

Qualità dei servizi di trasporto pubblico locale e valutazione sintetica mediante indici compositi: il caso della linea A della metropolitana di Roma

Isabella Carbonaro

Dipartimento di Studi Economico-Finanziari e Metodi Quantitativi,
Facoltà di Economia, Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"
isabella.carbonaro@uniroma2.it

Sommario

La qualità dei servizi di trasporto pubblico locale si misura, di frequente, impiegando indicatori rappresentativi di differenti dimensioni della qualità stessa e sintetizzandoli mediante un indice composito.

Scopo del lavoro è il confronto di tre indici compositi utilizzati per valutare la qualità dei servizi di trasporto nelle stazioni della linea A della metropolitana di Roma. I dati sono tratti da una ricerca dell'Agenzia per il controllo e la qualità dei servizi pubblici locali del Comune di Roma. Gli indici compositi sono calcolati impiegando due metodi riferibili al quadro concettuale dell'analisi *multicriteria*: SAW (*Simple Additive Weighting Method*) e TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*). I pesi attribuiti agli indicatori sono derivati sulla base della variabilità osservata nei loro valori, valutata con la deviazione standard per il primo e in connessione con il significato che assume la diversità nell'approccio entropico di Shannon per il secondo. Successivamente gli indici SAW e TOPSIS sono confrontati con l'indice composito calcolato dall'Agenzia come media aritmetica semplice dei valori degli indicatori. I risultati rivelano in vari casi differenti valutazioni della qualità del servizio delle stazioni metropolitane, valutazioni che possono essere impiegate come un segnale per differenti *cluster* di indicatori e zone. L'impiego di un set di metodi aggregativi risulta particolarmente utile per avere una *feed-back* dalle procedure di sintesi agli indicatori-fenomeni che necessitano di interventi prioritari.

Parole chiave: qualità dei servizi di trasporto, indici compositi, SAW, TOPSIS.

1. Quadro di riferimento e obiettivi

La qualità di un servizio è solitamente valutata rispetto a diverse dimensioni.

Nel caso del trasporto, esiste un consenso (condiviso, tra l'altro, dagli organismi nazionali e sopranazionali) su otto dimensioni fondamentali: affidabilità, disponibilità, competenza, accessibilità, cortesia, comunicazione, credibilità e sicurezza.¹

¹1) *Affidabilità*: comporta un livello elevato e costante del servizio; 2) *Disponibilità*: riguarda la tempestività con la quale gli addetti forniscono il servizio; 3) *Competenza*: è il possesso delle necessarie conoscenze e abilità; 4) *Accessibilità*: consiste nella possibilità di accedere al servizio con facilità; 5) *Cortesia*: comprende tutte quelle caratteristiche comportamentali che denotano educazione, rispetto e considerazione del prossimo nei contatti interpersonali; 6) *Comunicazione*: significa, da un lato, tenere informati gli utilizzatori mediante un linguaggio comprensibile e, dall'altro, saperli ascoltare. Per quanto riguarda il primo aspetto, la comunicazione può comportare la necessità di adattare il linguaggio alle caratteristiche dell'interlocutore, rendendolo più sofisticato per un utilizzatore colto o, viceversa, semplice e immediato per un utente meno erudito; 7) *Credibilità*: si ottiene, molto semplicemente, avendo a cuore gli interessi degli utenti, guadagnando così la loro fiducia nella serietà e nella onestà di chi fornisce il servizio; 8) *Sicurezza*: è l'esigenza degli utilizzatori di essere esenti da pericoli. A queste dimensioni vanno aggiunte, ovviamente, quelle che attengono alle caratteristiche fisiche degli impianti e delle attrezzature. Si confrontino, ad esempio, la Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri "Principi sull'erogazione dei servizi pubblici" del 27 gennaio 1994 e più di recente, il DCPM del

Dal 2003 l’Agenzia per il controllo e la qualità dei servizi pubblici locali del Comune di Roma (di seguito indicata in breve come Agenzia) effettua un’indagine per monitorare la qualità erogata dei servizi metropolitani, impostata su quattro delle dimensioni sopra menzionate: accesso alla stazione, informazione e attenzione al cliente, comfort dell’attesa e sicurezza dell’utenza. La metodologia di rilevazione, i dati di base ed i risultati sono consultabili *on line* all’indirizzo www.agenzia.roma.it.

Il monitoraggio riguarda 27 stazioni (più di recente 26) e 49 convogli della linea A e di 22 stazioni e 22 convogli della linea B della metropolitana di Roma e la struttura degli indicatori utilizzata per l’indagine è fondata su una piramide gerarchica in cui i quattro macrofattori della qualità (dimensioni o indicatori di primo livello) sono caratterizzati da ulteriori fattori (indicatori di secondo livello) che a loro volta si concretizzano nelle schede di rilevazione mediante batterie di *item* oggettivamente valutabili presso le stazioni o presso i convogli (Agenzia, Novembre 2006, pag.6).

L’Agenzia rende pubblici i criteri di rilevazione e di elaborazione degli indicatori, ma diffonde solo i dati sugli indicatori di secondo livello.

Gli indicatori sono presentati su scala normalizzata [0,100] per ciascuna linea della metropolitana e per le singole stazioni. Gli indicatori di primo livello sono ottenuti dall’Agenzia mediante medie semplici, in base all’assunzione che la media semplice sia “l’ipotesi migliore quando si procede all’aggregazione di un numero di variabili piuttosto consistente”. L’Agenzia, correttamente, a nostro parere, non si spinge a fornire un indice di qualità totale. Infine i risultati sono rapportati ad “obiettivi di qualità”, corrispondenti al punteggio attribuibile ad una qualità adeguata per ciascun indicatore (op.cit., p.8).

