen items whose reference values were obtained from statistical processing of both directly collected data and their subsequent transpositions. In particular, the procedure adopted quantifies a series of specific kilometric costs for each homogeneous category of service. Within the same category, however, the services differ in terms of the mileage travelled, the size of the operating company, the specific area in which the services are carried out, industrial policies and the extent of investments. In this case, the process of constructing the standard cost per km

sono definite secondo le condizioni di esercizio (condizioni ambientali) e la quinta categoria si contraddistingue per la tecnologia impiegata (metrotram). Le categorie di servizio riguardano:

- urbano in comuni con una popolazione inferiore a 150.000 abitanti;
- urbano in comuni con una popolazione maggiore o uguale a 150.000 abitanti;
- extra-urbano su percorsi pianeggianti o collinari (con quote fino a 600 m s.l.m.);
- extra-urbano, su percorsi montani (con quote superiori a 600 m s.l.m.);
- urbano, con mezzi a guida vincolata (metrotram).

Nel complesso è emerso che circa la metà dei modelli proposti si avvale della velocità commerciale come input principale, a differenza del modello di PETRUCCHELLI e RACINA (2019) [4] (sopra descritto) e di quello di DELLA LUCIA *et al.* (2018) [3] che calcola il costo totale della produzione solo in funzione del tempo di servizio e di altri coefficienti. Quest'ultimo presenta il vantaggio della rapidità in quanto pone il costo standard in funzione del solo tempo di servizio. Il modello si basa sulle seguenti ipotesi:

- la presenza di costi variabili (quali i costi di trazione e del personale di guida) connessi solo al tempo di servizio;
- la variabilità dei costi fissi (quali quelli legati al personale di struttura, alla logistica ed alle caratteristiche geografiche in cui il servizio è prodotto), in relazione alla dimensione della produzione;
- la presenza di economie di scala variabili in modo non lineare.

Gli autori hanno costruito una formula esponenziale per determinare il costo totale della produzione, nella quale la variabile è il tempo di servizio riferito ad un'offerta base al fine di neutralizzare gli effetti delle produzioni ridotte per le quali si riscontra una forte dispersione dei valori di costo. Nella formula sono inoltre presenti due parametri: il primo rappresentato dal costo da sostenere per erogare un servizio di tipo extraurbano considerato quale servizio base ed il secondo da un coefficiente adimensionale che descrive l'effetto delle caratteristiche strutturali specifiche del servizio indipendenti dalla velocità commerciale nonché della diffusione sul territorio e del policentrismo organizzativo. Quest'ultimo è determinato dal prodotto di tre parametri, di cui uno rappresenta i fattori di costo relativi agli ammortamenti, ai costi di trazione ed ai costi di manutenzione connessi alle tipologie di autobus e di motorizzazione ed al loro utilizzo nei diversi servizi; un altro descrive i fattori di costo indipendenti dalla velocità commerciale, legati agli assetti logistici ed alle scorte tecniche del parco mezzi e l'ultimo considera il peso dei costi fissi di struttura.

Nel 2018, AVENALI *et al.* [17] hanno proposto un modello ibrido che dunque sfrutta i benefici dell'approccio statistico e di quello ingegneristico (cfr. paragrafo 3). Il modello si

provided for five different types of service, four of which are defined according to operating conditions (environmental conditions) and the fifth category is distinguished by the technology used (metrotram). The service categories concern:

- *urban in municipalities with a population of less than 150,000 inhabitants;*
- *urban in municipalities with a population of 150,000 or more;*
- *extra-urban on flat or hilly routes (up to 600 m above sea level);*
- *extra-urban, on mountain routes (at altitudes above 600 m above sea level);*
- *urban, with captive guided vehicles (metrotram).*

*Overall, we turned out that about half of the proposed models use commercial speed as the main input, in contrast to the model of PETRUCCHELLI and RACINA (2019) [4] (described above) and that of DELLA LUCIA *et al.* (2018) [3]. The latter, which calculates the total cost of production only as a function of the service time and other coefficients, has the advantage of speed use as it places the standard cost as a function of service time only. This model is based on the following assumptions:*

- *the presence of variable costs (such as traction and driving personnel costs) related only to service time;*
- *the variability of fixed costs (such as those related to structural staff, logistics and the geography in which the service is produced), in relation to the size of production;*
- *the presence of non-linearly varying economies of scale.*

The authors have constructed an exponential formula to determine the total cost of production, in which the variable is the service time referred to a basic service in order to neutralise the effects of reduced productions for which there is a strong dispersion of cost values. There are also two parameters in the formula: the first, that is the cost to be supported to provide an extra-urban service considered as a basic service, and the second, by an adimensional coefficient describing the effect of the specific structural characteristics of the service independent of the commercial speed, as well as of the supply spread over the territory and of organisational polycentrism. The latter is the product of three other parameters, one of which represents the cost factors relating to depreciation, traction and maintenance costs associated with the types of buses and their use in the various services; another describes the cost factors independent of commercial speed, linked to the logistical set-up and technical stocks of the fleet and the last considers the weight of fixed structural costs.

*In 2018, AVENALI *et al.* [17] proposed a hybrid model that thus exploits the benefits of both statistical and engineering approaches (see section 3). The model makes*

avvale dell'approccio *bottom-up*, per la stima dell'onere del personale di guida e del parco rotabile mentre ricorre all'approccio *top-down* per la stima delle restanti voci. In particolare, il costo del personale di guida dipende dalle ore di guida medie annue prodotte dai conducenti dedotte da un campione di aziende. Il costo del capitale è basato sul tasso minimo di rendimento dell'investimento netto ed è funzione dell'età media dei veicoli. Gli autori rilevano l'esistenza di un legame non lineare tra gli "altri costi" (cioè quella parte del costo totale che viene determinata attraverso l'approccio di tipo "*Top-Down*") e la velocità commerciale nonché la presenza di deboli economie di scala. In particolare, le economie di riducono al crescere della dimensione del servizio fino a trasformarsi in diseconomie quando viene superata la soglia dei 6 milioni di autobus/km. Gli autori sostengono che, al fine di migliorare l'efficienza aziendale, le diseconomie di scala non debbano essere considerate nel calcolo del costo standard unitario perché così le regioni caratterizzate da un servizio di trasporto esteso, sarebbero incentivate a perseguire l'efficienza riducendo la dimensione media dei lotti da appaltare. Pertanto, la relazione analitica che consente il calcolo degli altri costi deve tenere conto solo delle economie di scala fino alla soglia dei 6 milioni di bus-km.

2.3. Categoria 3

Infine si richiamano i principali modelli che non prendono in considerazione le caratteristiche del PdE. In ordine cronologico, il primo è quello di DALEN e GOMEZ LOBO (2002) [18] che si avvale di un approccio diverso dagli altri e cioè, anziché studiare i costi di produzione analizza l'efficienza economica di alcune imprese di trasporto nel tempo, attraverso un parametro appositamente definito. La relazione costruita dipende anche da parametri relativi all'azienda ed alle caratteristiche della rete stradale nonché da una variabile dummy indicativa del tipo di contratto e da un termine rappresentativo dell'errore stocastico. Lo studio intendeva rilevare in che modo le performance di un'azienda vengono influenzate dalla diversa tipologia di contratto. Dall'analisi dei risultati, in contraddizione con alcuni studi riportati in letteratura ma coerentemente con il fenomeno empirico osservato relativo alle aziende norvegesi, è emersa l'assenza di una relazione tra l'efficienza economica aziendale e il passaggio ad un contratto incentivante.

Nel 2006, CUBUKCU [19] ha proposto un modello il cui scopo è quello di verificare se le caratteristiche fisiche e geografiche di un contesto territoriale siano in grado di influenzare il costo del trasporto su autobus. I risultati dimostrano che il costo totale diminuisce con l'aumentare della densità di popolazione nell'area servita, della lunghezza media del tronco stradale compreso tra due intersezioni successive e della percentuale di percorso pianeggiante. Sono inoltre individuate, nei vari casi, le soglie di produzione oltre le quali il costo unitario dell'offerta aumenta.

