



## L'analisi delle politiche di pricing in un contesto urbano con un approccio multimodale e multiutente

Roberta Ciccarelli, Luca D'Acerno,  
Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti, Università di Napoli "Federico II"  
[roberta.ciccarelli@unina.it](mailto:roberta.ciccarelli@unina.it), [luca.dacerno@unina.it](mailto:luca.dacerno@unina.it)

Mariano Gallo,  
Dipartimento di Ingegneria, Università del Sannio  
[gallo@unisannio.it](mailto:gallo@unisannio.it)

Bruno Montella,  
Dipartimento di Ingegneria dei Trasporti, Università di Napoli "Federico II"  
[bruno.montella@unina.it](mailto:bruno.montella@unina.it)

**Abstract:** *La necessità di porre un rimedio agli elevati livelli di traffico, ai notevoli danni ambientali nonché al forte squilibrio della ripartizione modale in ambito urbano richiede l'utilizzo di misure che promuovano un uso più efficiente e sostenibile dei sistemi di trasporto, come le politiche di Travel Demand Management (TDM). Tali politiche comprendono un vasto campo di misure che vanno dal potenziamento dei sistemi di trasporto alternativi all'auto, quali il trasporto pubblico, all'introduzione di politiche di pricing. Tra tutte le misure di tipo TDM, sicuramente le politiche di pricing risultano essere le più radicali e le più discusse per il forte impatto sull'opinione pubblica. Un modo per poter superare i problemi di accettabilità connessi all'introduzione di una tariffa in ambito urbano è utilizzare una parte dei ricavi da traffico per migliorare le prestazioni del sistema di trasporto pubblico. L'efficacia di una tale strategia è condizionata dalle caratteristiche del trasporto collettivo a servizio di una determinata area urbana, in particolare dal grado di densità dell'offerta all'interno del sistema in esame. L'obiettivo di tale memoria è analizzare l'impatto di alcune politiche di pricing in un sistema di trasporto multimodale e multiutente con domanda elastica in cui l'accessibilità relativa tra le diverse zone risulta fortemente variabile e non tutte le coppie OD riescono a risentire dei benefici derivanti dal potenziamento del trasporto pubblico.*

**Keywords:** road pricing, assegnazione multimodale e multiutente con domanda elastica, utilizzo dei ricavi da traffico derivanti dalla tariffazione.

### 1. Introduzione

L'interazione tra domanda di mobilità e offerta di trasporto conduce il sistema di trasporto in una condizione di equilibrio, nota come equilibrio dell'utente (*UE – User Equilibrium*). E' ampiamente riconosciuto in letteratura (Beckmann *et al.*, 1956) che questa condizione non è efficiente da un punto di vista economico, dove l'efficienza economica è caratterizzata dalla minimizzazione del costo totale, nel caso di domanda rigida, o dalla massimizzazione del surplus dell'utente, nel caso di domanda elastica. La discrepanza tra l'equilibrio dell'utente e la condizione di efficienza economica<sup>1</sup> deriva dal fatto che un utente addizionale che si inserisce in una corrente veicolare percepisce un costo medio che non tiene conto degli incrementi dei costi imposti agli altri utenti della strada. In altre parole, l'utente, nell'effettuare le proprie scelte di mobilità, massimizza la

<sup>1</sup> La condizione di efficienza economica è nota in letteratura come ottimo di sistema (*SO – System Optimum*) o equilibrio del sistema (*SE – System Equilibrium*), a seconda che l'obiettivo della progettazione sia la minimizzazione del costo totale o la massimizzazione del surplus sociale.



