

Analisi di sostenibilità del mercato per la definizione della componente B del pedaggio ferroviario

Paolo Beria^{1*}, Claudio Ferrari², Alessio Tei², Marta Santagata², Silvio Nocera³, Federico Cavallaro³, Francesca Ciuffini⁴, Giulio Sitongia⁴, Federico Mosci⁴, Federico Coltell⁴, Francesco Calabrese⁴

¹ Dipartimento di Architettura e Studi Urbani, Politecnico di Milano, Milano

² Dipartimento di Economia, Università di Genova, Genova

³ Dipartimento di Culture del Progetto, Università IUAV di Venezia, Venezia

⁴ RFI (Gruppo FS Italiane)

Il paper descrive la procedura di analisi della sostenibilità del mercato finalizzato alla definizione dei pedaggi del Pacchetto Minimo di Accesso (PMdA) contenuta nel recente “Sistema tariffario 2025 – 2029”, relativamente alla Componente B, cioè dei mark-up a copertura dei costi ammissibili diversi dai costi diretti. Il principio alla base del calcolo dei mark-up è quello della capacità del mercato di sostenerlo, sulla base della elasticità della domanda alle variazioni di pedaggio.

Per la stima di tali elasticità sono stati utilizzati due approcci differenti per i due mercati merci e passeggeri. Nel caso del primo si è fatto ricorso ad un modello econometrico che sfrutta le variazioni ai pedaggi occorse negli ultimi anni. Nel caso del mercato passeggeri si è costruita una procedura modellistica alimentata con dettagliate stime di elasticità della domanda finale a tariffa e frequenza e modellizzando il comportamento delle imprese in funzione di tali elasticità e della loro struttura di costo.

Il paper termina con la descrizione dell'algoritmo di modulazione, che individua prima il campo di soluzioni ammissibili e finanziariamente sostenibili (che coprono cioè i costi) e tra esse seleziona quella che massimizza la domanda finale (pax e ton). Infine, attraverso il criterio di Ramsey-Boiteaux è stata operata la modulazione dei pedaggi tra i diversi binomi.

Parole Chiave: ferrovie; pedaggi ferroviari; RFI; prezzi Ramsey-Boiteaux; elasticità; Modello a 4 stadi; Italia; trasporto; passeggeri; merci

1 Introduzione e obiettivi

Secondo le normative europee e italiane, i Gestori dell'Infrastruttura (GI nel seguito) determinano il canone (c.d. “pedaggio”) dovuto dalle imprese ferroviarie per l'utilizzo dell'infrastruttura e procedono alla riscossione dello stesso” secondo i criteri definiti dalle Autorità

* Corresponding author: paolo.beria@polimi.it

di Regolazione nazionali. Entrambe le attività (determinazione e riscossione del canone) devono essere eseguite sia per il Pacchetto Minimo d'Accesso (PMdA), ovvero per le tracce allocate sull'Infrastruttura Ferroviaria, sia per i Servizi Extra-PMdA, ovvero per l'accesso e l'utilizzo degli impianti gestiti da ciascun operatore.

Per il PMdA, le citate normative stabiliscono un principio di proporzionalità del canone da correlare al "costo direttamente legato alla prestazione del servizio ferroviario" (c.d. "costo diretto"), ed inoltre ammettono la possibilità di ricorrere, in aggiunta ai costi diretti, all'applicazione di coefficienti di maggiorazione (c.d. "mark up"), onde potervi includere anche tipologie di costo non direttamente legate alla prestazione.

Nell'interpretazione della Delibera ART 95/2023, ai fini della definizione del canone del PMdA, le due richiamate diverse categorie di costi vengono rispettivamente schematizzate in:

- Componente A, correlata al recupero dei costi diretti e modulata secondo alcuni parametri di usura ritenuti significativi (massa, velocità, presenza di pantografi etc.)
- Componente B, orientata al recupero dei costi totali pertinenti ed efficienti e differenziata in funzione dei "segmenti di mercato" con il metodo dei binomi, avendo riguardo della "sostenibilità per il mercato" (c.d. "ability to pay"; cfr. Mis. 29 della Delibera)

Tali componenti, declinate in termini di tariffe per unità di traffico (€/trenokm) devono essere sommate ad una terza componente (Componente C), di minore entità e non concorrente all'equilibrio dei costi del Gestore, per ottenere la tariffa finale per il PMdA.

In Italia l'Autorità di Regolazione dei Trasporti (ART) ha fissato specifici "periodi regolatori" all'interno dei quali deve essere garantito al mercato ferroviario un quadro tariffario stabile, nonché al GI un tendenziale equilibrio tra costi e ricavi.

Le ragioni per l'applicazione del markup devono essere analizzate alla luce della teoria economica. Essa prevede infatti che la soluzione first best, che massimizza il surplus generato sul mercato, sia quella di definire un prezzo uguale al costo marginale. Questa soluzione, in caso di monopolio naturale dove tipicamente la funzione di costo è caratterizzata da subadditività, non consente tuttavia di recuperare i costi totali di produzione.

Nella gestione dell'infrastruttura, infatti, i costi direttamente legati alla prestazione del servizio ferroviario – ad esempio i costi energetici, il consumo degli impianti – costituiscono una parte residuale dei costi totali, dominati dalle componenti fisse quali la manutenzione periodica, il controllo della circolazione, gli ammortamenti, etc. Questa distanza tra costi marginali e fissi rende di fondamentale importanza l'applicazione dei mark-up se si vuole garantire l'equilibrio finanziario del gestore.

Per massimizzare il benessere sociale sotto il vincolo che non vi siano perdite per il gestore dell'infrastruttura, pertanto, è ammessa la soluzione di second best, che prevede che il pedaggio sia allineato al costo medio (al netto degli eventuali sussidi), discriminando la tariffa di accesso in base a quanto ciascun segmento di mercato può sostenere, assicurando al contempo a ciascun segmento di mercato la capacità richiesta.

Il concetto di quanto il mercato "può sostenere il costo" è intuitivo: i segmenti di mercato con maggiore capacità contributiva (detta *Ability to Pay*, AtP nel seguito), ad esempio perché servono mercati più ricchi o perché utilizzano linee ad alte prestazioni, possono e devono pagare una quota di costi medi maggiore rispetto ai treni con una bassa AtP. Questo principio mira a non escludere i treni con margini inferiori, che, qualora fossero chiamati a pagare da soli tutti i costi fissi delle linee che percorrono, semplicemente non verrebbero operati.

Tuttavia, l'idea di misurare l'AtP è estremamente complessa da applicare nella realtà e non definita in modo chiaro nemmeno nella letteratura e nella normativa (Beria, 2024). A livello teorico, il metodo di tariffazione Ramsey-Boiteaux prevede che i costi comuni ai diversi servizi ferroviari siano distribuiti fra gli stessi sulla base delle caratteristiche della domanda. Il modo più comune per tradurre nella pratica tale principio è quello di applicare un mark-up sul costo

marginale, che sia inversamente proporzionale all'elasticità della domanda rispetto alle tariffe di accesso dei singoli segmenti di mercato (*train access charges*, TAC di seguito).

$$\frac{p_i - cm_i}{p_i} = - \frac{\lambda}{1 + \lambda} \cdot \frac{1}{\varepsilon_i}$$

Dove: p_i è il pedaggio ottimale per il servizio i , cm è il suo costo marginale, λ il parametro che rappresenta il vincolo di bilancio che garantisce l'equilibrio economico-finanziario del gestore e ε l'elasticità della domanda in treni-km rispetto al prezzo.