ABRATE *et al.* (2014) [20], invece, hanno definito una formula per determinare il costo di produzione nel lungo periodo, distinguendo il quantitativo di servizio prodotto e

use of the bottom-up approach for the estimation of the burden of driving staff and rolling stock while it makes use of the top-down approach for the estimation of the remaining items. In particular, the cost of driving staff depends on the average driving hours per year produced by drivers deducted from a sample of companies. The capital cost is based on the minimum rate of return on net investment and is a function of the average age of vehicles. The authors note the existence of a non-linear link between "other costs" (i.e. that part of the total cost that is determined through the top-down approach) and commercial speed as well as the presence of weak economies of scale. In particular, economies of scale decrease as the size of the service increases and turn into diseconomies when the threshold of 6 million of bus-kms is exceeded. The authors argue that, in order to improve efficiency, diseconomies of scale should not be taken into account in the calculation of the standard unit cost because then regions with a large transport service would have an incentive to pursue efficiency by reducing the average size of the lots to be tendered. Therefore, the analytical relation allowing the calculation of the other costs must only take into account economies of scale up to the threshold of 6 million of bus-km.

2.3. Category 3

Finally, the main models that do not take the characteristics of SOP into account are recalled. In chronological order, the first is that of DALEN and GOMEZ Lobo (2002) [18] which uses an approach different from the others, i.e. instead of studying production costs, it analyses the economic efficiency of certain transport companies over time by means of a specially defined parameter. The relationship constructed also depends on parameters relating to the company and the characteristics of the road network as well as a dummy variable indicative of the type of contract and a term representing the stochastic error. The aim of the study was to find out how the performance of a company is influenced by the different contract type. The analysis of the results, in contradiction to some studies reported in the literature but consistent with the observed empirical phenomenon concerning Norwegian companies, revealed the absence of a relationship between company economic efficiency and switching to an incentive contract.

In 2006, CUBUKCU [19] proposed a model whose purpose is to test whether the physical and geographical characteristics of a spatial context are able to influence the cost of bus transit. The results show that the total cost decreases with increasing population density in the area served, the average length of the road section between two successive intersections and the percentage of flat route. The thresholds above which the unit cost increases are also identified in the various cases.

ABRATE et al. (2014) [20], on the other hand, have defined a formula to determine the cost of production in the

l'ambito operativo (urbano, extraurbano e a noleggio), in funzione del costo dei fattori produttivi e in particolare, del lavoro in ciascun settore, del capitale e del carburante. Lo scopo del lavoro è quello di ricercare eventuali economie derivanti da fusioni tra aziende o integrazioni tra servizi di tipo diverso, cioè urbano, extraurbano e a noleggio. Dette economie sono state rilevate solo nel caso di accorpamento fra aziende multiservizio con un livello di produzione relativamente basso. Inoltre, è emerso che i servizi extraurbani sono quelli che più facilmente possono essere combinati con i servizi urbani e con quelli noleggio ma se l'azienda è caratterizzata da piccole dimensioni e opera in un'area limitata, per aumentare la propria efficienza, dovrebbe per seguire economie di scopo oltre che di scala e, in particolare, puntare sull'integrazione dei servizi extra-urbani con quelli urbani piuttosto che con quelli a noleggio. Dunque, si evidenzia come le aziende integrate di piccole dimensioni, che operano nello stesso ambiente presentano economie di scala e di scopo, viceversa le aziende integrate di grandi dimensioni presentano evidenti diseconomie di scala.

Nel 2014, AVENALI *et al.* [5] hanno sviluppato un modello in grado di determinare il costo unitario kilometrico di un servizio di trasporto pubblico locale su gomma in funzione della velocità commerciale, della quantità di servizio prodotta e del livello di ammodernamento del parco rotabile nonché di alcune variabili *dummy*, utili a modellare a tratti l'andamento lineare del costo al variare della velocità commerciale e della dimensione del servizio. I risultati hanno dimostrato come, all'aumentare della velocità commerciale, il costo standard per km diminuisce a tassi marginali decrescenti. Rispetto alla dimensione del servizio, invece, la funzione di costo presenta inizialmente un andamento decrescente per poi crescere, dunque, si rileva la presenza di economie di scala fino a un valore soglia, che gli autori, indicano pari a 4 milioni di bus.km/anno, oltre il quale, al contrario si evidenziano diseconomie. Il modello proposto, individuando un legame funzionale tra costo unitario e variabili in parte non controllabili dagli operatori, quali la velocità commerciale e i km offerti, incentiva le regioni e gli enti locali sia a migliorare le condizioni di contesto in cui vengono offerti i servizi di trasporto pubblico locale su autobus, sia a individuare la dimensione ottimale dei bacini fornendo così importanti indicazioni di policy.

Con riferimento allo stesso data-base e alle medesime variabili, nel 2016, gli stessi autori hanno ottimizzato il modello e, attraverso un'analisi statistica e coerentemente ad alcune osservazioni dedotte da interviste somministrate a dirigenti aziendali, hanno formulato delle relazioni analitiche relativamente a tre tipologie di modelli [21]. I risultati evidenziano, come l'incidenza della velocità commerciale sul costo unitario diminuisce all'aumentare della stessa, e che le economie di scala risultano deboli e tendono a diventare diseconomie quando la dimensione del servizio raggiunge una soglia di 4 milioni di bus.km all'anno.

Una particolare attenzione, in quanto riveste in Italia il ruolo di norma, merita il modello di costo standard per i servizi su autolinea introdotti dal D.M. 157/2018 del Mini-

long run, distinguishing the quantity of service produced and the operational context (urban, extra-urban and chartering), according to the cost of production factors and in particular, labour in each sector, capital and fuel. The purpose of the work is to search for possible economies resulting from mergers between companies or integrations between services of different types, i.e. urban, extra-urban and chartering. Such economies were found only in the case of mergers between multi-service companies with a relatively low level of production. In addition, it emerged that extra-urban services are those that can most easily be combined with urban services and chartering services, but if the company is characterised by small size and operates in a small area, in order to increase its efficiency, it should pursue economies of purpose as well as economies of scale and, in particular, focus more on the integration of extra-urban services with urban ones than with chartering ones. Thus, small integrated companies operating in the same territorial context show economies of scale and scope, while large integrated companies show clear diseconomies of scale.

In 2014, AVENALI et al. [5] developed a model able to estimate the unit cost per km of a road LPT service as a function of commercial speed, the amount of service produced and the level of modernisation of the rolling stock, as well as some dummy variables, useful for modelling the linear trend of the cost as commercial speed and the size of the service change. The results showed how, as commercial speed increases, the standard cost per km decreases at decreasing marginal rates. With respect to the size of the service, on the other hand, the cost function initially presents a decreasing trend and then grows, therefore, the presence of economies of scale is detected up to a threshold value, which the authors indicate is equal to 4 million bus.km/year, beyond which, on the contrary, diseconomies are revealed. The proposed model, by identifying a functional link between unit cost and variables that are in part uncontrollable by operators, such as commercial speed and km supplied, provides an incentive for regions and local authorities both to improve the contextual conditions in which local public transit services are supplied and to identify the optimal size of the basins, thus providing important policy indications.

With reference to the same data base and the same variables, in 2016, the same authors optimised the model and, by means of a statistical analysis and consistent with certain observations deduced from interviews administered to company executives, they formulated analytical reports for three types of models [21]. The results show, how the incidence of commercial speed on the unit cost decreases as it increases, and that economies of scale are weak and tend to become diseconomies when the size of the service reaches a threshold of 4 million bus.km per year.