propria utilità, ma non quella sociale. La condizione di efficienza economica verrebbe raggiunta se gli utenti percepissero il costo marginale sociale e non il costo medio. Le suddette condizioni suggeriscono che l'utilizzo efficiente delle strade può, almeno in teoria, essere ottenuto attraverso una configurazione di equilibrio in cui adeguate tasse o pedaggi siano imposti sull'uso delle strade congestionate. Questi pedaggi, detti *pedaggi di efficienza*, esprimono l'eccesso del costo sociale rispetto al costo privato causato da un utente addizionale. In letteratura una condizione in cui tutti i prezzi sono uguali ai costi marginali è nota come *first-best condition*. Tuttavia, a causa delle distorsioni del mercato, non è sempre possibile determinare il prezzo di un bene, si parla allora di *second-best solutions* (Rouwendal e Veroeff, 2006). In realtà, non sono soltanto motivazioni di natura economica che rendono irrealizzabile l'implementazione di soluzioni first-best in una rete di trasporto reale, ma esistono una serie di barriere e vincoli da dover superare. Se i vincoli di natura tecnica e tecnologica possono oggi ritenersi facilmente superabili dato lo stato di avanzamento raggiunto nel settore del pagamento dei pedaggi, restano ancora dubbi e incertezze riguardo ai vincoli legali, istituzionali e di accettabilità sociale. Pertanto, le soluzioni tipicamente implementate nei sistemi reali sono quelle di tipo second-best, che prevedono l'imposizione dei pedaggi solo su un numero limitato di archi (politiche di parking pricing, cordon pricing ed area pricing).

Le politiche di pricing sono in quadrate come politiche di gestione della domanda di mobilità (*TDM – Travel Demand Management*); il vantaggio offerto dalle politiche di pricing è che queste non solo promuovono un uso più efficiente della capacità stradale, ma generano una risorsa economica che può essere utilizzata a supporto delle infrastrutture e dei servizi alternativi all'auto privata. Diversi autori hanno studiato il problema dell'utilizzo dei ricavi da traffico derivanti dall'introduzione di una tariffa. Ferrari (2006) conclude che, da un punto di vista strettamente economico, non appare conveniente impiegare il ricavo del road pricing per finanziare il trasporto pubblico, in particolare nelle città di piccole dimensioni, quando l'alternativa alle auto private è una rete di autobus che condivide con esse le stesse strade. Gallo *et al.* (2006) hanno dimostrato che in una rete fortemente congestionata, se il 50% dei ricavi derivanti dalla tariffazione è utilizzata per potenziare il trasporto pubblico, l'introduzione di un'idonea politica di pricing ha il duplice effetto di migliorare le condizioni sia del trasporto privato che del trasporto pubblico. Eliasson e Mattsson (2006) affermano che i più importanti fattori che influenzano gli impatti provocati dall'introduzione del road pricing sono la configurazione iniziale dei flussi ed il modo in cui vengono utilizzati i ricavi. In particolare, se i ricavi vengono utilizzati per potenziare il trasporto pubblico, il beneficio derivante da tale strategia sarà percepito maggiormente dagli utenti a basso reddito e dalle donne.

Sapendo che l'utilizzo dei ricavi da traffico rappresenta uno dei nodi cruciali della tariffazione del sistema di trasporto privato, l'obiettivo della presente memoria è analizzare l'impatto di alcune politiche di pricing su un sistema di trasporto multimodale e multiutente con domanda elastica in cui le infrastrutture ed i servizi di trasporto pubblico sono distribuiti sul territorio in maniera non uniforme. Nel paragrafo successivo sono riportati i dettagli del lavoro proposto.

## 2. Modello di calcolo dei pedaggi e sue applicazioni

Il calcolo dei pedaggi può essere condotto attraverso un *Network Design Problem* (NDP) in un contesto multiutente e multimodale con domanda elastica, con cui si ricerca il valore ottimo delle variabili di progetto che minimizzi una funzione obiettivo. In particolare, il valore ottimo delle tariffe che garantisce un utilizzo efficiente del sistema di trasporto può essere ottenuto risolvendo il seguente problema di ottimizzazione vincolato:

$$[\hat{y}, \hat{Y}] = \arg \min_{y \in S_y; Y \in S_Y} Z(y, Y, \bar{f}_1^1, \dots, \bar{f}_i^k, \dots, \bar{f}_n^m) \quad (1)$$

soggetto a:

$$[\bar{f}_1^1, \dots, \bar{f}_i^k, \dots, \bar{f}_n^m] = A(y, Y, \bar{f}_1^1, \dots, \bar{f}_i^k, \dots, \bar{f}_n^m) \quad (2)$$



$$\sum_k f_i^k = f_i^* \in S_{f_i^*} \quad \forall i \in \{1, \dots, n\} \quad \forall k \in \{1, \dots, m\} \quad (3)$$

dove:

$y$  [ $Y$ ] è il vettore  $y$  delle tariffe di arco [percorso];

$\hat{y}$  [ $\hat{Y}$ ] è il valore ottimo del vettore  $y$  [vettore  $Y$ ];

$S_y$  [ $S_Y$ ] è l'insieme di definizione del vettore  $y$  [vettore  $Y$ ];

$f_i^k$  è il vettore dei flussi di arco della categoria di utenti  $k$  relativo al modo  $i$ ;

$\bar{f}_i^k$  è il vettore dei flussi di arco  $f_i^k$  nella condizione di equilibrio;

$Z$  è la funzione obiettivo da minimizzare;

$A$  è la funzione di assegnazione multimodale, formulabile come un problema di punto fisso, che fornisce i flussi di equilibrio in funzione delle tariffe e degli stessi flussi di equilibrio;

$f_i^*$  è il vettore dei flussi di arco sulla modalità  $i$ ;

$S_{f_i^*}$  è l'insieme di definizione del vettore  $f_i^*$ .

La funzione obiettivo da minimizzare è l'opposto del social surplus, dato dalla somma del surplus dell'utente e dei ricavi derivanti dalla tariffazione meno i costi sistema e i costi esterni, ossia:

$$Z(y, Y, \bar{f}_1^1, \dots, \bar{f}_i^k, \dots, \bar{f}_n^m) = -US(y, Y, \bar{f}_1^1, \dots, \bar{f}_i^k, \dots, \bar{f}_n^m) - RT(y, Y, \bar{f}_1^1, \dots, \bar{f}_i^k, \dots, \bar{f}_n^m) + CS(y, Y, \bar{f}_1^1, \dots, \bar{f}_i^k, \dots, \bar{f}_n^m) + CE(y, Y, \bar{f}_1^1, \dots, \bar{f}_i^k, \dots, \bar{f}_n^m) \quad (4)$$

dove:

$US(\cdot)$  è il surplus dell'utente;

$RT(\cdot)$  è il ricavo totale della tariffazione su tutti i modi di trasporto;

$CS(\cdot)$  è il costo di sistema totale (costi di operativi, costi di manutenzione, ecc.);

$CE(\cdot)$  è il costo esterno totale (ad es. il costo ambientale).

Il presente modello verrà implementato per calcolare il valore ottimo delle tariffe da applicare nel caso di diverse strategie di pricing (cordon e parking pricing). L'applicazione sarà effettuata su di una rete test in cui gli utenti possono scegliere, per effettuare i propri spostamenti, l'auto privata, il trasporto collettivo (una serie di linee di autobus, che condividono con le auto l'uso delle infrastrutture stradali, ed una metropolitana) e la modalità pedonale. La rete sarà costruita in modo tale che l'accessibilità relativa tra le coppie OD non sia uniformemente distribuita sull'intera rete. Tale disomogeneità sarà realizzata sia mediante differenti insiemi di scelta modale degli utenti (ossia solo alcune coppie Origine-Destinazione avranno a disposizione tutte le modalità) sia attraverso differenti livelli di prestazioni dei sistemi presenti (ad esempio una differente frequenza del servizio). Inoltre, nella costruzione del modello di domanda, sarà introdotta l'elasticità a livello di scelta modale (ipotesi necessaria per evidenziare l'efficacia delle politiche di pricing finalizzate proprio alla modifica del *modal split* degli utenti); mentre saranno considerati rigidi il livello di emissione e distribuzione (coerentemente con l'analisi di breve periodo richiesta dalla tipologia di strategie che si vogliono adottare). La domanda sarà inoltre segmentata in diverse categorie di utente sulla base di caratteristiche socio-economiche.