La presente nota si pone l’obiettivo di testare misure aggregate per le 4 dimensioni, alternative all’ipotesi di media semplice, tentando di sfruttare la stessa informazione prodotta dall’Agenzia sugli indicatori di secondo livello.

Per la misura della qualità in campo ambientale ed aziendale si sono affermati metodi riferibili al quadro concettuale dell’analisi *Multicriteria decision making* (MCDM) (fra i numerosi esempi, Diakoulaki et al., 1995; Deng et al., 2000; Kim, Park e Yoon, 1997; Zhou et al., 2006; Parkan e Wu, 1999; Isiklar e Buyukozkan, 2007; Jee e Kang, 2000; Wang T.-C. e Hsu J.-C., 2004; Tzeng G.-H. e Lin G, 2005). Si tratta di metodi molto utili per esaminare fenomeni complessi, quale quello della misura della qualità; l’MCDM può essere intesa, infatti, come un insieme di metodi di “compressione” dell’informazione disponibile orientata alla decisione.

Esistono molti approcci nel campo dei metodi MCDM e non ne esiste una classificazione univoca. Una tassonomia largamente utilizzata suddivide, tuttavia, questi metodi in due ampie categorie (MADM –*Multiple Attribute Decision Making*-) e MODM - *Multiple Objective Decision Making*) sulla base del

30/12/1998 “Schema di riferimento per la predisposizione della Carta dei Servizi pubblici del settore trasporti, e la norma UNI EN 13816 dell’1/12/2002).

dominio, discreto o, al contrario, continuo, delle alternative (Hwang and Yoon (1981); Zanakis et. al, 1998).

I metodi MADM, preliminarmente alla loro applicazione, richiedono che siano fissate le alternative che si vogliono ordinare e gli attributi o criteri in base ai quali valutarle, ai fini di una loro graduatoria. Tanto le alternative, quanto i criteri devono essere un numero finito. I criteri sono di solito considerati in conflitto tra di loro e, pertanto un valore migliore di un'alternativa rispetto ad un criterio comporta un valore peggiore della stessa alternativa rispetto ad altro criterio. Nella maggior parte dei casi, poi, gli attributi sono espressi in unità di misura differenti. La comparazione delle alternative si effettua assegnando un risultato di una misurazione, un punteggio o un giudizio a ciascuna alternativa relativamente ad ogni attributo considerato. La soluzione del problema di ordinamento si ricava impiegando una formula di sintesi dei "valori" delle alternative rispetto agli attributi, oppure attraverso procedure differenti (fondate ad esempio su indici di concordanza e discordanza o comparazioni delle alternative a coppie). La formula di sintesi è solitamente ponderata al fine di tenere conto dei *trade-off* tra gli attributi, in quanto ipotizzati in conflitto tra di loro.

All'interno dei metodi MADM è possibile individuarne una categoria che impone che tutte le alternative siano comparabili e che il risultato della valutazione delle categorie rispetto ai criteri sia una misura aggregata. Obiettivo della presente nota è utilizzare due metodi appartenenti a questo sottogruppo dei MADM appena indicato al fine di testare misure di sintesi alternative alla media semplice calcolata dall'Agenzia. I metodi sono il SAW, *Simple Additive Weighting Method* (Fishburn, 1967 e Mac Crimmon, 1968 in Yeh, op.cit.) e la tecnica TOPSIS, *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (Hwang e Yoon, 1981).²

Il primo (SAW) è stato scelto perché, rappresenta anche uno schema generale entro il quale è possibile ricondurre anche la misura aggregata dell'Agenzia; esso risulta, inoltre, quello maggiormente impiegato nelle analisi MADM. Il secondo (TOPSIS) è stato selezionato perché a) permette un confronto con la versione SAW che "premia" l'eterogeneità degli indicatori di secondo livello, poiché sia la misura aggregata ottenuta con il metodo SAW, sia quella calcolata con la tecnica TOPSIS impiegheranno un sistema di pesi ricavato sulla base della variabilità degli indicatori di secondo livello; b) definisce un *benchmark* che sfrutta contemporaneamente le distanze delle situazioni di ogni stazione, rispetto agli indicatori di secondo livello della qualità dei loro servizi, a partire dalle situazioni migliori e peggiori effettivamente osservate.

Gli indici costruiti sono utili di per sé e non alterano la possibilità di confronti spazio temporali rispetto ai criteri seguiti dall'Agenzia. I risultati ottenuti con metodi aggregativi differenti, possono, inoltre, suggerire strategie di valutazione della qualità più articolate. Ciò, sia in termini di *cluster* di indicatori (ed il confronto determina cioè un criterio di scelta degli indicatori), sia essendo

² Una descrizione dei metodi MADM e delle categorie nelle quali possono essere suddivisi si trova in Guidoni e Martel, 1997.

l'analisi riferita al trasporto metropolitano di Roma, in termini di *cluster* di trasporto cittadino per zone diverse, (in questo secondo caso il confronto definisce l'ambito territoriale di analisi, ad esempio sulla base di una segmentazione della linea A della metropolitana di Roma).

E' noto, inoltre, che, a fronte del vantaggio della sintesi che coinvolge anche altri segmenti della funzione di trasporto, il prezzo che si paga stimando ed utilizzando indici compositi è quello della perdita di informazione e di ambiguità nell'interpretazione dei risultati per confronti temporali e spaziali.

La potenziale utilità nell'impiego di metodi di tipo MCDM rispetto a medie semplici può estendersi, infine, ad una migliore utilizzazione delle stesse informazioni elementari mediante un utilizzo "circolare" delle informazioni ottenute: dagli indici elementari agli indici compositi e da questi ancora agli indici elementari.