Special attention, as it plays the role of a standard in Italy, deserves the standard cost model for bus-line services introduced by Ministerial Decree 157/2018 of the

sterio delle Infrastrutture e dei Trasporti [22]. Lo strumento, che è costruito per regressione sulla base dei dati raccolti dall'Osservatorio Nazionale per le politiche del Trasporto Pubblico Locale, fa dipendere il costo da tre variabili, che sono la velocità commerciale, la quantità di servizio prodotta e l'ammodernamento materiale rotabile per unità di servizio. Per una migliore comprensione dell'andamento dei valori calcolati attraverso questo modello è molto utile riferirsi ai risultati di una recente analisi condotta da [23]. Qui si evidenzia che il costo determinato secondo il DM in questione diminuisce linearmente all'aumentare della velocità commerciale con tre inclinazioni differenti delle rette rappresentative, in base all'intervallo di velocità considerato e al variare della quantità di servizio prodotta. Nello specifico, si verifica che, nell'intervallo compreso fra 12 e 17 km/h, il costo standard mostra la massima sensibilità alla velocità commerciale realizzando riduzioni del primo dell'ordine del 15% in conseguenza di un aumento della seconda pressappoco della stessa entità. Di conseguenza, soprattutto in ambito urbano, aumentare la velocità di marcia degli autobus attraverso la riduzione della congestione del traffico stradale consente di raggiungere notevoli economie nei costi di esercizio oltre che notevoli vantaggi dal punto di vista ambientale in conseguenza di un regolare deflusso veicolare. Per velocità maggiori di 17 km/h, l'andamento del costo riduce sensibilmente la propria pendenza e ulteriormente oltre i 32 km/h (cfr. Fig. 2a). L'aspetto principale riguarda, coerentemente con AVENALI *et al.* 2014 [5], l'andamento con forma ad "U" della curva del costo unitario al variare della quantità prodotta, che raggiunge il minimo in corrispondenza di 4 milioni di bus.km e resta costante per valori di percorrenza maggiori di 10 milioni di bus.km (cfr. Fig. 2b). Ne consegue la constatazione che se un'amministrazione appaltante divide i servizi in lotti da 4 milioni di bus.km cadauno, otterrà un costo a base d'asta minimo, se invece accorda i servizi in lotti di dimensione uguale o maggiore di 10 milioni di bus.km sarà costretta ad associare ad essi un maggior costo a base d'asta compreso fra il 14% ed il 70% a seconda della velocità commerciale. Pertanto, qualche perplessità, in termini di affidabilità, suscita l'andamento dei costi al variare della quantità, seppur questo risulti coerente con quanto rilevato da alcuni studi [20][24]. Comunque è evidente che le tre variabili su cui la funzione di costo è costruita non consentono di portare in conto le specificità del PdE messo in atto che invece è in grado di influire sensibilmente sul numero di conducenti necessario e sulla percorrenza da questi sviluppata. Ciò rappresenta un limite importante all'affidabilità della stima effettuata con il modello del D.M. 157/2018.

3. Metodologia e forma analitica del modello

I modelli di costo possono anche distinguersi, sulla base del tipo di approccio, nelle tre tipologie di seguito descritte [2]:

- *Top-down* o statistico: definisce il costo sulla base di legami funzionali e di analisi statistiche desunte dai dati

*Italian Ministry of Infrastructure and Transport [22]. The tool, which is constructed by regression on the data collected by the National Observatory for Local Public Transport Policies, makes the cost depend on three variables, which are commercial speed, quantity of service produced and rolling stock modernisation per service unit. For a better understanding of the trend of the values calculated through this model, it is very useful to refer to the results of a recent analysis conducted by [23]. Here it is shown that the cost calculated according to the DM in question decreases linearly as the commercial speed increases with three different inclinations of the representative straight lines, according to the speed range considered and as the quantity of service produced varies. Specifically, it is verified that, in the interval between 12 and 17 km/h, the standard cost shows the greatest sensitivity to commercial speed by realising reductions in the former of the order of 15% as a consequence of an increase in the latter of approximately the same magnitude. Consequently, especially in urban areas, increasing bus speeds by reducing road congestion achieves considerable savings in operating costs as well as considerable environmental benefits as a result of smooth vehicle flow. For speeds above 17 km/h, the cost trend drops significantly and further above 32 km/h (see Fig. 2a). The main aspect concerns, consistently with AVENALI *et al.* 2014 [5], the U-shaped trend of the unit cost curve as the quantity produced varies, which reaches a minimum at 4 million bus.km and remains constant for travel values greater than 10 million bus.km (see Fig. 2b). It follows that, if a contracting authority divides the services into lots of 4 million bus.km each, it will obtain a minimum basic tender cost; if, on the other hand, it merges the services into lots of size equal to or greater than 10 million bus.km, it will be forced to associate with them a higher basic tender cost of between 14% and 70% depending on the commercial speed. Therefore, some perplexity, in terms of reliability, arises from the trend in costs as the quantity varies, although this is consistent with the findings of some studies [20][24]. However, it is evident that the three variables on which the cost function is constructed do not take into account the specificities of the SOP implemented, which on the other hand is capable of significantly influencing the number of drivers required and the mileage travelled by them. This represents a major limitation to the reliability of the estimate made with the model of Ministerial Decree 157/2018.*

3. Methodology and analytical form of the model

Cost models can also be distinguished, based on the type of approach, into the three types described below [2].

- *Top-down or statistical: it defines the cost on the basis of functional links and statistical analyses deduced from accounting and operational data provided by transport companies operating in the territory; it follows that, if the efficiency of the companies in the*

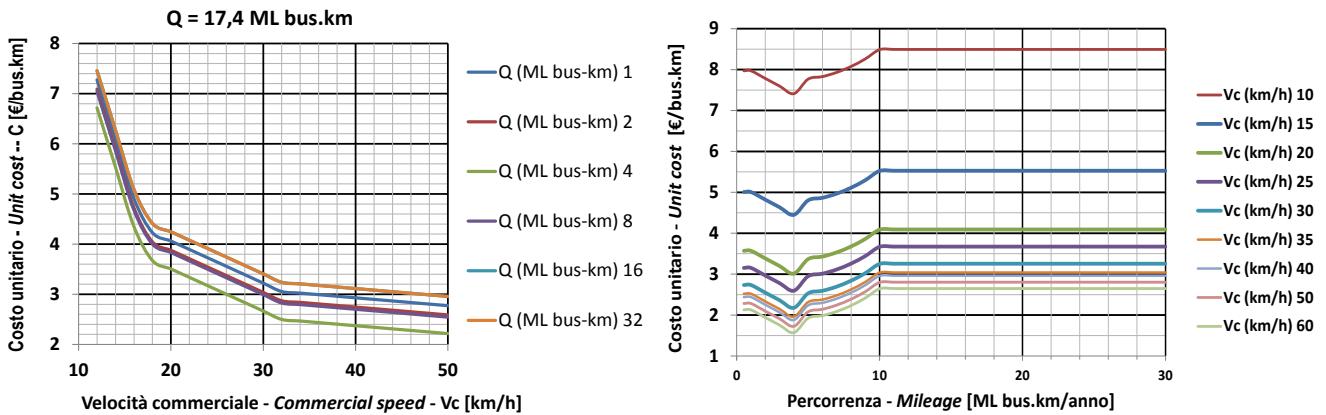


Figure 2a e 2b - Andamento del costo standard per il TPL su gomma, secondo il modello proposto dal D.M. 157/2018 al variare della velocità commerciale e delle percorrenze complessive del servizio.

Figures 2a and 2b - Trend of the standard cost for road local public transport, according to the model proposed by Ministerial Decree 157/2018 with variations in commercial speed and overall service mileage.

contabili e operativi forniti da aziende di trasporto operanti sul territorio; ne consegue che, se l'efficienza delle aziende del campione non è accertata, le stime possono essere influenzate dalla specificità delle aziende; naturalmente se non si dispone dei dati aziendali il modello non è utilizzabile.

- **Bottom-up** o Ingegneristico: definisce il costo in maniera analitica a partire dagli standard produttivi e tecnologici e necessita di accurate analisi dei costi sostenuti nelle specifiche aree aziendali; pertanto l'applicazione di tali modelli, presuppone una padronanza dei processi produttivi, dei singoli fattori e dei rispettivi costi e presenta il rischio di determinare un valore di costo "ideale" cioè slegato dalle effettive condizioni operative del contesto produttivo.
- **Ibrido**: presenta caratteristiche intermedie tra le due metodologie appena richiamate e quindi può, se correttamente impostato, ridurre le criticità connesse a ciascuna di queste.