Si esamineranno inoltre gli effetti derivanti dal destinare una parte dei ricavi ottenuti con la tariffazione per migliorare il servizio di trasporto collettivo. Tale miglioramento può esplicarsi attraverso l'introduzione di nuovi servizi, incremento delle frequenze di quelli esistenti oppure



mediante una riduzione del costo del biglietto. Nella presente memoria si ipotizza di indirizzare i ricavi esclusivamente verso la seconda strategia, essendo quella di realizzazione più immediata.

La percentuale di risorsa disponibile che può essere spostata dal trasporto privato al trasporto collettivo dipende fortemente dalla tecnologia che si adotta per la riscossione dei pedaggi. Analizzando i sistemi di pricing urbano attualmente in esercizio si ha che il rapporto tra i costi di esercizio del sistema ed i ricavi da traffico tende a diminuire notevolmente se si utilizzano sistemi di riscossione elettronica del pedaggio (electronic road pricing). Infatti, nei sistemi di cordon pricing norvegesi, in cui viene utilizzata la riscossione elettronica, tale rapporto si aggira intorno al 10% (Ieromonachou *et al.*, 2006), mentre per la 'Congestion Charging' di Londra tale valore è prossimo al 42% (Transport for London, 2007).

Data la particolare configurazione del sistema di offerta e fissata una soglia limite per il valore di risorse che può essere utilizzata per migliorare il trasporto collettivo, l'obiettivo del lavoro è quello di analizzare l'accessibilità relativa tra ciascuna coppia OD nonché l'accessibilità dell'intero sistema quando vengono applicate delle politiche di pricing ed i ricavi vengono utilizzati all'interno dello stesso sistema di trasporto. Utilizzando l'approccio di Ben-Akiva e Lerman (1979), come misura dell'accessibilità relativa per ciascuna coppia, si utilizza il valore atteso della massima utilità dell'insieme di scelta modale. Questo tipo di analisi è utile per comprendere non solo come le prestazioni dell'intero sistema possano essere migliorate con le politiche di pricing, ma anche per evidenziare quale strategia risulti più efficace in termini trasportistici e non solo economici.

## Bibliografia

- Beckmann M.J., McGuire C.B., Winsten C.B. (1956), *Studies in the Economics of Transportation*, Yale University Press, New Haven (CT), USA.
- Ben-Akiva M., Lerman S. (1979), *Disaggregate Travel and Mobility Choice Models and Measures of Accessibility*, in: *Behavioral Travel Modeling*, Hensher D. & Stopher P. (Eds.), Croom Helm, London, United Kingdom, 654-679.
- Eliasson J., Mattsson L. G. (2006), *Equity effects of congestion pricing. Quantitative methodology and a case study for Stockholm*, *Transportation Research Part A*, 40: 602-620.
- Ferrari P. (2006), *Il finanziamento del trasporto pubblico mediante road pricing*, *Trasporti e territorio*, 2: 67-75.
- Gallo M., Montella B., D'Acerno L., Ciccarelli R. (2008), *Metodologie di gestione della domanda di mobilità in ambito urbano basate su politiche di pricing*, in: *Metodi, modelli e tecnologie dell'informazione a supporto delle decisioni. Parte prima: Metodologie*, D'Ambra L., Rostirolla R. & Squillante M. (Eds.), Franco Angeli Editore, Milano.
- Ieromonachou P., Potter S., Warren J.P. (2006), *Norway's urban toll ring: evolving towards congestion charging?*, *Transport Policy*, 13: 367-378.
- Rouwendal J., Veroeff E.T. (2006), *Basic economic principles of road pricing: From theory to applications*, *Transport Policy*, 13: 106-114.
- Transport for London (2007), *Central London Congestion Charging: Impacts Monitoring, Fifth Annual Report*.