2. Metodi aggregativi e sfruttamento dell'informazione

L'applicazione dei metodi MADM si sviluppa attraverso 9 fasi:

1) la definizione del problema; 2) l'identificazione delle alternative; 3) la scelta dei criteri di valutazione; 4) la raccolta dei dati; 5) la normalizzazione delle misure dei criteri di valutazione, nel caso siano espressi in unità di misura differenti; 6) la definizione del sistema dei pesi; 7) la scelta della formula di aggregazione; 8) l'ordinamento delle alternative; 9) la formulazione di un giudizio (decisione).

Nelle analisi MADM, le prime quattro fasi definiscono la *matrice di decisione* mediante la quale si presentano le alternative e i criteri di valutazione. I contenuti della matrice possono essere di diverso tipo, ad esempio risultati di una misurazione, valutazioni qualitative, punteggi assegnati sulla base di una determinata scala.

Con riferimento al problema che si affronta, che è quello di valutare la qualità dei servizi della linea A della metropolitana di Roma, siano n le alternative (le stazioni della metropolitana indicate con S) ed m gli attributi (gli indicatori di secondo livello della qualità erogata X). Le fasi **1**, **2**, **3** e **4** sono svolte dall'Agenzia e portano alla tabella dei dati di base x_{ij} ($i=1,..,n$; $j=1,..,m$) che costituiscono i punteggi assegnati alla stazione i -esima relativamente all'attributo o indicatore di secondo livello j -esimo. I punteggi sono valori nella scala $[0,100]$ e si pone inoltre, per ciascun attributo, che valori maggiori segnalano una migliore qualità del servizio (gli attributi sono, come si usa dire nella terminologia MCDM, di tipo *benefit*).³

Le fasi successive ed in particolare quelle dalla quinta alla settima sono quelle che differenziano maggiormente un metodo dall'altro, anche all'interno dei metodi MADM, ed in particolare di quelli SAW e TOPSIS selezionati ai fini di costruire di misure aggregative, alternative alla media semplice.

³ Quando il numero di attributi o indicatori di secondo livello è elevato, può risultare utile raggrupparli. Nella presente nota essi sono riuniti in quattro categorie o dimensioni (G). In simboli $g= 1,..,G$ rappresenta la dimensione e con $j \in g$ si indica l'appartenenza dell'indicatore di secondo livello ad una delle 4 dimensioni.

FASE 5. NORMALIZZAZIONE Come si può notare, la matrice di decisione riporta i risultati della valutazione delle alternative rispetto ai criteri già normalizzati dall’Agenzia su scala $[0,100]$. Non sussiste, pertanto, la necessità di normalizzare per eliminare l’effetto delle diverse unità di misura dei criteri, che è uno dei vantaggi standard dell’analisi MADM⁴. Di conseguenza, il calcolo dei punteggi secondo le tecniche SAW e TOPSIS è unicamente rivolto alla finalità di costruire un sistema di pesi che non si limiti all’assunzione di un *trade-off* lineare tra gli indicatori. Più in particolare si calcolano i punteggi relativi p_{ij} (ottenuti dividendo i punteggi assegnati, con riferimento ad un indicatore, a ciascuna stazione, per la somma dei punteggi totali dell’indicatore); essi, si vuole ancora evidenziare, sono strumentali al confronto con la TOPSIS (per il SAW) e al calcolo dei pesi secondo l’approccio dell’entropia (per la TOPSIS). In simboli:

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad \text{con} \quad \sum_{i=1}^n p_{ij} = 1 \quad (1)$$

La tecnica TOPSIS (da qui in poi solo TOPSIS), con riferimento allo specifico caso di studio, si fonda sul principio che la migliore stazione è quella che confrontata con due ipotetiche stazioni, antitetiche per la qualità erogata del servizio (la migliore e la peggiore) presenta la minore distanza dalla prima e la maggiore dalla seconda.⁵ La stazione ideale S^+ e la sua antitesi S^- sono definite rispettivamente mediante i punteggi relativi più alti e più bassi attribuiti alle stazioni con riferimento a ciascun indicatore di secondo livello:

$$S^+ = (\max\{p_{i1}\}, \max\{p_{i2}\}, \dots, \max\{p_{im}\}) \quad (2)$$

$$S^- = (\min\{p_{i1}\}, \min\{p_{i2}\}, \dots, \min\{p_{im}\}) \quad (3)$$

FASE 6. SCELTA DEL SISTEMA DEI PESI

⁴ Il dibattito sui criteri di normalizzazione, in generale ed in particolare quando si impiegano tecniche MCDM è attuale (Ebert e Welsch, 2004; Opricovic e Tzeng, 2004, per citarne solo due). I criteri di normalizzazione, come è noto, possono essere diversi, ma le formule maggiormente impiegate nelle analisi MADM sono quelle che rapportano i valori osservati: a) alla somma dei valori; b) al valore massimo; c) alla radice quadrata della somma dei quadrati degli stessi; d) mettono a rapporto la differenza tra i valori osservati ed il valore minimo al campo di variazione. In generale si può osservare che tutte e quattro le precedenti formule di normalizzazione non modificano la posizione relativa delle alternative (rispetto all’indicatore considerato) ma la dimensione della differenza tra le alternative dipende dalla procedura di normalizzazione. I valori della media, della deviazione standard e del campo di variazione sono, poi, differenti a seconda della trasformazione scelta (fra tutti, Zelias, 2002). In particolare, l’utilizzo del metodo SAW è collegato, di solito all’impiego delle prime tre regole di normalizzazione (più spesso la b), mentre la trasformazione originariamente impiegata nella TOPSIS era la c), anche se di recente sono state introdotte nelle applicazioni anche altre funzioni, compresa la a) (si veda ad esempio Lai e Hwang, 1994 in Opricovic e Tzeng, 2004).

⁵ Questo concetto è ripreso da quello specificato da Zeleny (1982) che introdusse la terminologia di soluzione ideale e anti-ideale a rappresentare le due soluzioni antitetiche e ripreso anche nella TOPSIS.