Circa il 70% degli autori della casistica esaminata ha privilegiato nella costruzione dei modelli l'approccio di tipo statistico che supera la necessità di conoscere in modo chiaro e dettagliato i processi produttivi ma comporta una stima sensibilmente influenzata dalla rappresentatività dei dati del campione selezionato e ovviamente non fornisce indicazioni sui legami funzionali tra il costo e le variabili del modello. Alla categoria top-down appartengono i modelli proposti da FILIPPINI *et al.* (2001), DALEN e GOMEZ LOBO (2002), FRAQUELLI *et al.* (2004), CUBUKCU (2006), ANAV (2013), ABRATE *et al.* (2014), AVENALI *et al.* (2014, 2016), PETRUCCHELLI e CARLEO (2017), DELLA LUCIA *et al.* (2018), il D.M. n.157 (2018) e PETRUCCHELLI e RACINA (2019). La Regione Friuli-Venezia Giulia (2013), invece, ha adottato un approccio di tipo "semplificato", che può considerarsi comunque appartenente alla categoria dei modelli statistici. Ricadono invece nella categoria bottom-up, il modello proposto da CIRIANNI *et al.* (2012), dall'ASSTRA (2013), dalla Regione Ve-

sample is not ascertained, the estimates may be influenced by the specificity of the companies. Of course, if company data is not available, the model cannot be used.

- **Bottom-up or Engineering:** defines cost analytically from production and technology standards and requires accurate analysis of costs incurred in specific business areas. The application of such models, therefore, presupposes a mastery of production processes, individual factors and their respective costs, and presents the risk of determining an 'ideal' cost value, i.e. unrelated to the actual operating conditions of the production context.
- **Hybrid:** it presents intermediate characteristics between the two methodologies just mentioned and can therefore, if correctly set up, reduce the criticalities associated with each of them.

Approximately 70% of the authors here cited favoured the statistical approach in constructing their models, which overcomes the need for a clear and detailed knowledge of the production processes, but entails an estimation that is significantly influenced by the representativeness of the data in the selected sample and obviously does not provide indications of the functional links between the cost and the model variables. The models proposed by FILIPPINI *et al.* (2001), DALEN and GOMEZ LOBO (2002), FRAQUELLI *et al.* (2004), CUBUKCU (2006), ANAV (2013), ABRATE *et al.* (2014), AVENALI *et al.* (2014, 2016), PETRUCCHELLI and CARLEO (2017), DELLA LUCIA *et al.* (2018), Ministerial Decree no.157 (2018) and PETRUCCHELLI and RACINA (2019) belong to the top-down category. The Friuli-Venezia Giulia Region (2013), on the other hand, adopted a simplified approach which can nevertheless be considered as belonging to the category of statistical models. Instead, the model proposed by CIRIANNI *et al.* (2012), the ASSTRA (2013), the Veneto Region (2013), DI GANGI (2013) and SIMONELLI *et al.* (2023) fall into the bottom-up category. Only in one case, (Ave-

neto (2013), da Di GANGI (2013) e da SIMONELLI *et al.* (2023). Solo in un caso (AVENALI *et al.*, 2018), come anticipato, è stata adottata una strategia numerica avanzata rappresentata da un modello ibrido, in grado di combinare efficacemente l'approccio *bottom-up* per determinare l'aliquota di costo relativa al personale di guida ed al parco veicolare, affiancato da un approccio *top-down* per la stima delle restanti voci di costo.

Per quanto riguarda invece la forma analitica è stato riscontrato, per la casistica vagliata, che gran parte dei modelli ha impiegato una procedura matematica abbastanza consolidata, rappresentata da una funzione di costo con forma trans-logaritmica. Nella fattispecie, hanno adottato questa formulazione FILIPPINI *et al.* (2001), DALEN e GOMEZ LOBO (2002), FRAQUELLI *et al.* (2004), CUBUKCU (2006) e ABRATE *et al.* (2014). In particolare, CUBUKCU (2006) ha impiegato una funzione di tipo trans-logaritmica sviluppata in precedenza da altri autori e rappresentata in questo caso, in via approssimata, attraverso lo sviluppo di Taylor arrestato al secondo ordine, mentre Abrate *et al.* (2014) hanno definito una formula per determinare il costo standard sulla base della relazione introdotta nel 1992 da PULLEY e BRAUNSTEIN [25] denominata modello econometrico della funzione di costo composita. Altri autori, invece, hanno impiegato una funzione di costo desunta attraverso procedure di tipo statistico basate sulla regressione lineare multipla. È questo il caso adottato da PETRUCCHELLI con CARLEO (2017) e con RACINA (2019) oltre che dal MIT nella metodologia dettata nel D.M. n.157/2018. Quest'ultimo utilizza la regressione lineare per costruire il modello di costo relativo alle autolinee e quello per le ferrovie regionali mentre, per le tramvie e le metropolitane, per le quali non si disponeva di un data base sufficientemente esteso, ha indicato una ben definita procedura di calcolo per la quale sono stati forniti anche i valori di molti parametri. Il metodo dei minimi quadrati è stato scelto da AVENALI *et al.* nel 2014 e 2016 e un approccio matematico analogo è stato adottato anche nel modello ibrido del 2018 limitatamente al calcolo di una parte delle voci di costo, nonché da DELLA LUCIA *et al.* (2018), per definire una relazione esponenziale. Esistono poi dei modelli che determinano il costo del servizio di TPL attraverso l'analisi delle singole voci che compongono l'intero processo produttivo. Un approccio così fatto è stato applicato dal modello di CIRIANNI *et al.* (2012), ANAV (2013), ASSTRA (2013), Regione Veneto (2013), Di GANGI (2013) e da SIMONELLI *et al.* (2023).

Nelle Tab. 6 e Tab. 7 si raggruppano i modelli per tipologia di approccio e forma analitica.

4. Ampiezza e valenza del campione di dati

La dimensione e solidità del data base utilizzato nella costruzione e validazione di un modello ha un peso notevole sull'affidabilità dei risultati che quest'ultimo è in grado di produrre. Tuttavia è da considerare che la capacità del data base di riflettere il costo dei servizi di TPL è condizionata anche dall'epoca alla quale fanno riferimento i valori in esso contenuti che risentono certamente delle diverse

NALI *et al.*, 2018), as anticipated, an advanced numerical strategy was adopted represented by a hybrid model, able to effectively combine the bottom-up approach to determine the cost rate related to the driving staff and the vehicle fleet, flanked by a top-down approach to estimate the remaining cost items.

As far as the analytical form is concerned, on the other hand, it was found for the case history examined that most of the models employed a fairly well-established mathematical procedure, represented by a cost function with a trans-logarithmic form. FILIPPINI *et al.* (2001), DALEN and GOMEZ LOBO (2002), FRAQUELLI *et al.* (2004), CUBUKCU (2006) and ABRATE *et al.* (2014) adopted this formulation. In particular, CUBUKCU (2006) employed a trans-logarithmic function previously developed by other authors and represented, in this case, in an approximate way, by means of second-order arrested Taylor development, while ABRATE *et al.* (2014) defined a formula to determine the standard cost on the basis of the relationship introduced in 1992 by PULLEY and BRAUNSTEIN [25] called the econometric model of the composite cost function. Other authors, conversely, have employed a cost function deduced through statistical procedures based on multiple linear regression. This is the case of PETRUCCHELLI with CARLEO (2017) and RACINA (2019) as well as of the methodology dictated in Italian Ministerial Decree no.157/2018. The latter uses linear regression to construct the cost model for bus lines and that for regional railways while, for tramways and metros, for which a sufficiently extensive database was not available, it indicated a well-defined calculation procedure for which the values of many parameters were also provided. The method of least squares was chosen by AVENALI *et al.* in 2014 and 2016, and a similar mathematical approach was also adopted in the 2018 hybrid model limited to the calculation of part of the cost items, as well as by DELLA LUCIA *et al.* (2018), to define an exponential relationship. There are also models that determine the cost of the LPT service by analysing the individual items that make up the entire production process. Such an approach has been applied by the model of CIRIANNI *et al.* (2012), ANAV (2013), ASSTRA (2013), Veneto Region (2013), Di GANGI (2013) and by SIMONELLI *et al.* (2023).

In Tab. 6 and Tab. 7, models are grouped according to approach type and analytical form.