Secondo questo principio, i treni con domanda anelastica (o rigida) pagano un pedaggio maggiore perché le richieste di tracce sarebbero meno influenzate da un aumento di prezzo rispetto ai treni la cui domanda è elastica. Tipicamente, un comportamento elastico si verifica se il percorso ha alternative o se i margini finanziari di quel treno sono bassi. Al contrario, i servizi con rendimenti elevati rispetto ai costi, o privi di alternative (ad esempio, i servizi veloci che devono operare sulle linee principali), possono avere un prezzo più elevato perché la loro quantità non diminuirebbe in modo significativo con l'aumento del TAC. Dal punto di vista del welfare, il principio garantisce l'integrale copertura dei costi (o della parte dei costi che non è coperta dai contributi pubblici) insieme ad una massimizzazione dei treni-km e, secondo la teoria, anche del benessere.

Sebbene il principio sia apparentemente semplice, la sua applicazione nel mondo reale presenta notevoli sfide, la principale delle quali è una stima corretta e sufficientemente dettagliata delle elasticità. Mentre in astratto si può ipotizzare un certo numero di clienti che acquistano un prodotto omogeneo, pagando un prezzo definito in base alla loro rispettiva elasticità alla domanda del prodotto stesso, in un mercato ferroviario le cose si complicano.¹ Innanzitutto, i prodotti sono più di uno e potremmo addirittura assumere che ogni singolo treno abbia una propria elasticità diversa dalle altre, ad esempio a causa del diverso orario. Ciò implica descrivere in modo molto preciso l'offerta e ottenere un'elasticità per ogni prodotto (e cliente). In secondo luogo: l'elasticità a cosa? Utilizzando i modelli di trasporto possiamo stimare l'elasticità della domanda finale (passeggeri o merci) ai prezzi, ma i TAC non sono pagati direttamente dai passeggeri. I TAC influenzano il comportamento delle imprese ferroviarie (IF), che decidono se gestire il servizio e in che misura trasferire il costo del TAC ai clienti finali. Un terzo problema è che l'elasticità generalmente non è costante per diversi valori di pedaggio²; quindi, ogni applicazione reale richiede di stimare delle *funzioni di elasticità* e non delle semplici elasticità medie.

Il filone della letteratura che si occupa di questo argomento può essere fatto risalire alla liberalizzazione dell'industria ferroviaria britannica (ad esempio Dodgson, 1994) e alla successiva apertura del mercato ferroviario europeo alla concorrenza. In quel periodo diversi paesi hanno introdotto approcci diversi e gli studi si sono concentrati sulla valutazione dell'efficacia delle relative esperienze regolatorie (ad esempio Crozet e Chassagne, 2013, in Francia; Borjesson et al., 2021, in Svezia; Link, 2012, in Germania; Asmari e Ricci, 2024, confrontano le misure per la determinazione del TAC in 18 paesi europei). Solo di recente la letteratura ha discusso la possibilità di utilizzare i pedaggi pagati dalle imprese ferroviarie per risolvere specifiche sfide di gestione dell'infrastruttura (ad es. Armstrong e Preston, 2017, per il caso di studio britannico) o come un modo per trasferire incentivi agli utenti (ad es. Marzano et al., 2018, per il mercato del Sud Italia). Considerando tale corpus di letteratura, molti autori hanno

¹ Si veda a tal proposito la [COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE Orientamenti interpretativi relativi alla fissazione dei canoni per l'utilizzo dell'infrastruttura ferroviaria \(C/2025/2606\)](#).

² Un esempio lampante in tal senso è il possibile diverso comportamento dell'IF ad un'identica variazione del pedaggio, ma di segno diverso. Un operatore potrebbe, ad esempio, decidere di mantenere il medesimo servizio se il pedaggio aumentasse del 10% (riducendo i propri margini), mentre potrebbe aumentare l'offerta se i pedaggi calassero di un analogo 10%.

discussi strumenti per migliorare i metodi di stima dei TAC (ad es. Borjesson et al., 2021; Marzano et al., 2018; Armstrong e Preston, 2017; Crozet e Chassagne, 2013; Link, 2012; Gibson et al., 2002; Dodgson, 1994). Inoltre, non vi è alcuna omogeneità in Europa sull'effettiva applicazione dei criteri di definizione dei pedaggi, che risultano simili, ma non comparabili considerando in modo diverso un mix di costi, prestazioni delle infrastrutture, tassi di utilizzo e capacità e caratteristiche della domanda.

In questo lavoro si descrive la procedura di analisi della sostenibilità del mercato finalizzato alla definizione dei pedaggi del Pacchetto Minimo di Accesso (PMdA) del recente “Sistema tariffario 2025 – 2029”, prodotta dagli autori (RFI, 2024; Beria, 2024b; Ferrari et al., 2024; Nocera et al., 2024) in coerenza con la delibera n.95/2023 dall'Autorità di Regolazione dei Trasporti. Più precisamente, ci occupiamo qui della Componente B, cioè dei mark-up a copertura dei costi ammissibili diversi dai costi diretti, coperti dalla Parte A del TAC (che non è oggetto di questo lavoro).

L'importanza di questo lavoro risiede sia nei metodi utilizzati per stimare il gran numero di funzioni di elasticità necessarie per alimentare il modello di tariffazione, sia nei risultati ottenuti in termini di elasticità del servizio ferroviario.

Il paper è articolato come segue. Nel paragrafo 2 viene descritto l'approccio generale usato per la definizione dei mark-up. Nei paragrafi 3 e 4 vengono, rispettivamente per merci e passeggeri, dettagliati metodi e risultati per la stima delle elasticità dei due segmenti. Il paragrafo 5 descrive infine come tali elasticità siano state usate per la modulazione del pedaggio in funzione delle AtP.

2 Metodologia generale

La definizione della Componente B del TAC secondo i principi riportati nell'introduzione, passa dunque dalla stima delle elasticità della domanda di tracce al prezzo delle tracce stesse. Tuttavia, questo non massimizza necessariamente il welfare, perché la domanda di tracce non coincide con la domanda di trasporto, soprattutto per il segmento passeggeri. Inoltre, è necessario garantire l'equilibrio economico del gestore infrastrutturale (GI), cioè la copertura dei suoi costi ammissibili non coperti dalla Parte A. Questa procedura è descritta più avanti, nel capitolo 5.

Le elasticità sono state stimate adottando approcci differenti per la domanda di merci e passeggeri, come indicato in Figura 1.