Un peso può essere definito come un valore assegnato ad un criterio di valutazione che ne indica l'importanza relativamente agli altri criteri adottati. Rispetto ai metodi SAW e TOPSIS i pesi definiscono *i trade-off* tra i criteri e sono collegati alla scala con la quale sono misurati questi ultimi (nel caso in esame, un peso doppio assegnato ad un indicatore rispetto ad un altro, equivale ad un punteggio doppio). Nelle applicazioni del metodo SAW i pesi sono calcolati di frequente con il metodo dei ranghi o dei punteggi⁶, mentre se si consulta la letteratura MADM che tratta la TOPSIS, si nota che prevale la ponderazione basata sulla variabilità degli indicatori (ad esempio Diakoulaki et al., op.cit) e, in particolare, sul concetto di entropia di Shannon (1947) (Deng et al., op. cit per ricordarne uno solo), al quale è consigliato fare riferimento nel caso non ci sia motivo di preferire un criterio agli altri (Hwang e Yoon, op.cit.).

Si indichi con w_j il peso attribuito all'indicatore j .

Per il metodo SAW, al fine di sfruttare pienamente l'unica informazione disponibile sugli indicatori di secondo livello, è preferibile scegliere una struttura di pesi, fondata sulla variabilità dei punteggi ed in particolare sulla deviazione standard (σ), (Diakoulakis et al, op.cit.). Relativamente a ciascun gruppo di indicatori di secondo livello relativi alla dimensione g ($g=1,\dots,G$), si ha:

$$w_j(\sigma_j,rel) = \frac{\sigma_j}{\sum_{j \in g} \sigma_j} \quad (\text{con } \sum_{j \in g} w_j(\sigma_j,rel) = 1) \quad (4)$$

Questa struttura permette inoltre di confrontare la misura aggregata ottenuta con il SAW con quella derivabile dalla TOPSIS.

Per i pesi della TOPSIS, seguendo la letteratura, si è considerata, come già accennato, l'entropia. L'entropia (in simboli $e(p)$), è definita come informazione attesa di un messaggio nel caso che un evento E , con probabilità assegnata, si dovesse realizzare. (Theil, 1977). Relativamente ai punteggi relativi p_{ij} degli indicatori che rappresentano ciascuna dimensione, si ha:

$$e(P_j) = \sum_{i=1}^n p_{ij} \log \frac{1}{p_{ij}} \quad j=1,\dots,m \quad (5)$$

oppure

$$e(P_j)_{rel} = - \frac{\sum_{i=1}^n p_{ij} \log \frac{1}{p_{ij}}}{\ln(n)} \quad (6)$$

a seconda che la si consideri in assoluto o in rapporto al suo valore massimo.

⁶Il primo consiste nell'elencare i criteri in ordine di importanza, assegnando loro un rango; il secondo nella forma più semplice, distribuisce, ad esempio, 100 punti ai criteri in modo che il numero di punti assegnato a ciascuno rifletta la sua importanza. Esistono anche altri metodi (tra i quali il più importante è quello che considera una comparazione a coppie dei criteri (e che pertanto diventa di difficile applicazione in presenza di un numero elevato di criteri); una loro descrizione può ricavarsi dai contributi citati.

Come si è detto l'entropia si ricollega ai concetti di incertezza e di informazione ricavabili, in questo caso, dai punteggi per ciascun indicatore per le stazioni della linea A della metropolitana di Roma, di cui alla Indagine dell'Agenzia. In caso di n-1 punteggi relativi nulli ed uno pari a 1 in corrispondenza di ogni colonna della matrice dei dati (e ovviamente non sulla stessa riga, altrimenti il problema di ordinare le stazioni in termini di qualità del servizio non sussisterebbe almeno per il primo posto) è, infatti, anche minima l'incertezza nella decisione ed è massima l'informazione che si può desumere dai risultati dell'indagine considerata. Nel caso opposto, ossia tutti i punteggi relativi uguali nelle colonne e pari ad 1/m per ogni colonna, dove m è il numero di stazioni) si hanno invece massima incertezza e minima informazione.

Il peso è assegnato, di conseguenza, sulla base del complemento all'unità del valore relativo dell'entropia:

$$d(P_j) = 1 - e(P_j)_{rel} \quad (7)$$

Poiché il peso trae origine dal confronto del punteggio relativo riferito a ciascun indicatore con la situazione che verifica la massima incertezza (o la minima informazione), esso assume il significato di grado di divergenza dell'informazione disponibile per ogni indicatore dalla situazione limite di assenza informativa o, in altre parole, di misura del grado di capacità informativa dei dati.

Considerando tutti gli indicatori riferibili alla dimensione g, si ha:

$$w_j(d_j,rel) = \frac{d(P_j)}{\sum_{j \in g} d(P_j)} \quad \text{con} \quad \sum_{j \in g} w_j(d_j,rel) = 1 \quad (8)$$

FASI 7 e 8 SCELTA DELLA FORMULA DI AGGREGAZIONE E ORDINAMENTO DELLE ALTERNATIVE

Il metodo SAW impiega la media aritmetica ponderata dei punteggi relativi, con pesi che esprimono l'importanza relativa attribuita agli indicatori in base alla (4). In simboli:

$$IQ_{gSAW} = \sum_{j \in g} w_j(\sigma_j,rel) p_{ij} \quad (9)$$

La formula appena scritta costituisce la regola per ordinare le alternative.

Alla semplicità della formula di sintesi (9) si contrappongono le ipotesi molto stringenti che essa implica e che possono essere riassunte nella logica di compensazione tra gli attributi.⁷ Si può notare, inoltre, che il calcolo della media aritmetica semplice effettuato dall'Agenzia per ricavare l'indice composito di qualità della dimensione, costituisce un caso particolare del metodo SAW.