4. Size and validity of the data sample

The size and robustness of the database used in the building and validation of a model has a considerable weight on the reliability of the results it is able to produce. However, it should be considered that the ability of the database to reflect the cost of LPT services is also conditioned by the time to which the values contained in it refer, which are certainly affected by the different rules that have regulated the valuation of standard costs and compensations over time, as well as the mechanisms

norme che hanno regolato nel tempo la determinazione dei costi standard e dei corrispettivi nonché dei meccanismi di affidamento dei servizi. Sicuramente, l'aspetto che più rafforza l'attendibilità del database e del modello da questo costruito riguarda la qualità dei dati dimostrata attraverso la validazione da parte di un organismo certificatore indipendente. Infatti, mentre i valori ricavati direttamente da uno specifico servizio sono certi in quanto effettivamente riscontrati nella realtà anche se non necessariamente rappresentativi di una produzione di massima efficienza, quelli desunti da un campione di aziende possono risultare notevolmente disomogenei se queste presentano forme e dimensioni diverse fra loro o producono servizi differenti per caratteristiche e dimensioni o contesto operativo. Mentre in un campione sufficientemente esteso è possibile raggruppare i diversi servizi secondo la percorrenza, la velocità com-

for entrusting services. Undoubtedly, the aspect that most reinforces the reliability of the database and of the model constructed from it concerns the quality of the data demonstrated through validation by an independent certifying body. In fact, while the values obtained directly from a specific service are certain insofar as they are actually found in reality, even if they are not necessarily representative of a production of maximum efficiency, those deduced from a sample of companies may be considerably inhomogeneous if they present different shapes and sizes or produce services that differ in terms of characteristics and size or operating context. While in a sufficiently large sample it is possible to group the different services according to travel distance, commercial speed, urban or extra-urban area of implementation or according to other characteristics, it is generally difficult,

Tabella 6 – Table 6

Modelli di costo suddivisi per tipo di approccio
Cost models by type of approach

Approccio - Approach	Autori - Authors
“Top Down” o Statistico “Top Down” or Statistical	FILIPPINI <i>et al.</i> , DALEN e GOMEZ LOBO, FRAQUELLI <i>et al.</i> , CUBUKCU, ANAV – Università di Roma “La Sapienza”, Regione Friuli-Venezia Giulia, ABRATE <i>et al.</i> , AVENALI <i>et al.</i> (2014 e 2016), PETRUCELLI e CARLEO, DELLA LUCIA <i>et al.</i> , D.M. 157/2018, PETRUCELLI e RACINA.
“Bottom Up” o Ingegneristico “Bottom Up” or ‘Engineering	CIRIANNI <i>et al.</i> , Regione Veneto, ASSTRA, DI GANGI, SIMONELLI <i>et al.</i>
Ibrido - Hybrid	AVENALI <i>et al.</i> (2018)

Tabella 7 - Table 7

Modelli di costo suddivisi per forma analitica
Cost models by analytical form

Forma Analitica Analytical Form	Autori Authors
Trans-logaritmica - Metodo dei minimi quadrati generalizzati (GLS) Trans-logarithmic - Generalised Least Squares Method (GLS)	FILIPPINI <i>et al.</i>
Trans-logaritmica - Regressione iterata apparentemente non correlata Trans-logarithmic - Iterated Seemingly Unrelated Regression (ISUR)	FRAQUELLI <i>et al.</i>
Trans-logaritmica (generico) Trans-logarithmic (generic form)	DALEN e GOMEZ LOBO, CUBUKCU
Trans-logaritmica generalizzata (GT) - Modello econometrico della funzione di costo composito Generalized Trans-log (GT) - Composite Cost Function Econometric Model	ABRATE <i>et al.</i>
Modello Econometrico, Relazione Lineare - Metodo dei minimi quadrati Econometric Model, Linear Relation - Least Squares Method (OLS)	AVENALI <i>et al.</i> (2014, 2016, 2018)
Relazione Esponenziale - Metodo dei minimi quadrati Exponential Relation - Method of least squares	DELLA LUCIA <i>et al.</i>
Metodo statistico della regressione multipla lineare Linear multiple regression statistical method	PETRUCELLI e CARLEO, D.M. n.157/2018, PETRUCELLI e RACINA
Metodo “semplificato” ‘Simplified’ method	Friuli-Venezia Giulia Regione
Analitico (Generico) Analytical (Generic)	CIRIANNI <i>et al.</i> , ANAV, DI GANGI, Regione Veneto, ASSTRA, SIMONELLI <i>et al.</i>

merciale, l'ambito urbano o extraurbano di realizzazione o secondo altre caratteristiche, è invece generalmente difficile in un campione di dimensioni ridotte operare distinzioni sulla base delle specificità del programma di esercizio (PdE) o del contesto in cui si opera. Pertanto il modello costruito su tale campione non è generalmente in grado di tener conto del PdE e di conseguenza la sua applicazione produrrà una sotto o sovra-stima sensibile. Sulla base di tali considerazioni, PETRUCELLI e RACINA (2021) [26] hanno distinto, in alto, medio e basso, il livello di attendibilità delle variabili utilizzate nei modelli di costo, sulla base di come i relativi valori sono di volta in volta ricavati e cioè se basandosi sullo specifico servizio o su un campione di aziende, evidenziando quelle variabili per le quali, più che per altre, l'assunzione di valori medi campionari incide sull'attendibilità delle stime effettuate con il modello. Da ciò emerge che le variabili, i cui valori richiedono uno stretto riferimento allo specifico servizio, sono quelle più importanti, come le "ore di guida annue di un conducente", da cui discende direttamente il numero di conducenti necessari per il servizio. La metodologia consolidata per la stima del costo del TPL su gomma si avvale di parametri, sia riferiti allo specifico servizio, sia rappresentativi di valori medi campionari poiché non direttamente rilevabili. I parametri del primo tipo sono di solito le ore di servizio annue rese, la velocità commerciale e la percorrenza kilometrica annua, mentre ricadono nella seconda tipologia le ore di guida annue per conducente e il rapporto fra il costo dei conducenti e quello del personale nel suo complesso. La stima conseguente sarà tanto più precisa ed attendibile quanto minori in numero e di minore peso saranno i parametri del secondo tipo utilizzati. Si può dunque comprendere che la determinazione delle variabili, da cui dipende il costo standard, dovrebbe basarsi su valori tratti da servizi realmente esercitati.

Con riferimento allo spettro investigato, gli autori che hanno usufruito di un campione più ampio sono stati DALEN e GOMEZ LOBO (2002) con 1136 rilievi tratti da aziende di trasporto norvegesi, tra il 1987 e il 1997 e CUBUKCU (2006) con 1061 osservazioni, tratte nel periodo compreso tra 1996 e il 2002, relative a 264 aziende di trasporto presenti negli Stati Uniti che tra l'altro sono state combinate con dati geografici e fisici ed elaborate mediante GIS. Più contenuti sono i campioni che hanno supportato la costruzione del modello di FILIPPINI *et al.* (2001) (170 osservazioni, comprese tra il 1991 e il 1995, relative a 34 aziende di trasporto svizzere), quello di ABRATE *et al.* (2014), (147 rilievi raccolti dal 2008 al 2012, riferiti a 47 aziende italiane di TPL) ed anche quello di FRAQUELLI *et al.* (2004), (135 osservazioni relative a 45 aziende di trasporto pubblico comunale associate a Federtrasporti, operanti nel periodo compreso tra il 1996 e il 1998). Come si può osservare, i campioni utilizzati dagli autori sopra citati, seppur numericamente rappresentativi, talvolta consistenti, ed estesi ad un periodo mediamente abbastanza ampio (4 – 5 anni), sono tuttavia datati a oltre vent'anni fa.

Su dati un po' più recenti sono basate le elaborazioni condotte da AVENALI *et al.* nel 2014, 2016 e 2018, che hanno fatto riferimento ad un campione rilevato nel 2011, costi-

in a small sample, to make distinctions on the basis of the specifics of the service operating program (SOP) or operating context. Therefore, the model built on such a sample is generally unable to take into account the SOP and consequently its application will produce a sensitive under- or over-estimation. On the basis of these considerations, Petruccelli and Racina (2021) [26] have distinguished, into high, medium and low, the level of reliability of the variables used in the cost models, on the basis of how the relative values are derived from time to time, i.e. whether based on the specific service or on a sample of companies, highlighting those variables for which, more than for others, the assumption of average sample values affects the reliability of the estimates made with the model. From this it emerges that the variables, whose values require a close reference to the specific service, are the most important ones, such as the "annual driving hours of a driver", from which the number of drivers required for the service is directly derived. The established methodology for estimating the cost of road LPT makes use of parameters, either referred to the specific service or representative of sample average values since they are not directly detectable. The parameters of the first type are usually the annual service hours rendered, the commercial speed and the annual mileage, while the second type includes the annual driving hours per driver and the ratio between the cost of drivers and that of staff as a whole. The resulting estimate will be all the more accurate and reliable the fewer and less weighty the parameters of the second type are used. It can therefore be understood that the determination of the variables, on which the standard cost depends, should be based on values drawn from services actually performed.