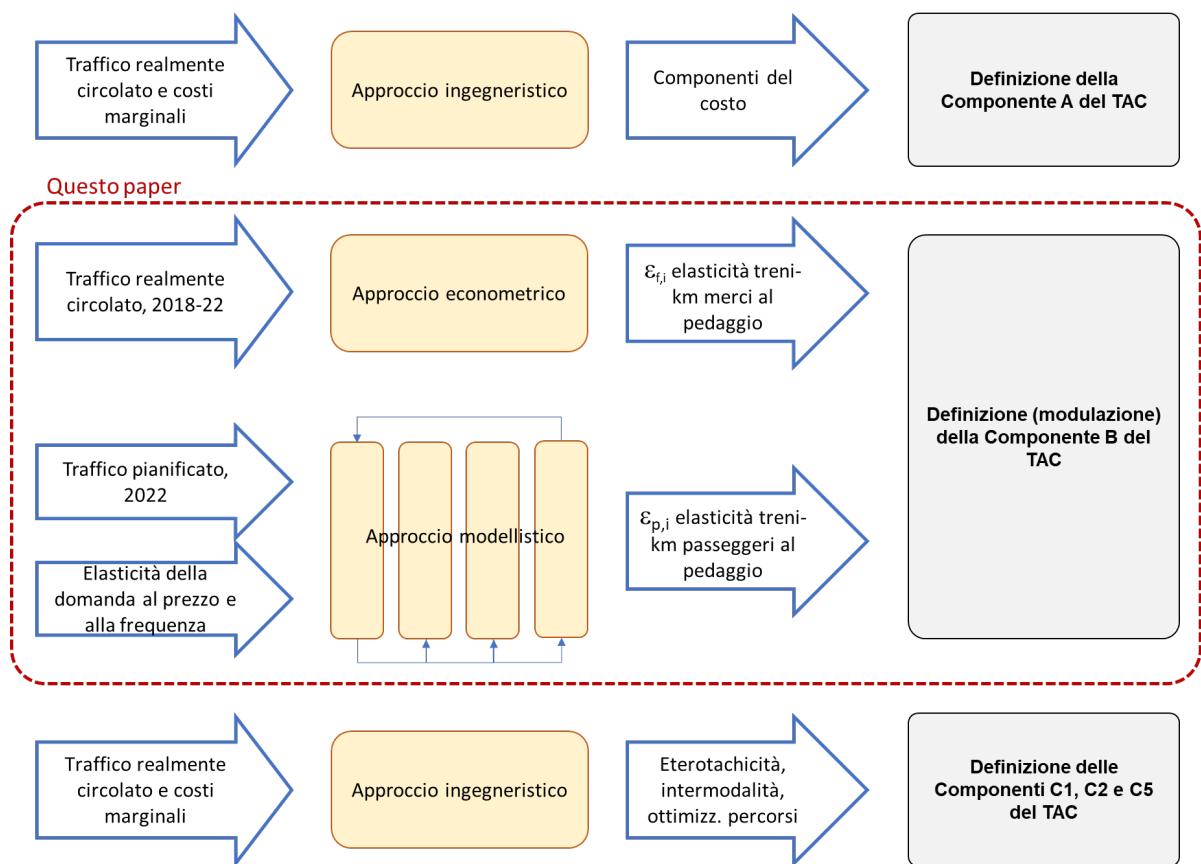


Figura 1. Schematizzazione dell'approccio utilizzato per la definizione dei pedaggi per il traffico merci e passeggeri.

La ragione di un approccio differenziato è nella differente peculiarità dei due diversi sistemi di trasporto. In particolare, nel caso del segmento merci il peso dei treni (una variabile rilevata dal gestore infrastrutturale e dunque a noi nota) può essere visto come una *proxy* della domanda finale e può essere dunque usato come variabile dipendente. Poiché esisteva anche la disponibilità di un set di dati trasversali che include, appunto, la quantità di tonnellate-km e treni-km in condizioni di pedaggio variabile, è stato possibile adottare un approccio econometrico di stima diretta delle elasticità ricercate. Al contrario, non vi è nessuna stima relativa alla domanda finale di trasporto passeggeri disponibile con il livello di disaggregazione richiesto e soprattutto con una adeguata variabilità temporale tale da consentire la costruzione un trattamento statistico. Per questi motivi, per il segmento passeggeri si è seguito un approccio modellistico in cui vengono modellate tutte le fasi della decisione, dalla variazione del pedaggio alla variazione del traffico.

3 Stima dell'elasticità merci

3.1 Modello

I dati relativi ai treni merci circolati sulla rete ferroviaria nel periodo 2018-2022 sono stati utilizzati per evidenziare possibili effetti eterogenei rispetto alle diverse caratteristiche della rete o del traffico. Il set di dati utilizzato rileva per ogni treno merci effettivamente circolato la stazione di origine e di destino, data ed ora di partenza, l'impresa ferroviaria (IF) che svolge il servizio, il peso lordo (inclusivo della motrice), la categoria (rapido internazionale, vuoto, speciale, treni militari, combinati speciali, espressi, etc.), le componenti A e B del TAC, il chilometraggio percorso e il mezzo di trazione. Da queste, si è quindi proceduto a costruire altre informazioni (cfr. Tab. 1)

di tipo dicotomico: se il treno ha circolato (prevalentemente) nelle ore diurne o notturne, in giorni feriali o festivi e se il treno è convenzionale o combinato ed infine se trasporta merci pericolose. Successivamente, in base al percorso si è potuta aggiungere anche l'informazione circa l'utilizzo da parte del treno della rete ad alta prestazione e se tra i punti di origine o destinazione vi fosse un porto o un terminale intermodale interno.

Tabella 1. Dataset utilizzato per il trasporto merci

Nome Variabile	Descrizione Variabile
<i>InTOLLABTrain</i>	Tariffa di accesso treno per tratta relativa (in logaritmica per rappresentare elasticità relativa)
<i>Length</i>	Valore 0 se la tratta è inferiore a 100 o superiore a 800 chilometri e valore pari a 1 se la tratta è compresa tra 100 e 800 chilometri
<i>Train Time</i>	Valore 1 se i treni sulla tratta viaggiano prevalentemente di notte e 0 altrimenti
<i>Quality</i>	Valore 1 quando la linea è considerata ad alta prestazione e 0 altrimenti
<i>Combined Service</i>	Valore 1 in caso di servizio combinato e 0 per i treni convenzionali
<i>Port</i>	Valore 1 se l'origine e/o la destinazione del treno è un porto o un nodo intermodale e 0 altrimenti
<i>Route length</i>	Lunghezza tratta effettiva del treno
<i>Total Tonnes</i>	Tonnellaggio
<i>Dangerous Goods Traffic</i>	Presenza di merci pericolose
<i>Commercial Speed</i>	Velocità commerciale del treno
<i>Weekday/Festive</i>	Giorno della settimana in cui il treno ha viaggiato

A partire da questo insieme di informazioni i dati sono stati riaggregati per le singole coppie O-D, calcolando il valore medio di TAC (nelle sue due componenti A e B) pagato per treno e per tonnellata linda. Questo valore non è costante nel tempo - infatti nel periodo marzo 2020-marzo 2022, quindi all'interno del periodo di tempo considerato da questo studio, il governo attraverso una serie di decreti ha ridotto la componente B pagata dalle IF - e tale variazione permette di stimare l'elasticità della domanda (la produzione chilometrica in questo caso) al pedaggio.