Con la TOPSIS si moltiplicano i punteggi relativi per i pesi ricavati secondo la (8), ottenendo i punteggi relativi ponderati v_{ij} :

$$v_{ij} = p_{ij} w_j(d_j,rel)$$

Analogamente a quanto ottenuto con le formule (2) e (3) si ha:

⁷ Si vedano ad esempio Hwang e Yoon, citati più volte.

$$V^+ = (\max\{v_{i1}\}, \max\{v_{i2}\}, \dots, \max\{v_{im}\}) = (v_1^+, v_2^+, \dots, v_m^+) \quad (10)$$

$$V^- = (\min\{v_{i1}\}, \min\{v_{i2}\}, \dots, \min\{v_{im}\}) = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_m^-) \quad (11)$$

Dove i simboli V^+ e V^- si riferiscono alle ipotetiche stazioni ideale e alla sua antitesi identificate sulla base dei punteggi relativi ponderati più alti corrispondenti a ciascun indicatore di secondo livello.

La regola di aggregazione consiste nel calcolo delle distanze euclidee tra i punteggi relativi ponderati v_{ij} e v_j^+ e tra v_{ij} e v_j^- :

$$C^{i+} = d(v_{ij}, \max v_{ij}) = \sqrt{\sum_{j=1}^m [(v_{ij} - v_j^+)^2]} \quad (12)$$

$$C^{i-} = d(v_{ij}, \min v_{ij}) = \sqrt{\sum_{j=1}^m [(v_{ij} - v_j^-)^2]} \quad i=1,2,\dots,n \quad (13)$$

Si calcola, infine, la seguente misura relativa:

$$IQ_g^i = \frac{C^{i-}}{C^{i-} + C^{i+}} \quad i=1,2,\dots,n \quad (14)$$

e la si utilizza per l'ordinamento.

Data la definizione dell'indice (al numeratore vi è la distanza dalla soluzione peggiore, antitetica a quella ideale) la graduatoria che ne risulta è decrescente in termini di qualità, in quanto assegna ranghi minori alle stazioni con valori maggiori dell'indice. Ponendo al numeratore C^{i+} si otterrebbe una graduatoria opposta rispetto alla precedente.

Le formule (12) e (13) sfruttano l'informazione contenuta nelle righe della matrice e, pertanto, la misura aggregata ottenibile con la TOPSIS appare preferibile, in quanto presenta il vantaggio di considerare ciascuna alternativa sulla base degli attributi considerati nel loro insieme (con pesi determinati dal grado di capacità informativa la loro capacità informativa).

Il difetto sta nel fatto che l'indice relativo è ricavato attribuendo la stessa importanza alle distanze positive e a quelle negative, scelta che non è esente da critiche (per tutti, vedi Opricovic e Tzeng, op.cit).

Questi metodi vengono usati nella presente nota per confrontare tre possibili misure aggregate di qualità: SAW, con pesi relativi costituiti dalle deviazioni standard relative, TOPSIS, con pesi derivati mediante l'approccio entropico, e la media aritmetica semplice dei punteggi relativi degli indicatori di primo livello calcolata dall'Agenzia (riconducibile, come si è detto, al primo metodo). Tutti e tre presentano l'indubbio pregio della semplicità di comprensione e di applicazione e ciò giustifica il loro larghissimo impiego nella letteratura MADM.

La tecnica TOPSIS, in particolare, permette di seguire tutte le fasi mediante le quali si perviene all'indice composito e, in definitiva, al giudizio sulla qualità del servizio che si esprime sulle stazioni. L'indice TOPSIS, inoltre, per quanto riguarda i pesi evidenzia meglio, rispetto al SAW, le eccellenze o carenze di qualità e dal lato della metodologia di calcolo non si limita a mediare per ciascuna stazione i punteggi relativi ponderati, ma utilizza questi ultimi per il

calcolo delle distanze, cosicché la graduatoria delle stazioni risulta dalla vicinanza del rispettivo punteggio relativo dal punteggio relativo più alto e dalla lontananza da quello più basso.

Per converso le ipotesi su cui tutti e tre i metodi poggiano sono stringenti, per quanto attiene alla relazione tra preferenze ed utilità ed alla linearità della funzione di aggregazione. I limiti posti dalla ristrettezza delle ipotesi a priori sono noti (per tutti, Munda e Nardo, 2003). Tuttavia esiste sempre un *trade-off*, tra semplicità, quindi comunicabilità dei risultati, e complessità di approcci meno restrittivi, soprattutto dal momento che anche questi ultimi sono caratterizzati da scarsa robustezza, come evidenziato dalle applicazioni disponibili in bibliografia.

3. Confronto tra metodi alternativi per il caso oggetto di studio

La Tab.1 mostra gli indicatori di primo e di secondo livello impiegati dell’Agenzia nella sua indagine sulla qualità dei servizi metropolitani; tra parentesi si indicano i simboli degli indicatori selezionati per l’esercizio di confronto tra le misure aggregate.