*With regard to the spectrum investigated, the authors who made use of a larger sample were DALEN and GOMEZ LOBO (2002) with 1136 observations taken from Norwegian transport companies between 1987 and 1997 and CUBUKCU (2006) with 1061 observations, taken between 1996 and 2002, relating to 264 transport companies in the USA, which were combined with geographical and physical data and processed using GIS. More contained are the samples that supported the construction of the model by FILIPPINI *et al.* (2001) (170 observations, spanning from 1991 to 1995, relating to 34 Swiss transport companies), that of ABRATE *et al.* (2014), (147 surveys collected from 2008 to 2012, relating to 47 Italian LPT companies) and also that of FRAQUELLI *et al.* (2004), (135 observations relating to 45 municipal public transport companies belonging to Federtrasporti - an Italian association, operating in the period between 1996 and 1998). As can be seen, the samples used by the aforementioned authors, although numerically representative, sometimes substantial, and spanning a fairly broad average period (4 - 5 years), are nonetheless dated over twenty years ago.*

*On somewhat more recent data are based the elaborations carried out by AVENALI *et al.* in 2014, 2016 and*

tuito da 45 aziende italiane con una produzione di circa 500 milioni di bus.km/anno e ASSTRA che si è avvalsa di dati raccolti nel 2012 mediante questionari somministrati alle aziende consociate. Similmente, la Regione Veneto ha costruito il proprio campione di analisi raccogliendo i dati di costo di tutte le aziende operanti sul territorio regionale, affidatarie di TPL negli anni 2010 e 2011, e integrandoli con le informazioni desunte dal "Programma Statistico Nazionale – Indagine sul TPL", mentre la Regione Friuli ha svolto una simulazione numerica con riferimento all'anno 2009.

Il campione per la costruzione del modello di DELLA LUCIA *et al.* (2018) invece, è stato fornito da dieci aziende italiane aventi piccole e medie dimensioni e operanti sia in ambito urbano che extraurbano e, nonostante la dimensione relativamente ridotta del data base, i risultati ottenuti dimostrano una discreta capacità del modello di riprodurre i reali costi.

Ad ogni modo, come si può notare, gran parte dei modelli analizzati ha usufruito di un campione di dati non validato, la cui attendibilità è stata assunta a priori e ciò, sebbene non limiti la validità della metodologia e dello strumento costruito, non ne garantisce la buona calibrazione e quindi la corrispondenza alla realtà dei risultati calcolabili.

PETRUCELLI e CARLEO (2017), invece, hanno considerato un campione che, sebbene numericamente molto contenuto, riporta tuttavia costi che sono certamente reali e di massima efficienza in quanto riferiti solo servizi affidati con un ribasso d'asta irrilevante, a seguito di gara di appalto pubblica. Ciò garantisce che il costo posto a base di gara è effettivamente quello minimo e quindi di massima efficienza.

Di certo la fonte più ampia e affidabile è stata impiegata per la costruzione del modello contenuto nel DM. 157/2018 che è costituita dai dati raccolti dall'Osservatorio Nazionale per le Politiche del Trasporto Pubblico Locale. Pertanto, lo strumento di stima fornito dal MIT, oltre ad avere efficacia di norma, è da considerarsi il più attendibile in termini di calibrazione nonché il più rappresentativo della situazione italiana, sebbene presenti importanti limiti nella capacità di riprodurre la realtà per effetto della mancanza di qualsiasi variabile rappresentativa delle caratteristiche del PdE e quindi della produttività dei conducenti (come già discusso in precedenza). Per inciso, è da evidenziare una forte similitudine tra il modello in questione e quello proposto da AVENALI nel 2014, riscontrandosi le uniche differenze nei valori di alcuni parametri assunti.

Infine, SIMONELLI *et al.* (2023) si sono avvalsi dei dati di traffico *General Transit Feed Specification* (GTFS) prodotti da Google ma il modello è stato calibrato con riferimento ad uno specifico caso reale relativo a un servizio di 11.4 milioni di bus.km offerto nella città di Napoli nel 2018.

5. Riflessioni conclusive

Questo studio ha proposto uno stato dell'arte critico in tema di stima del costo standard di un servizio di trasporto pubblico locale su autobus analizzando i modelli più significativi presenti nella letteratura scientifica.

2018, which made reference to a sample collected in 2011, consisting of 45 Italian companies with a production of approximately 500 million bus.km/year, and ASSTRA, which made use of data collected in 2012 through questionnaires administered to its member companies. Similarly, the Veneto Region constructed its own analysis sample by collecting the cost data of all the companies operating on its territory, entrusted with LPT in the years 2010 and 2011, and integrating them with information taken from the 'National Statistical Programme - LPT Survey', while the Friuli Region carried out a numerical simulation with reference to the year 2009.

The sample used by DELLA LUCIA *et al.* (2018) for the construction of their model, on the other hand, was provided by ten Italian companies of small and medium size and operating in both urban and extra-urban areas and, despite the relatively small size of the database, the results obtained demonstrate a fair ability of the model to reproduce real costs.

However, as can be seen, most of the models analysed used an unvalidated sample of data, the reliability of which was assumed *a priori* and this, although it does not limit the validity of the methodology and the tool constructed, does not guarantee its good calibration and thus the correspondence to reality of the results that can be calculated.

PETRUCELLI and CARLEO (2017), on the other hand, considered a sample that, although numerically very small, nevertheless reports costs that are certainly real and of maximum efficiency as they only refer to services entrusted with an insignificant bidding discount, following a public tender. This ensures that the cost put out to tender is indeed the minimum cost and therefore the cost of maximum efficiency.

Certainly, the model contained in DM.157/2018 was built on the basis of the broadest and most reliable source that is the data collected in Italy by the Italian National Observatory for Local Public Transport Policies. Therefore, the estimation tool provided by the MIT, in addition to having standard effectiveness, is to be considered the most reliable in terms of calibration as well as the most representative of the Italian situation, although it has important limitations in its ability to reproduce reality due to the lack of any representative variable of the characteristics of the SOP and therefore of the productivity of drivers (as discussed above). By the way, a strong similarity was found between the model defined by DM.157/2018 and the one proposed by AVENALI in 2014, the only differences being in the values of some assumed parameters.

Finally, SIMONELLI *et al.* (2023) made use of General Transit Feed Specification (GTFS) traffic data produced by Google, but the model was calibrated with reference to a specific real-life case related to an 11.4 million bus.km service offered in the city of Naples (IT) in 2018.

Come è noto, mentre l'analisi del costo scaturisce dalla somma delle diverse voci di spesa per l'acquisto dei fattori della produzione, la stima prevede di risalire al costo di produzione partendo dalla quantità e dalle caratteristiche del prodotto e del processo produttivo. Pertanto la stima è l'unica strada percorribile quando non si conosce il dettaglio delle voci di spesa della specifica produzione oppure quando si vuole ottenere un costo indipendente dalla efficienza delle imprese esercenti il servizio e cioè un valore standardizzato. La stima richiede l'utilizzo di un metodo o modello che sia costruito per lo specifico settore di indagine e calibrato sulla realtà che si vuole riprodurre.

La capacità di un modello di riprodurre un fenomeno reale è funzione di due aspetti: il numero e rappresentatività delle variabili in esso comprese e la buona calibrazione delle costanti. Il primo aspetto non può prescindere da un'analisi dettagliata del fenomeno in esame e della rilevanza delle variabili che lo influenzano; il secondo richiede la disponibilità di una mole di dati rappresentativi del fenomeno stesso e delle variabili ad esso connesse, opportunamente validati e riferiti ad un ambito temporale o spaziale sufficientemente esteso.