Si è quindi utilizzato il seguente modello di regressione lineare ad effetti fissi per verificare l'esistenza di effetti eterogenei rispetto a determinate caratteristiche dei treni:

$$\ln TrainKm_{i,t} = \varphi_i + \varphi_t + \beta_1 \ln TollABTrain_{i,t} + \beta_2 \ln TollABTrain_{i,t} * Z_i + \beta_3 Z_i + \gamma X_{i,t} + \epsilon_{i,t}$$

Dove $\ln TrainKm$ rappresenta i treni-chilometro circolati sulla linea i al tempo t, con t uguale agli anni 2018-2022, mentre la principale variabile esplicativa - $\ln TollABTrain_{i,t}$ - indica il reale TAC (inteso come somma delle componenti A e B) pagato da ogni IF per ciascun treno effettuato su una specifica linea al tempo t. Z_i rappresenta alternativamente diverse variabili categoriche relative alle seguenti caratteristiche: lunghezza della tratta, qualità della linea (alta o bassa prestazione), tipologia di servizio effettuato (combinato o convenzionale), presenza di porti o nodi intermodali, fascia oraria di circolazione (diurna o notturna). Infine, $X_{i,t}$ rappresenta l'insieme delle variabili di controllo, mentre φ_i e φ_t rappresentano gli effetti fissi.

3.2 Risultati

La Tabella 2 mostra i risultati ottenuti dalla stima del modello di regressione lineare. In particolare, le colonne (1) e (2) evidenziano la presenza di effetti eterogenei nella relazione tra il pedaggio di accesso pagato ($\ln TollABTrain$) e la lunghezza della tratta percorsa (la variabile dummy della lunghezza della tratta assume valore 0 se la tratta è inferiore a 100 o superiore agli 800 chilometri e valore pari a 1 se la tratta è compresa tra i 100 e gli 800 chilometri). Infatti, la

colonna (1) mostra che per tratte comprese tra 100 e 800 Km ad un incremento (decremento) dell'1% nella TAC (espressa in € per treno, in valore costante) corrisponde un decremento (incremento) dei treni-km effettuati pari a circa lo 0,16%, mentre per tratte inferiori ai 100 e superiori agli 800 Km la medesima variazione nella TAC conduce ad una variazione dei treni-km di circa lo 0,3%, come si evince dal fatto che la differenza nella magnitudine del coefficiente risulta pari a -0,134 (significativa all'1%). Tale risultato trova conferma nella colonna (2) dove si riporta l'intero set di controlli utilizzato. In particolare, il modello viene stimato considerando, oltre alle tonnellate complessivamente trasportate e alla lunghezza della tratta (entrambe espresse sia con una dummy sia con una variabile continua), altre caratteristiche rilevanti, come la presenza (assenza) sul treno di merci pericolose, la tipologia di servizio (convenzionale o combinato), la fascia oraria in cui il treno ha viaggiato (prevalentemente di giorno o di notte), la velocità commerciale (che soprattutto sulle brevi e medie distanze incide notevolmente sulla competitività del trasporto ferroviario rispetto al trasporto su strada) e il giorno della settimana in cui i treni hanno iniziato e concluso il viaggio (feriale/festivo). Anche in questo caso, la variazione dell'1% della TAC (€/treno) porta a una variazione di segno opposto dei treni-km e la variazione è maggiore (di circa lo 0,13%) nel caso di tratte inferiori a 100 Km o più lunghe di 800 Km.

Inoltre, nelle colonne (3) e (4) il termine *InTollABTrain* viene fatto interagire con *Train_Time*, una variabile dummy che assume valore 1 se i treni sulla tratta viaggiano prevalentemente di notte e 0 altrimenti. I risultati della colonna (3) mostrano che, quando i treni viaggiano prevalentemente di notte, una variazione dell'1% della TAC (€/trenokm) porta a una variazione di segno opposto di *InTollABTrain*, pari a circa lo 0,18%, mentre per i treni che viaggiano prevalentemente di giorno la variazione è solo leggermente superiore (circa -0,20%). La differenza tra i due coefficienti, pari a circa 0,03, è statisticamente significativa al livello del 10%. Questi risultati sono confermati anche dopo aver incluso l'intero set di variabili di controllo (colonna (4)).

Nelle colonne (5) e (6) la variabile indipendente principale viene fatta interagire con la variabile dummy “Qualità” che assume valore 1 quando la linea è considerata ad alta prestazione e 0 altrimenti. I risultati mostrano che l'elasticità è maggiore nel caso di linee ad alte prestazioni: infatti, in entrambe le specificazioni, un aumento (diminuzione) dell'1% della TAC per treno porta a una diminuzione (aumento) dei treni-chilometro dello 0,28%, ossia lo 0,10% in più rispetto alle linee meno performanti. Nelle colonne (7) e (8) vengono analizzati i possibili effetti eterogenei in base al tipo di servizio. Infatti, l'interazione è costruita utilizzando la dummy “Servizio combinato” che assume valore 1 in caso di servizio combinato e 0 per i treni convenzionali. I risultati di questa analisi mostrano che un aumento (diminuzione) dell'1% della TAC per treno porta a una diminuzione (aumento) di treni-km dello 0,19%-0,20% nel caso del traffico convenzionale, mentre la variazione diminuisce di circa lo 0,04% per le tratte con servizio combinato.

L'ultimo effetto eterogeneo viene esplorato nelle colonne (9) e (10), dove l'interazione tiene conto della variabile dummy “Porto”, che assume valore 1 se l'origine e/o la destinazione del treno è un porto o un nodo intermodale. In questo caso la differenza tra i due coefficienti è molto piccola e non è statisticamente significativa.

Tabella 2. Relazione tra pedaggio (€/treno) e treno-chilometro: effetti eterogenei – lunghezza, tempo di percorrenza, qualità della rete, tipo di traffico e presenza di porti

<i>InTollABTrain*Quality</i> = 1											
<i>InTollABTrain*Combined Service</i> = 1											
<i>InTollABTrain*Port</i> = 1											
Year FE	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Unit FE	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Lunghezza tratta	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
<i>In Tonnellate lorde</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Lunghezza dummy	✓	✓		✓		✓		✓		✓	
Merci pericolose		✓		✓		✓		✓		✓	
Treno Combinato		✓		✓		✓		✓		✓	
Giorno / Notte		✓		✓		✓		✓		✓	
Velocità Commerciale		✓		✓		✓		✓		✓	
Feriale / Festivo		✓		✓		✓		✓		✓	
Osservazioni	20.801	20.801	20.801	20.801	20.801	20.801	20.801	20.801	20.801	20.801	
R ²	0,757	0,763	0,757	0,761	0,756	0,761	0,758	0,761	0,755	0,76	
Numero ID	12.332	12.332	12.332	12.332	12.332	12.332	12.332	12.332	12.332	12.332	