Tab.1 La struttura degli indicatori

INDICATORI DI PRIMO LIVELLO	INDICATORI DI SECONDO LIVELLO	OSSERVAZIONE IN STAZIONE	OSSERVAZIONE SUI TRENI
Accesso alla stazione (D ₁)	Accessibilità esterna (X ₁)	X	
	Accessibilità interna (X ₂)	X	
	Disponibilità biglietteria (X ₃)	X	
Informazione e attenzione al cliente (D ₂)	Informazioni generali (X ₄)	X	
	Informazioni di viaggio in condizioni normali (X ₅)	X	X
	Informazioni di viaggio in condizioni anormali	X	
	Interfaccia clienti (X ₆)	X	
	Personale (X ₇)	X	
	Assistenza	X	
	Opzioni di biglietteria (X ₈)	X	
Confort dell’attesa (D ₃)	Utilizzabilità delle strutture passeggeri (X ₉)	X	
	Posti a sedere e spazio disponibile (X ₁₀)	X	
	Condizioni ambientali (X ₁₁)	X	
	Servizi aggiuntivi (X ₁₂)	X	
Qualità del viaggio	Posti a sedere e spazio disponibile		X
	Confortevolezza della corsa		X
	Condizioni ambientali		X
Sicurezza (D ₄)	Deterrenza del crimine (X ₁₃)	X	
	Prevenzione di incidenti	X	
	Informazioni generali sulla sicurezza (X ₁₄)	X	

Fonte: Agenzia per il controllo e la qualità dei servizi pubblici locali del Comune di Roma (2006), p.6

I metodi TOPSIS e SAW sono stati, quindi, applicati ad un complesso di 14 indicatori di secondo livello, riferiti a 25 stazioni. Gli indicatori sono stati poi raggruppati in 4 dimensioni, o indicatori di primo livello (Accesso alla stazione, Informazione e attenzione al cliente, Comfort dell'attesa e Sicurezza dell'utenza). Si hanno quindi 3 indicatori di secondo livello per la prima dimensione di qualità, 5 per la seconda, 4 per la terza e 2 per la quarta.

Oltre a prendere in esame le sole rilevazioni effettuate nelle stazioni, rispetto agli indicatori originari pubblicati dall'Agenzia sono stati esclusi dall'analisi tre indicatori di secondo livello per incompletezza delle relative informazioni o per l'identica intensità dell'indicatore per tutte le stazioni. E' stata, inoltre, esclusa una stazione per informazione incompleta.

La matrice di decisione è stata ricavata dalle tabelle a pagina 40, 45, 50 e 55 dell'indagine più volte citata.

Successivamente sono stati calcolati i punteggi relativi secondo la (4) e ciò equivale a scalare i valori, con una trasformazione che non modifica la matrice dei ranghi dei punteggi degli indicatori di secondo livello e rende la somma dei punteggi relativi pari a 1 (così come è richiesto per il calcolo della misura dell'entropia degli stessi).

La Tab.2 mostra i valori dei pesi attribuiti agli indicatori mediante le due misure di diversità: la deviazione standard e l'entropia.

Tab.2 I pesi degli indicatori di secondo livello

	g=1 (Accesso alla stazione)			g=2 (Informazione e attenzione al cliente)				
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈
e _j (rel)	0,9837	0,9947	0,9955	0,9976	0,9982	0,9994	0,9998	0,9482
d _j =1-e _j	0,0163	0,0053	0,0045	0,0024	0,0018	0,0006	0,0002	0,0518
w _j (d _j rel)	0,6248	0,2013	0,1739	0,0427	0,0324	0,0113	0,0029	0,9108
σ _j	19,9184	9,6689	11,7464	10,7671	7,9219	6,1223	2,9887	24,1321
w _j (σ _j rel)	0,4819	0,2339	0,2842	0,2073	0,1525	0,1179	0,0576	0,4647
	g=3 (Comfort dell'attesa)				g=4 (Sicurezza dell'utenza)			
	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄		
e _j (rel)	0,9986	0,9343	0,9987	0,9906	0,9997	0,9986		
d _j =1-e _j	0,0014	0,0657	0,0013	0,0094	0,0003	0,0014		
w _j (d _j rel)	0,0174	0,8441	0,0172	0,1214	0,1691	0,8309		
σ _j	8,2987	20,9435	6,7337	13,0874	4,1109	8,4718		
w _j (σ _j rel)	0,1691	0,4269	0,1372	0,2667	0,3267	0,6733		

Come si può rilevare, i pesi calcolati facendo riferimento alla variabilità contenuta nella matrice dei dati risultano, per tutte e quattro le dimensioni, molto diversi da quelli ottenibili nell'ipotesi di massima incertezza (distribuzione uniforme dei pesi sulla base del numero degli indicatori per ciascuna componente). La maggiore diversità si ha impiegando l'approccio entropico. Relativamente ad ogni dimensione esiste un indicatore di maggior rilievo rispetto agli altri: l'accessibilità esterna (X₁) per l'accesso alla stazione; le opzioni di

biglietteria (X_8) per l'informazione e l'attenzione al cliente; i posti a sedere e lo spazio disponibile (X_{10}) per il comfort dell'attesa; le informazioni sulla sicurezza (X_{14}) per l'ultima dimensione. Questi risultati possono anche essere letti come un suggerimento a modificare l'elenco degli indicatori di ciascuna dimensione, magari escludendone alcuni e aumentando il dettaglio delle informazioni per l'indicatore più importante.

La Tab.3 contiene, per ciascuna dimensione, gli indici calcolati con i metodi SAW e TOPSIS e con la media aritmetica semplice dei punteggi, nonché i ranghi assegnati in base agli stessi indici alle 25 stazioni.

Le graduatorie ottenute con i tre indici mostrano ampie aree di sovrapposizione dei ranghi, ma anche importanti diversità. Le prime sono di gran lunga più numerose delle seconde, in tutte e quattro le dimensioni considerate e, in particolare, nell'ultima.

Le diversità di posti in graduatoria, tuttavia, non mancano. Assumendo come termine di confronto l'indice TOPSIS, che, per i motivi in precedenza esposti, nella presente applicazione riteniamo preferibile, le più rilevanti diversità di tale indice rispetto agli altri due sono quelle evidenziate nelle caselle contrassegnate con lo sfondo grigio. Così, ad esempio, per la dimensione "Accesso alla stazione" la stazione Cipro Musei Vaticani si trova all'undicesimo posto in base al TOPSIS, al secondo in base al SAW e addirittura al primo in base alla media semplice degli indicatori. Per la dimensione "Informazione e attenzione al cliente" la stazione Re di Roma si colloca al decimo posto in base al TOPSIS e al ventunesimo in base sia al SAW sia alla media. Altra rilevante differenza si ha, relativamente alla dimensione "Comfort nell'attesa", per la stazione Numidio Quadrato, che si trova nella posizione n. 14 in base al TOPSIS, nella n. 22 in base al SAW e nella n. 24 in base alla media.