Le variabili che hanno rilevanza sul costo standard del trasporto pubblico locale su gomma sono riconducibili al programma di esercizio (PdE) (il prodotto), all'azienda esercente (il produttore) nonché alla strada e al rapporto contrattuale (il contesto operativo). Le variabili più comunemente utilizzate sono la velocità commerciale e la percorrenza annua del servizio appaltato. La prima variabile risente particolarmente della distanza media fra le fermate (caratteristica del prodotto PdE) nonché degli standard funzionali e delle condizioni di traffico dell'infrastruttura (contesto operativo) e misura l'impegno orario di personale e mezzi per la realizzazione del prodotto; talvolta viene sostituita con il tempo di servizio reso al pubblico che è una misura diretta del tempo di utilizzo dei fattori della produzione in questione. La seconda variabile è indicativa di economie e diseconomie di scala connesse alla percorrenza complessivamente realizzata (quantità del prodotto) e al contesto operativo che possono influire sull'efficienza della produzione. Spesso nei modelli sono presenti anche una o più variabili indicative dei costi fissi relativi al materiale rotabile comprensivi anche della quota di ammortamento eventualmente ricadente sul gestore del servizio.

È evidente che non esistono variabili in grado di rappresentare separatamente uno dei tre aspetti (prodotto, produttore e contesto operativo) ma ciascuna descrive contemporaneamente più aspetti in modo parziale. Pertanto, nella costruzione del modello di costo, la scelta delle variabili è molto importante perché l'utilizzo di variabili non sufficientemente rappresentative o in numero eccessivamente ridotto rischia di rendere lo strumento non abbastanza efficace nel riprodurre il fenomeno studiato. In altri casi questo rischio è conseguenza di una calibrazione fondata su un data-base numericamente limitato oppure che non permette di distinguere un adeguato numero di

5. Final remarks

This study works out a state of the art on the estimation of the standard cost for a bus LPT service by critically analysing the most significant models in the scientific literature.

As is well known, while cost analysis results from the sum of the various items of expenditure for the purchase of production factors, estimation involves tracing the cost of production from the quantity and characteristics of the product and the production process. Therefore, estimation is the only way to go when the details of the expenditure items of the specific production are not known or when a cost independent from the efficiency of the company performing the service, i.e. a standardised value, is required. Estimation needs the use of a method or model constructed for the specific sector under investigation and calibrated to the reality that is to be reproduced.

The ability of a model to reproduce a real phenomenon is a function of two aspects: the number and representativeness of the variables it includes and the good calibration of the constants. The first aspect cannot disregard a detailed analysis of the phenomenon under consideration and the relevance of the variables influencing it. The second requires the availability of a mass of data representative of the phenomenon itself and the variables connected to it, suitably validated and referring to a sufficiently extended temporal or spatial range.

The variables that have a bearing on the standard cost of local public transport by road are the service operating program (SOP) (the product), the operating company (the producer) as well as the road, and the contractual relationship (the operating environment). The most commonly used variables are the commercial speed and the annual mileage of the contracted service. The first variable is particularly affected by the average distance between stops (characteristic of the SOP product) as well as by the functional standards and traffic conditions of the infrastructure (operating context) and measures the hourly use of driving staff and vehicles for the realisation of the product; it is sometimes replaced by the service time rendered to the public, which is a direct measure of the time of utilisation of the factors of production in question. The second variable is indicative of economies and diseconomies of scale related to the total mileage travelled (quantity of the product) and the operating environment that may affect the efficiency of production. Often the models also include one or more variables indicative of the fixed costs related to rolling stock, including the depreciation quota that may fall on the service operator.

It is evident that there are no variables capable of representing one of the three aspects (product, producer and operating context) separately, but each one describes several aspects simultaneously in a partial manner. Therefore, in the construction of the cost model, the choice of variables is very important because the use of variables that are not sufficiently representative or too few in number risks

grappoli di episodi assimilabili e perciò obbliga a fare riferimento a dati medi ricavati su casistiche molto diverse fra loro, svuotando di significatività il parametro di calibrazione trovato.

Queste sono le criticità molto spesso riscontrate nei modelli studiati in cui, o con l'obiettivo di ottenere uno strumento di facile uso si omettono variabili che sono determinanti nel descrivere uno dei tre aspetti condizionati il costo, oppure per la limitatezza del campione si è costretti ad assumere parametri di calibrazione ricavati come valore medio di servizi molto diversi fra loro soprattutto in termini di prodotto e di contesto operativo.

Fra gli aspetti del servizio di TPL che meritano di essere considerati con maggiore attenzione nei modelli di costo ricade proprio il prodotto realizzato, le cui caratteristiche sono espresse dal PdE. Quest'ultimo infatti, a parità di quantità prodotta cioè di percorrenze realizzate dal servizio, condiziona sensibilmente l'impegno orario di conducenti e materiale rotabile e quindi influisce in modo tutt'altro che trascurabile sul costo complessivo unitario della produzione, dato che, su questo, il solo personale di condotta incide per almeno il 50%. Le caratteristiche del PdE che influenzano il costo dei conducenti e del materiale rotabile sono diverse; fra queste, in particolare, ci sono l'estensione delle linee percorse e la frequenza delle corse offerte sulla stessa linea che insieme influiscono sui tempi di fermo imposti ai conducenti ed ai mezzi fra una corsa e la successiva, determinando le percorrenze annue prodotte da questi fattori produttivi e quindi l'incidenza della relativa voce di costo sul totale.

Dall'analisi condotta in questo studio è emerso che molti modelli non possono offrire una stima sufficientemente affidabile del costo perché basati su variabili che non descrivono in modo sufficientemente definito le caratteristiche del PdE. Altri metodi invece superano in parte questo limite comprendendo variabili come il rendimento del personale di guida, la frequenza delle corse, la densità delle linee e il tempo di servizio, oppure incorporando variabili fittizie che descrivono alcune caratteristiche del PdE in modo discontinuo o attraverso parametri sintetici come ad esempio le ore di guida dei conducenti.

L'avanzamento della ricerca sulla stima del costo standard verso una maggiore capacità interpretativa dei modelli potrà ottenersi operando in due direzioni. La prima è rappresentata dalla costruzione di nuovi modelli che comprendano anche variabili in grado di descrivere in modo sufficientemente dettagliato il prodotto realizzato cioè il PdE. La seconda consiste nella messa a punto di strumenti per ottenere risultati più affidabili da quei modelli esistenti che comprendono anche variabili di efficienza legate indirettamente delle caratteristiche del PdE. Detti strumenti dovranno concretizzarsi in relazioni tra le caratteristiche del PdE ed i parametri rappresentativi dell'efficienza presenti in questi modelli di costo. Attraverso queste relazioni sarà possibile determinare i valori dei parametri in questione con riferimento allo specifico prodotto anziché come media di un campione di prodotti necessariamente diversi fra loro.

making the instrument not effective enough in reproducing the phenomenon studied. In other cases, this risk is the consequence of a calibration based on a numerically limited data-base or which does not allow an adequate number of clusters of assimilable episodes to be distinguished and therefore obliges one to refer to average data obtained on very different case histories, thus emptying the calibration parameter found of significance.

These are the critical points very often found in the models studied where, either with the aim of obtaining a user-friendly tool, variables are omitted that are decisive in describing one of the three aspects conditioning the cost, or due to the limited sample, one is forced to assume calibration parameters derived as the average value of very different services, especially in terms of product and operating context.

Among the aspects of the LPT service that deserve greater attention in cost models is the product, the characteristics of which are expressed by the SOP. In fact, the latter, given the same quantity produced, i.e. the total mileage travelled, significantly influences the hourly commitment of drivers and rolling stock, and therefore has a far from negligible impact on the overall unit cost of production, given that drivers alone account for at least 50% of this. The characteristics of the SOP that affect the cost of drivers and rolling stock are various; among these, in particular, are the extension of the lines travelled and the frequency of the rides supplied on the same line, which together affect the downtime imposed on drivers and vehicles between one ride and the next, determining the annual mileage produced by these production factors and therefore the incidence of the relative cost item on the total.

The analysis developed in this study showed that many models cannot offer a sufficiently reliable prediction of cost because they are based on variables that do not sufficiently describe the characteristics of the SOP. Other methods, on the other hand, partially overcome this limitation by including variables such as driver performance, frequency of rides, line density and service time, or by incorporating dummy variables that describe certain characteristics of the SOP discontinuously or through synthetic parameters such as drivers' driving hours.