Nel complesso, i risultati mostrano che per le tratte molto brevi (<100 Km) o molto lunghe (>800 km), l'elasticità di *InTrainKm* alla TAC pagata da ogni treno è maggiore rispetto alle tratte di lunghezza compresa tra 100 e 800 Km, e ciò è probabilmente dovuto al fatto che subiscono una maggiore concorrenza da parte di altri modi di trasporto, in particolare dalla modalità stradale per quanto concerne le tratte brevi. Inoltre, le tratte su cui circolano i treni notturni sono meno sensibili alla variazione della TAC rispetto alle tratte percorse da treni che circolano nella fascia oraria diurna, e ciò si spiega sia con il fatto che i treni notturni, nell'ambito della struttura tariffaria 2018-22, sono quelli che pagano un pedaggio unitario più basso (componente B), sia con il fatto che la concreta realizzabilità di treni notturni dipende anche dagli orari di apertura dei terminal (che normalmente non operano h24), riducendo di fatto l'impatto della componente di pedaggio. Inoltre, l'elasticità dei treni-chilometro alla TAC sembra essere più elevata per i treni che utilizzano linee ad alte prestazioni, e ciò può essere interpretato alla luce del fatto che una diminuzione del prezzo avrebbe un maggiore impatto sull'aumento dei treni-chilometro sulle linee considerate qualitativamente migliori.³

Infine, la minore elasticità associata ai treni combinati può essere attribuita alla maggiore complessità del trasporto combinato, e quindi a una risposta più lenta da parte delle IF alle variazioni della TAC. Vale inoltre la pena di notare che tutti i risultati sono confermati anche quando si utilizza come variabile dipendente principale la TAC per treno non corretta per l'inflazione.

In conclusione, per la modulazione dei pedaggi vengono utilizzate le elasticità della variabile *TollABTrain* trovate nei modelli 3 e 4 per modulare i nuovi binami in ragione del giorno e ora di partenza e arrivo dei treni; i risultati dei modelli 5 e 6 sono stati invece usati per modulare la TAC rispetto alla qualità prestazione della rete percorsa da ogni singolo treno.

³ Si segnala che la risposta è a una riduzione del pedaggio. Non è escluso un comportamento asimmetrico in caso di aumento del pedaggio e cioè una maggiore rigidità della domanda ad aumenti di prezzo laddove le prestazioni sono migliori, sui cui comunque è stato definito un pedaggio più alto, in quanto la Delibera 95/23 dell'ART prescriveva anche una modulazione del prezzo per categoria di rete in base alle performance. Il pedaggio più alto è applicabile solo laddove l'intero percorso sia a prestazioni elevate (in termini di massa assiale, sagoma e modulo).

4 Stima dell'elasticità passeggeri

4.1 Modello

In assenza di dati osservati di variazione di pedaggi e quantità, per il segmento passeggeri si procede per via interamente modellistica, come illustrato in Figura 2. Si tratta di un processo per passaggi intermedi, che collega la variazione dei pedaggi alla variazione di domanda (finale e intermedia) e ai ricavi del gestore.

Al tempo $t=1$, il GI varia il pedaggio di una traccia (crescente o decrescente). Ciò determina una variazione dei costi delle imprese in base a quanto il pedaggio pesa sui costi totali. Da questo passaggio in poi, ogni IF può reagire variando (ma anche *non* variando) uno qualsiasi dei parametri operativi: il prezzo ai clienti finali, la frequenza e la capacità dei convogli che insieme aumentano o riducono la produzione in treni-km, la qualità del servizio, ecc. In linea di principio, qualsiasi modifica dell'offerta può determinare una variazione dei costi unitari del treno, ma avremmo bisogno di funzioni di costo molto dettagliate e realistiche che non sono disponibili.

Analogamente, qualsiasi variazione dell'offerta può indurre una variazione della domanda dei passeggeri finali. Ad esempio, una riduzione delle frequenze ridurrà il numero di passeggeri a favore di altri modi o rotte. Tale variazione della domanda non viene presa passivamente dall'IF, che può valutare se è meglio per sé stessa – ad esempio – aumentare iterativamente i prezzi o ridurre la frequenza. Tutto questo appartiene al dominio del comportamento delle imprese ferroviarie, ma ha chiaramente conseguenze sui ricavi del GI: mentre una variazione delle tariffe ferroviarie potrebbe non modificare la produzione di treni-km e quindi risultare in un aumento netto dei ricavi della rete, una strategia di riduzione della frequenza avrebbe invece anche un impatto sui ricavi della rete. Per questo motivo, l'output dell'intero modello di IF è la variazione dell'offerta conseguente alla variazione dei pedaggi.

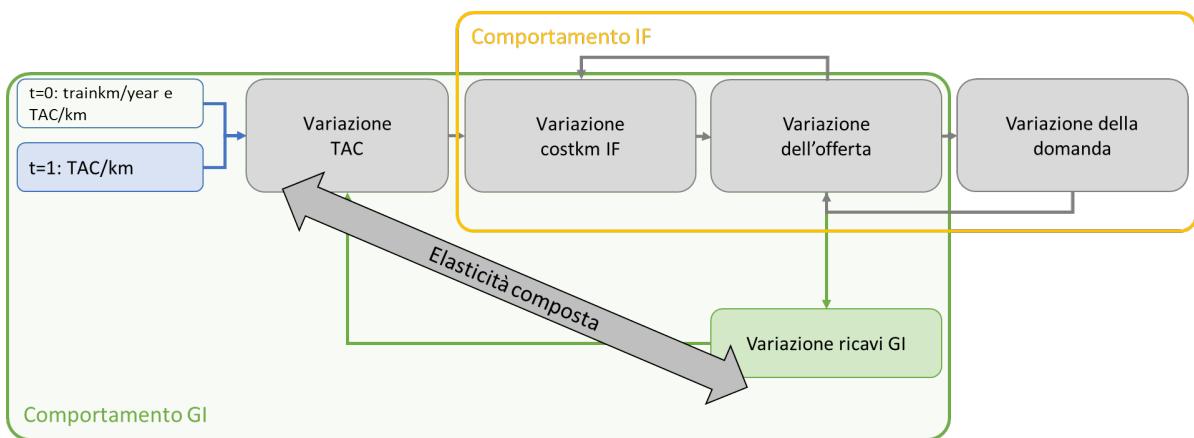


Figura 2. Stima dell'elasticità composita del segmento passeggeri.

Una volta ottenuta la variazione dell'offerta, abbiamo anche la variazione dei ricavi del gestore infrastrutturale dovuta alla variazione del pedaggio. Ciò può essere rappresentato in modo sintetico attraverso un'elasticità media dei ricavi rispetto alla variazione di pedaggio. Vale la pena ricordare che l'elasticità, in realtà, è una *funzione* del livello dei pedaggi unitari, non una costante. Poiché per l'applicazione in oggetto abbiamo bisogno di un valore continuo, creiamo numericamente una funzione continua di elasticità medie. Inoltre, in linea di principio, l'elasticità non è nemmeno simmetrica: una riduzione del pedaggio può avere un coefficiente di elasticità totalmente diverso da quello di un aumento, perché la domanda risponde in modo asimmetrico al segnale di prezzo.