Dalle elaborazioni effettuate possono ricavarsi indicazioni utili circa le situazioni (nella presente applicazione, le stazioni) che si trovano in condizioni particolarmente insoddisfacenti (o, viceversa, soddisfacenti) nei riguardi di una o più delle dimensioni considerate. A titolo esemplificativo si propone la metodologia di seguito illustrata. Essa costituisce una prima analisi esplorativa dei risultati ottenuti confrontando metodi aggregativi alternativi.

Per avere una prima idea della qualità dei servizi delle stazioni della linea A della metropolitana di Roma, si considerano, per ciascun indice, i tre quartili.

Si definisce, pertanto:

- qualità *bassa* quella che va attribuita alle stazioni che presentano un indice inferiore al primo quartile;
- qualità *medio-bassa* quella che va attribuita alle stazioni che presentano un indice compreso tra il primo e il secondo quartile;
- qualità *media* quella che va attribuita alle stazioni che presentano un indice compreso tra il secondo e il terzo quartile;
- qualità *alta* quella che va attribuita alle stazioni che presentano un indice superiore al terzo quartile.

Il secondo passo consiste nel distribuire le stazioni nei quattro gruppi, in base ai quartili di ciascun indice. Si avranno così le stazioni di qualità bassa, medio-bassa, media e alta per ciascuna delle quattro dimensioni qualitative e per

ciascuno dei tre indici (SAW, TOPSIS e media). Ne derivano informazioni di concordanza e discordanza delle relative posizioni.

Ragioni di spazio impediscono di riportare i risultati completi delle elaborazioni effettuate secondo la metodologia appena proposta. Ci si limiterà a presentare (Tab. 4) i risultati relativi alle situazioni critiche (qualità bassa) in cui si collocano le diverse stazioni. Le cifre della tabella indicano per ciascuna stazione la distanza, nella graduatoria, dal posto che contrassegna la qualità medio-bassa (il 18°). Così, ad esempio, il valore 1 in corrispondenza della stazione Baldo degli Ubaldi, al 19° posto per l'indice SAW, indica che in base a tale indice detta stazione presenta una qualità della dimensione "Accesso alla stazione" di poco inferiore a quella che le consentirebbe di superare la soglia della qualità bassa e di accedere a quella medio-bassa. Molto peggiore la situazione della stazione Numidio Quadrato, che si trova a una distanza di ben 7 posti da quella che contrassegna la soglia della qualità medio-bassa. La stazione Ottaviano S. Pietro presenta, per la prima dimensione, valori negativi per l'indice SAW e per la media, in quanto si trova al 17° e al 12° rango, rispettivamente, per i due indici; al contrario, per l'indice TOPSIS il rango è il 20°. Altro risultato degno di nota è quello riguardante la stazione Re di Roma, che per la seconda dimensione presenta un valore negativo (-8) per l'indice TOPSIS e valori positivi (3) per gli altri due indici: la valutazione dell'"Informazione e attenzione al cliente" è diversa a seconda della misura impiegata. Altri casi di segni discordanti si hanno per le stazioni S. Giovanni (prima dimensione) e Numidio Quadrato (terza dimensione). La migliore valutazione con l'indice TOPSIS della stazione S. Giovanni si spiega agevolmente in base agli indicatori elementari utilizzati ed al loro impiego nel calcolo dell'indice.

La Tabella 4 può essere letta in due modi.

In senso orizzontale, documenta le dimensioni in cui una stessa stazione presenta qualità insoddisfacenti. Questo suggerisce un utilizzo circolare delle informazioni, e, dunque un ritorno dalla misura aggregata agli indici elementari. Ad esempio la situazione indicata in precedenza per la stazione San Giovanni relativamente alla prima componente (accesso alla stazione) richiederebbe di "rileggere" a ritroso le tre misure aggregate in funzione non soltanto degli indicatori di secondo livello (accessibilità esterna, accessibilità interna e disponibilità di biglietteria) ma, soprattutto, rispetto a quelli di terzo livello che l'Agenzia, a pag.62 della sua indagine, identifica in 34 indicatori. Con la disponibilità dei dati, ciò potrebbe determinare un criterio di scelta diversa degli indicatori.

In senso verticale, la lettura della Tab.4 informa sulle dimensioni che nelle varie stazioni richiedono miglioramenti, fornendo anche utili informazioni sulla contiguità spaziale degli interventi necessari. Ad esempio, rispetto a ciascuna dimensione si possono rilevare *cluster* di stazioni per le quali le carenze di qualità sono particolarmente gravi (per la prima e la terza dimensione le stazioni situate sul tratto finale della linea) e segnalano la necessità di intervento su un segmento piuttosto di una stazione. La lettera sempre nel senso delle colonne potrebbe, inoltre, fare emergere come risultato che l'indicatore aggregato fornisce una valutazione della qualità del servizio rispetto ad una dimensione che è al tempo stesso una valutazione dell'ambiente esterno (traffico, insediamento abitativo).

Già su una semplice applicazione di questo genere, che fa vedere le potenzialità di una clusterizzazione doppia (rispetto a righe e colonne), possono, dunque, ricavarsi delle informazioni, contemporaneamente sulla posizione relativa della singola stazione per qualità di un punto o più della linea metropolitana, e per qualità delle singole dimensioni.

4. Conclusioni e prospettive

I risultati ottenuti mostrano l'utilità di disporre di un set articolato di metodi di aggregazione di più indicatori.