Advances in standard cost estimation research toward a greater interpretative capacity of the models can be achieved by operating in two directions. The first is the built of new models that also include variables capable of describing in sufficient detail the product, i.e. the SOP. The second consists in the development of tools to obtain more reliable results from those existing models that also comprise efficiency variables indirectly linked to the SOP characteristics. These tools must materialize in relationships between the characteristics of the SOP and the representative parameters of efficiency included in these cost models. Through these relationships we will be able to determine the values of the parameters in question with reference to the specific product rather than as an average of a sample including products necessarily different from each other.

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] Official Journal of the European Union, Directive (EU) no. 2007/1370 of the European Commission, modified with Directive (EU) no. 2338/2016.
- [2] PETRUCELLI U., CARLEO S. (2017), "Cost models for local road transit. Public Transport", 9, 527-548. DOI 10.1007/s12469-017-0162-2.
- [3] DELLA LUCIA L., MENEGUZZER C., ZOTTI G. (2018), "Un approccio semplificato al calcolo del costo standard nel Trasporto Pubblico Locale - A simplified approach to the determination of standard cost in Local Public Transport". IF 2018, 11, 883-898.
- [4] PETRUCELLI U., RACINA A. (2019), "Stima del numero di conducenti come strumento di efficientamento dei servizi di trasporto pubblico - Assessment of the number of drivers as a tool for improving the efficiency of public transit services". IF, 4, 295-315.
- [5] 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". Econ Polit Ind , 4, 181-213.
- [6] PETRUCELLI U., VUONO P. (2024), "Il fondo nazionale e le politiche del trasporto pubblico locale tra obiettivi di efficienza ed equità metodo per la stima del costo del trasporto pubblico su gomma - The National Fund and local public transport policies between efficiency and equity objectives". IF , 2, 103-130. Available online: <https://www.medra.org/servlet/view?lang=it&doi=10.57597/IF.02.2024.ART.2>
- [7] PETRUCELLI U., (2021), "Indicazioni per l'aggiornamento del D.M. sui costi standard per il trasporto pubblico locale". In Proceedings of the 4° Convegno, Sistema su Gomma nel Trasporto Passeggeri, Roma, Italia, Giornate di Studio 13 e 14 Ottobre.
- [8] SIMONELLI F., PAPOLA A., TINELLA F., TOCCHI D., MARZANO V. (2023), "Towards a bottom-up estimation of a standard unit operating cost for bus operators: Methodology and policy implications in Italy". Transp. Policy 2023. Available online: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2023.101017>
- [9] FILIPPINI M., MAGG R., PRIONI P. (2001), "Cost-based Yardstick Regulation in the Swiss Regional Public Bus Industry". 1st Swiss Transport Research Conference, Monte Verità/Ascona. Available online: https://www.researchgate.net/publication/228603705_Cost-based_Yardstick_Regulation_in_the_Swiss_Regional_Public_Bus_Industry(accessed on 3 March 2016).
- [10] 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.
- [11] CIRIANNI F., LEONARDI G., IANNÒ D. (2012), "Model definition and optimization of unit cost functions in service integration of bus services". In Proceedings of the 6th International Symposium "Networks for Mobility", 27/28 Settembre, 1-11.
- [12] ANAV, La Sapienza University (2013), "La determinazione del costo standard nei servizi di trasporto pubblico locale su autobus: aspetti metodologici e prime esperienze applicative". Residenza di Ripetta, Roma. Available online: <http://www.filt.veneto.cgi.it/sites/default/files/2014%20%2017%20COSTI%20STANDARD%20TPL.pdf> (accessed on 18 December 2015).
- [13] ASSTRA (2013), "Un modello di calcolo del costo standard per il trasporto pubblico locale e regionale automobilistico". Audizione presso la IX Commissione trasporti, poste e telecomunicazioni della Camera dei Deputati, Roma. Available online: <https://www.camera.it/temiap/temi17/Asstra%20%20percorsi%20di%20sviluppo%20per%20il%20trasporto%20pubblico%20locale.pdf>.
- [14] DI GANGI M. (2013), "Un approccio analitico per la valutazione dei costi nei sistemi di trasporto collettivo". I sistemi di trasporto nell'area del Mediterraneo: infrastrutture e competitività; Bergantino, A.S.; Carlucci, F.; Cirà, A.; Marucci, E.; Musso, E. Franco Angeli: Milano, , 347-358.
- [15] Regione Veneto (2013), "Costruzione del Costo Standard 2010 per il TPL su gomma e metrotram - Descrizione del metodo, delle attività svolte e delle risultanze raggiunte relazione finale". 12 marzo 2013, allegato G alla D.gr n. 686 del 14 maggio 2013.
- [16] Regione Friuli-Venezia Giulia (2013), "Piano Regionale del Trasporto Pubblico Locale" - Relazione Illustrativa. 4 Aprile, delibera n.605.
- [17] AVENALI A., BOITANI A., CATALANO G., D'ALFONSO T., MATTEUCCI G. (2018), "Assessing standard costs in local public bus transport: A hybrid cost model". Transp. Policy, 62, 48-57.

- [18] DALEN D., M. GOMEZ LOBO A. (2002), *“Regulatory contracts and cost efficiency in the Norwegian Bus Industry: Do high-powered contracts really work”*. 7th Annual Conference of the Latin American and Caribbean Economic Association, Discussion Paper 6. Available online: <http://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/94048/1/Dalen-1dp2002-06.pdf>. (accessed on 11 February 2016).
- [19] CUBUKCU K. MERT. (2006), *“Cost of Urban Bus Transit Operations and Geography of Service Territory”*. Conference of Regional and Urban Modeling, Free University of Brussels. Available online: <http://ecomod.net/sites/default/files/document-conference/ecomod2006-rum/1149.pdf> (accessed on 20 January 2016).
- [20] ABRATE G., ERBETTA F., FRAQUELLI G., VANNONI D. (2014), *“Cost function estimation of multi-service firms. Evidence from the passenger transport industry”*. Carlo Alberto Notebooks, n. 380. Available online: <http://www.carloalberto.org/assets/working-papers/no.380.pdf>.
- [21] AVENALI A., BOITANI, A., CATALANO G., D'ALFONSO T., MATTEUCCI G. (2016), *“Assessing standard costs in local public bus transport: evidence from Italy”*. Transp. Policy, 52, 164-174.
- [22] Official Gazette of the Italian Republic, Ministry of Infrastructure and Transport, Decree 28/03/2018 no.157 (Definizione dei costi standard dei servizi di trasporto pubblico locale e regionale e dei criteri di aggiornamento e applicazione).
- [23] PETRUCCHELLI U., CIAMPA S., DIOMEDI M., OLITA, S. (2020), *“L'offerta di trasporto pubblico locale in Italia: analisi dei dati dell'Osservatorio Nazionale per le Politiche del Trasporto Pubblico Locale - Local public transport supply in Italy: analysis of data from the National Observatory for Local Public Transport Policies”*. IF, 9, 599-632.
- [24] CAMBINI C., PIACENZA M., VANNONI D. (2007), *“Restructuring Public Transit Systems: Evidence on Cost Properties from Medium and Large-Sized Companies”*. Rev Ind. Organ, 31, 183–203.
- [25] PULLEY L.B., BRAUNSTEIN Y.M. (1992), *“A Composite Cost Function for Multiproduct firms with an application to Economies of Scope in Banking”*. Rev Econ Stat, 74, 221-230.
- [26] PETRUCCHELLI U., RACINA A. (2021), *“Feeder-trunk and direct-link schemes for public transit: a model to evaluate the produced accessibility”*. Public Transp, 13, 301–323. Available online: <https://doi.org/10.1007/s12469-021-00262-4>.

Errata Corrige - Corrigendum

Si informano i gentili Lettori che nell'articolo: **“Vita del CIFI”**, a cura di STEFANO LEONETTI e pubblicato nella rubrica “Notiziari” del Numero 9 (Settembre del 2024) di Ingegneria Ferroviaria, la Borsa di Studio “M” è stata assegnata alla Dott.ssa Ing. ANGELICA PEREGO, per la tesi dal titolo “Analisi delle potenzialità del trasporto ferroviario notturno Caso studio Dusseldorf–Verona” diversamente da come riportato “L'utilizzo dell'Interferometria Radar Satellitare Per Il Monitoraggio delle Infrastrutture Viarie e Ferroviarie”.

*La Redazione di
Ingegneria Ferroviaria*