L'adozione di un approccio modellistico ci permette di essere estremamente dettagliati. Tutte le simulazioni sono state effettuate a livello di "linea", cioè un gruppo di "missioni" ferroviarie simili (sequenze di fermate) durante il giorno. Abbiamo identificato 530 linee che descrivono l'intero traffico ferroviario italiano e per ogni linea abbiamo stimato una funzione di costo semplificata, valori di elasticità della domanda ai prezzi e alla frequenza (attraverso un modello di trasporto su scala nazionale, chiamato i-TraM) e un modello comportamentale che descrive come l'IF adatti l'offerta alla domanda e alle variazioni dei costi.

4.2 Risultati

Per quanto riguarda il segmento passeggeri, la seguente Tabella 3 raccoglie i risultati finali dei valori di elasticità, raggruppati secondo i binomi del precedente periodo regolatorio. Le tre elasticità rispetto al pedaggio sono rispettivamente i ricavi del gestore (RRFI), il numero di passeggeri-km (PAX) e i treni-km prodotti (TKM).

Tabella 3. Riepilogo delle elasticità derivate al TAC dei ricavi (RRFI), treni-km (TKM), paxkm (PAX), per variazioni del TAC +10% e -10%

Elasticità derivate ⁴	+10% pedaggio			-10% pedaggio		
	e_RRFI	e_PAX	e_TKM	e_RRFI	e_PAX	e_TKM
1.2 OA Nazionali - Premium Top	0,902	-0,179	-0,089	0,982	-0,124	-0,020
1.6 OA Nazionali - Premium P-base	0,820	0,777	-0,164	0,977	-0,860	-0,026
1.8 OA Nazionali - Premium P-light	0,672	1,159	-0,299	0,994	-1,333	-0,006
1 OA Nazionali - Premium	0,845	0,309	-0,141	0,982	-0,523	-0,020
3 OA Nazionali - Basic	0,809	1,387	-0,173	0,965	-1,467	-0,039
4.1 OSP - LP - Notte	0,990	0,295	-0,009	0,997	-0,323	-0,003
4.2 OSP - LP - Giorno	0,987	0,669	-0,012	0,999	-0,723	-0,002
4 OSP - LP	0,988	0,549	-0,011	0,998	-0,594	-0,002
5.1 OSP - REG - Nodo Hub-Sprint	0,649	-0,055	-0,319	0,953	-0,008	-0,052
5.2 OSP - REG - Nodo Hub	0,716	-0,055	-0,258	0,943	-0,012	-0,064
5.4 OSP - REG - Nodo Ring	0,760	-0,042	-0,218	0,938	-0,012	-0,069
5.6 OSP - REG - No Nodo	0,824	-0,018	-0,160	0,935	-0,039	-0,072
5 OSP - REG	0,755	-0,039	-0,223	0,941	-0,022	-0,066

Concentrandosi sui treni-km, il segmento più rigido è quello OSP nazionale (4.1 IC diurni e 4.2 IC notturni), con un'elasticità media all'aumento dei pedaggi di 0,011, a significare che per un aumento del 10% dei pedaggi, i treni-km diminuiscono di appena lo 0,11%. Il caso opposto di riduzione dei pedaggi risulta ancora più rigido. L'ovvia conseguenza è che qualsiasi variazione dei pedaggi si traduce una analoga variazione dei ricavi del gestore.

Il segmento di mercato Premium, che comprende i servizi AV, ha un'elasticità dei treni-km che va da -0,089 a -0,341, il che significa che un aumento della TAC del +10% determina un taglio limitato dei treni-km dell'1-3%. Poiché il taglio è inferiore all'aumento unitario stesso, il payoff per il gestore è positivo, trasformando in ricavi aggiuntivi una frazione che va dal 67% al 90% dell'aumento unitario. Il caso opposto della riduzione del pedaggio è quasi totalmente rigido: i treni-km non aumenterebbero, anche per i vincoli di capacità della rete AV, ma potrebbero tradursi in prezzi inferiori e maggiori riempimenti. I servizi convenzionali (segmento Basic), così

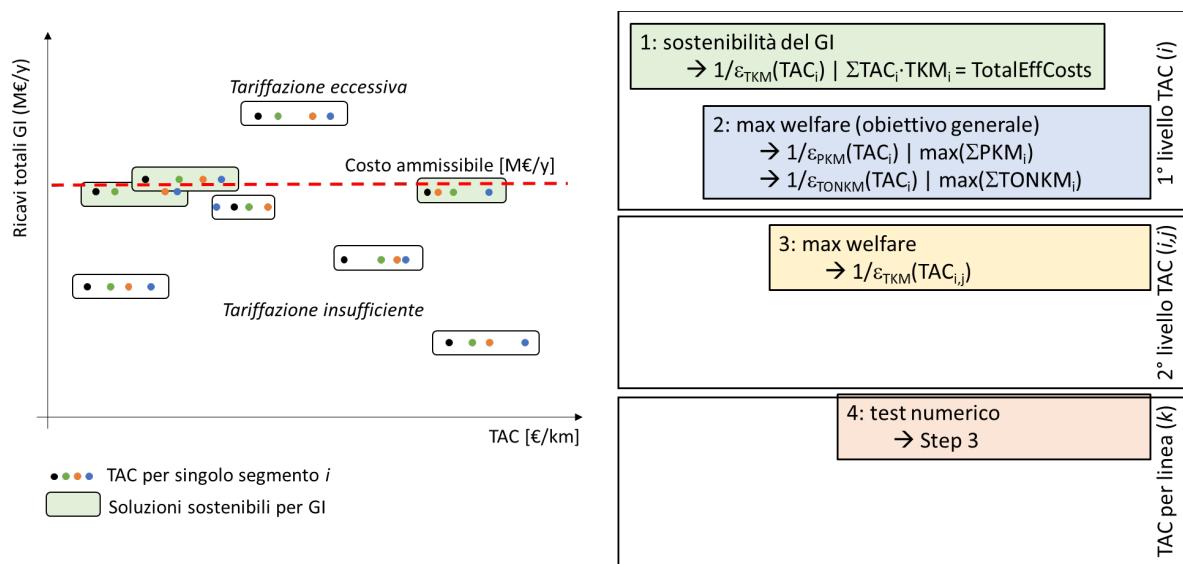
⁴ I segmenti di mercato in tabella fanno riferimenti alla segmentazione di mercato vigente nel periodo di osservazione; dal 2026 i segmenti di mercato variano in base alla proposta tariffaria 2025-29

come i segmenti P-Base e P-Light, sono leggermente più elastici all'aumento della TAC rispetto all'AV e molto elastici al prezzo. Infine, il segmento regionale è estremamente rigido alla diminuzione dei pedaggi (+0,5-0,7% per un TAC del -10%) a causa del basso rapporto costi/ricavi e delle difficoltà generali dei governi regionali ad aumentare la contribuzione. Le stesse ragioni suggeriscono che gli aumenti della TAC potrebbero generare tagli all'offerta (da -1,5 a -3%) che compenserebbero parzialmente l'aumento atteso dei ricavi (+da 6,5 a +8,5% di aumento dei ricavi del gestore per un aumento dei TAC del +10%). L'effetto complessivo sui passeggeri è invece trascurabile.

5 La modulazione della Componente B

Note le elasticità, l'approccio usato in (RFI, 2024) per la definizione del set ottimale di pedaggi che risponde sia alle prescrizioni della norma che agli obiettivi aziendali di ottimizzazione della capacità è riassumibile come segue (Figura 3):

1. i costi ammissibili (*Cnt*, *Efficient total cost*) vengono suddivisi omogeneamente per le percorrenze totali previste nel periodo regolatorio, ottenendo il pedaggio medio unitario (pari a 3,66 euro/km nel periodo in oggetto).
2. Il pedaggio medio viene modulato tra i segmenti di primo livello considerando l'elasticità ai treni-km $\varepsilon_{TKM}(tac)$ di ciascun segmento⁵. Utilizzando le cornici di variabilità definite alla Misura 31.2, si ottengono infinite soluzioni ammissibili, cioè diverse combinazioni di pedaggi medi per segmento primario. Esse sono rappresentate in figura dai gruppi di punti colorati (i livelli di pedaggio per segmento) racchiusi in un cartiglio (una possibile combinazione tariffaria), colorato in verde se garantisce l'equilibrio dei costi.
3. Tra le soluzioni individuate, si sceglie quella che garantisce la *welfare maximisation*, ovvero che determina la massimizzazione della domanda finale (passeggeri-km e tonnellate-km). I valori di elasticità della domanda finale rispetto al pedaggio $\varepsilon_{PKM}(tac)$ di ciascun segmento sintetizzano sia l'efficacia del servizio ferroviario sia il raggiungimento degli obiettivi ambientali e, più in generale, di riduzione delle esternalità negative;
4. Una volta fissate le tariffe di primo livello, quelle di secondo livello sono derivate dai valori di elasticità ai treni-km $\varepsilon_{TKM}(tac)$, secondo una legge di proporzionalità inversa. Tale operazione restituisce una differenziazione tariffaria che riflette la loro maggiore (o minore) disponibilità a pagare rispetto al livello attuale (*ability to pay 'more'*).



⁵ Da segnalare che l'obiettivo di massimizzazione della domanda di tracce secondo l'elasticità ai treni-km $\varepsilon_{TKM}(tac)$ è soggetto al vincolo di saturazione della linea.

Figura 3. Schematizzazione dell'algoritmo proposto per la definizione dei prezzi (fonte: Beria, 2024b)

Nel caso reale il GI ha considerato i segmenti di mercato di primo livello di cui alla Misura 24 ed analizzato 44.983 combinazioni tariffarie ottenute fissando un passo di campionatura in cui ciascun prezzo di ciascun segmento di mercato varia da zero alle cornici di variabilità massima. Per ogni combinazione tariffaria (P_1, P_2, P_3, P_4, P_5) sono dedotti i valori di $\varepsilon_{TKM}(tac)$ e $\varepsilon_{PKM}(tac)$ dalle curve di elasticità ed i conseguenti volumi e ricavi finali. In Figura 4 sono rappresentate, a titolo esemplificativo, tali combinazioni analizzate in un diagramma Volumi-Ricavi in cui ogni punto rappresenta una combinazione di tariffe. L'area descritta dai punti è l'insieme di soluzioni che corrispondono a combinazioni di tariffe ammissibili secondo la norma.

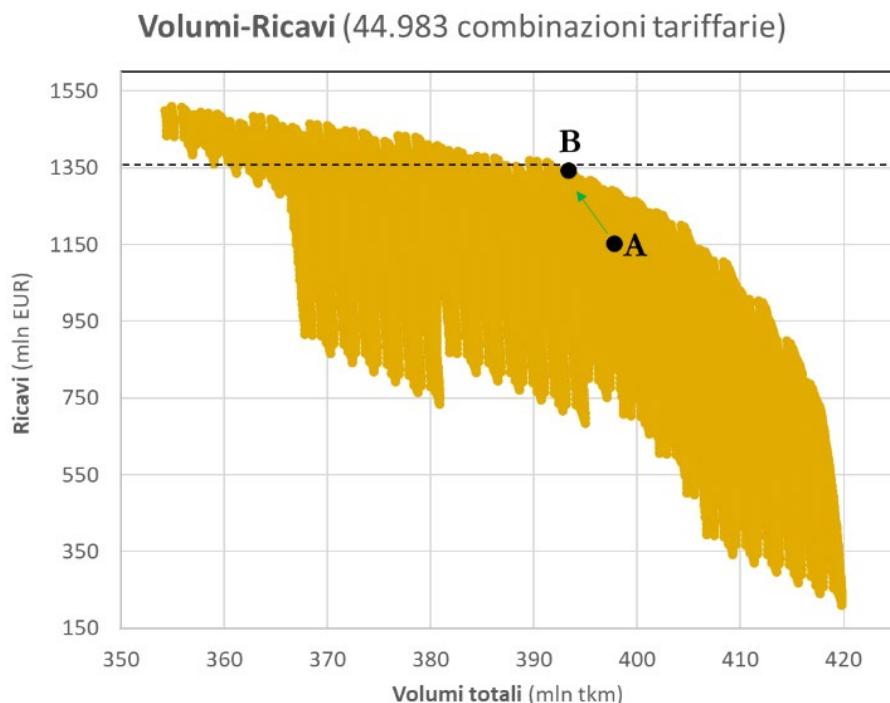


Figura 4. Combinazioni tariffarie analizzate. Fonte: RFI, 2024

Il punto A rappresenta lo stato attuale, ovvero la copertura di costo ottenuta dalla combinazione volumi-ricavi tendenziali del periodo 2025-2029. La linea tratteggiata rappresenta il livello di costo medio del periodo 25-29 attualizzato all'anno base 2023. I punti al disotto rispettano i vincoli della delibera ART, ma non coprono i costi. I punti al disopra, invece, genererebbero un profitto in contrasto con il vincolo di pareggio. I punti lungo la retta sono dunque le limitate soluzioni che, oltre ad essere ammissibili, garantiscono l'equilibrio economico del gestore di rete e possono essere scelte liberamente.

Per la scelta di quale soluzione adottare, il criterio utilizzato non è stato semplicemente quello della massimizzazione dei volumi delle percorrenze, ma piuttosto quello della *massimizzazione della domanda finale*, cioè i passeggeri-km e le tonn-km, quale criterio meglio rispondente ad una massimizzazione del surplus sociale. In questo modo è stato dunque individuato il punto B, che costituisce il livello di pedaggio obiettivo.⁶

⁶ Sebbene apparentemente nella figura sembri coincidere con il $\max(trenikm)$, la soluzione scelta è in realtà quella di $\max(domanda)$.

Tabella 4. Risultati: modulazione importi medi unitari (IMU) pedaggi periodo regolatorio 25-29

Importi Medi Unitari pedaggio (€/km)	2025	2026	2027	2028	2029	Media 25-29
IMU Medio	3,48	3,44	3,55	3,80	4,00	3,66
<i>Open Access - Nazionali - Premium</i>	5,94	6,19	6,39	6,97	7,28	6,58
<i>Open Access - Nazionali - Basic</i>	4,04	4,15	4,22	4,43	4,64	4,31
<i>OSP - LP</i>	2,99	3,11	3,21	3,35	3,53	3,24
<i>OSP - REG</i>	2,80	2,78	2,84	2,95	3,15	2,91
<i>Merci</i>	2,43	1,64	1,65	1,76	1,83	1,85
<i>Tecnici</i>	1,76	1,64	1,65	1,76	1,83	1,73

In conclusione, la Tabella 4 riporta i pedaggi medi per il periodo regolatorio, frutto della procedura sopra descritta.

6 Conclusioni

L'approccio utilizzato per la stima della componente B da parte del GI italiano, presentato in questo lavoro, presenta alcune novità rilevanti rispetto ad applicazioni precedenti. Oltre a presentare stime dettagliate di elasticità per i diversi segmenti, assume che le IF reagiscano alle variazioni di pedaggio con un comportamento complesso, non limitato ad una deterministica variazione di offerta. Inoltre, la procedura di ottimizzazione ridefinisce e supera la regola di Ramsey-Boiteaux, proponendo una definizione della tariffa secondo la massimizzazione, in primo luogo, della domanda finale e solo secondariamente delle percorrenze.

L'approccio alla modulazione delle tariffe (Capitolo 5), una volta disponibili le elasticità alla variazione di pedaggio della domanda finale e delle percorrenze, è estendibile ad altri contesti. Il punto centrale relativo alla trasferibilità è dunque quello della stima delle elasticità stesse. Tuttavia, nel presente contributo sono stati utilizzati due approcci sostanzialmente differenti per tale stima. Il primo è di natura econometrica, da applicarsi ove siano contemporaneamente disponibili serie storiche per singolo treno e siano occorse variazioni di prezzo entro l'orizzonte di analisi. Il secondo di natura modellistica, supplisce alla mancanza di dati o di variazioni, costruendole artificialmente con modelli, ma richiede naturalmente la disponibilità di tali strumenti.

Attribuzioni

Il paper è l'esito del progetto di ricerca dal titolo "Analisi di sostenibilità del mercato ferroviario finalizzata alla definizione della componente B del pedaggio dei segmenti di mercato, di cui alla Delibera ART n.96/2015" (CIG 9660590B0E, Rete Ferroviaria Italiana S.P.A), responsabile scientifico prof. Paolo Beria, e del successivo lavoro di Rete Ferroviaria Italiana confluito nel documento RFI (2024).

Relativamente ai contenuti del paper, il capitolo 1 è attribuibile a Paolo Beria e Federico Mosci, i capitoli 2 e 4 sono attribuibili a Paolo Beria. Il capitolo 3 è attribuibile a Claudio Ferrari, Alessio Tei e Marta Santagata. Il capitolo 5 è attribuibile a Francesca Ciuffini, Giulio Sitongia, Federico Coltell F. e Francesco Calabrese, con contributi di Paolo Beria (criteri) e Silvio Nocera e Federico Cavallaro (definizione scenari e trend).

Riferimenti bibliografici

Armstrong, J. – Preston, J. (2017). Capacity utilisation and performance at railway stations, *Journal of Rail Transport Planning and Management*, 3, pp. 187-205.

ART (2023). *Revisione dei criteri per la determinazione dei canoni di accesso e utilizzo dell'infrastruttura ferroviaria approvati con la Delibera n. 96/2015 ed estensione e specificazione degli stessi per le reti regionali interconnesse.* Delibera ART n.95/2023 del 31 maggio 2023

Asmari, P. - Ricci, S. (2024) Confronto tra i meccanismi di pedaggio e loro impatto sull'uso dell'infrastruttura ferroviaria, *Ingegneria Ferroviaria*, 6, pp. 483-499

Beria, P. (2024a) Train Access Charges and Capacity Management, *Network industries Quarterly*, 26/1, pp. 12-16

Beria, P., (2024b). *Analisi di sostenibilità del mercato ferroviario finalizzata alla definizione della componente B del pedaggio dei segmenti di mercato. Evaluation of the Ability to Pay of passengers' segment and simulation of pricing scenarios.* Prepared for: RFI (2024), *Sistema tariffario PMdA di Rete Ferroviaria Italiana per gli anni 2025-2029.* Luglio 2024. RFI, Roma.

Borjesson, M. - Rushid A. - Liu, C. (2021). The impact of optimal rail access charges on frequencies and fares. *Economics of Transportation*, 26, pp. 100217.

Crozet, Y. - Chassagne, F. (2013). Rail access charges in France: Beyond the opposition between competition and financing. *Research in Transportation Economics*, 39, pp. 247-254.

DB Netz (2018). *DB Netz AG Network Statement 2018. Annex 6.1.*

Decreto Legislativo 15 luglio 2015, n. 112 "Attuazione della direttiva 2012/34/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 21 novembre 2012, che istituisce uno spazio ferroviario europeo unico (Rifusione)"

Dodgson, J (1994). Access pricing in the railway system, *Utilities Policy*, 4, pp. 205- 213.

Ferrari, C., Tei, A., Santagata, M. (2024). *On the ability to pay of railway freight transport demand.* Prepared for: RFI (2024), *Sistema tariffario PMdA di Rete Ferroviaria Italiana per gli anni 2025-2029.* Luglio 2024. RFI, Roma.

Gibson, S. - Cooper, G. - Ball, B. (2002). Developments in transport policy: The evolution of capacity charges on the UK rail network, *Journal of Transport Economics and Policy*, 36, pp. 241-354.

Link, H. (2012). Unbundling, public infrastructure financing and access charge regulation in the German rail sector, *Journal of Rail Transport Planning and Management*, 2, pp. 63-71.

Marzano, V. - Tocchi, D. - Papola, A - et al. (2018). Incentives to freight railway undertakings compensating for infrastructural gaps: Methodology and practical application to Italy, *Transportation Research Part A*, 110, pp. 177-188.

Nocera, S., Cavallaro, F., Pozzer, G. (2024). Analisi e definizione di scenari esogeni e trend del mercato ferroviario per il periodo 2024-2028. Prepared for: RFI (2024), *Sistema tariffario PMdA di Rete Ferroviaria Italiana per gli anni 2025-2029.* Luglio 2024. RFI, Roma.

RFI (2024). *Sistema tariffario PMdA di Rete Ferroviaria Italiana per gli anni 2025-2029: Documento metodologico per la determinazione dei corrispettivi richiesti il PMdA, per il periodo tariffario 2025-2029.* Luglio 2024. RFI, Roma

UE (2012). *Direttiva 2012/34/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 21 novembre 2012 che istituisce uno spazio ferroviario europeo unico (rifusione).*