Ai fini dei confronti spazio-temporali, particolarmente promettenti sembrano i metodi basati su approcci di derivazione entropica, che consentono di avere un segnale più forte, minore rumore dell'informazione disponibile e maggiori possibilità di individuare carenze assolute di informazione.

Dal punto di vista della progettazione delle indagini sulla qualità dei servizi, i metodi sopra descritti consentono di proporre alternative di clusterizzazione di indicatori e di aree.

Ancora, e forse di più, gli stessi risultati individuano prospettive di approfondimento metodologico e operativo. Anche in queste elaborazioni preliminari, risulta rilevante la possibilità di un utilizzo "circolare" delle informazioni ottenute: dagli indici elementari agli indici compositi e da questi ancora agli indici elementari. Una sorta di *feed-back* dalle procedure di sintesi agli indicatori da utilizzare ed ai fenomeni che richiedono intervento prioritario.

Bibliografia

- Agenzia per il controllo e la qualità dei servizi pubblici locali del Comune di Roma, «Monitoraggio della qualità erogata dei servizi di trasporto metropolitano del Comune di Roma, Dati: Luglio-Settembre 2006» Roma Novembre 2006, disponibile on line.
- Deng H., Yeh C.-H., Willis R. J., «Inter-company comparison using modified TOPSIS with objective weights», *Computers & Operations Research* 27, pp.963-973, 2001.
- Diakoulaki D., Mavrotas G., Papayannakis L., «Determining objective weights in multiple criteria problems: the CRITIC method», *Computers & Operations Research* 22, pp.763-770, 1995
- Ebert U., Welsch H., «Meaningful environmental indices: a social choice approach», *Journal of Environmental Economics and Management*, 22, pp.763-770, 2004
- Guitouni A., Martel J.M., «Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method», *European Journal of Operational Research* 109, pp.501-521, 1998.
- Hwang C.L., Yoon K., *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, A State of the Art Survey*, Springer-Verlag, New York, 1981
- Isiklar e Buyukozkan, 2007«Using a multi-criteria decision making approach to evaluate mobile phone alternatives» *Computer Standards & Interfaces* 29 , pp. 265-274, 2007

- Jee D.-H, Kang K.-J. «A method for optimal material selection aided with decision making theory», *Materials and Design* 21, pp. 199-206, 2000
- Jeffreys I., «The Use of Compensatory and Non-compensatory Multi-Criteria Analysis for Small-scale Forestry» *Small-scale Forest Economics, Management and Policy*, 3(1), pp.99-117, 2004
- Keeney R., Raiffa H. *Decision with multiple objectives: preferences and value trade-offs*, Wiley, New York, 1976
- Keeney, R.L. «Decision analysis: an overview», *Operations Research*, 30, pp.803-37, (1982).
- Kim G., Park C.S., Yoon P. K.C, «Identifying investment opportunities for advanced manufacturing systems with comparative-integrated performance measurement», *Int. J. Production Economics*. 50, pp.23 – 33, (1997)
- Lai, Y.J., Liu, T.Y., Hwang, C.L., TOPSIS for MODM., *European Journal of Operational Research* 76 (3), pp. 486–500, 1994.
- MacCrimmon, K.R., 1973. An overview of multiple objective decision making. In: Co&ran, J.L., Zeleny, M. (Eds.), *Multiple Criteria Decision Making*. University of South Carolina Press, Columbia.
- Munda, G., Nardo, M., «On the methodological foundations of composite indicators used for ranking countries», *Proceeding of the First OECD/JRC Workshop on Composite Indicators of Country Performance*, JRC, Ispra, 2003.
- Opricovic S., Tzeng G.-H., «Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS», *European Journal of Operational Research* 156, pp. 445–455, 2004
- Parkan C., Wu M.-L., «Decision-making and performance measurement models with applications to robot selection», *Computers & Industrial Engineering*, 36, pp.503-523, 1999
- Shannon CE, Weaver W., *The mathematical theory of communication*, The University of Illinois Press, 1947.
- Theil, H., *Principi di econometria*, UTET, Torino, 1977.
- Tzeng G.-H., Lin C.-W., Opricovic S., «Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation», *Energy Policy*, 33, pp. 1373–1383, 2005.
- Wang T.-C., Hsu J.-C. «Evaluation of the Business Operation Performance of the -Listing Companies by Applying TOPSIS Method», *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, pp.1286-1291, 2004
- Yeh C.-H., «A problem-based selection of multi-attribute decision-making methods», *Intl Trans. in Op.Res.*9, pp.168-181, 2002
- Yoon, K., «A reconciliation among discrete compromise solutions», *Journal of Operational Research Society* Vol.38 (3), pp.272–286, 1987
- Yoon, K.P. and Hwang, C-L. (1995) *Multiple Attribute Decision Making*, Sage, Beverly Hills
- Yoon, K.P., Hwang, C.L., 1995. *Multiple Attribute Decision Making: an Introduction*, Sage Publications, Thousand Oaks, CA.

- Zanakis Stelios H., Solomon A., Wishart N., Dublisch S., «Multi-attribute decision making: A simulation comparison of select methods», *European Journal of Operational Research*, n. 107, pp.507-529, 1998
- Zeleny, M., *Multiple Criteria Decision Making*,. Mc-Graw-Hill, New York, 1982
- Zelias A., «Some notes on the selection of normalisation of diagnostic variables », *Statistics in Transition*, Vol.5, N.5, pp.787-802, 2002
- Zhou P., Ang B.W., Poh K.L., «Comparing Methods for constructing the composite environmental index: An objective measure», *Ecological economics*, 59, pp.305-311, 2006.

Tab.3 Gli indici compositi di qualità del servizio di trasporto delle stazioni della linea A della metropolitana di Roma

Stazioni	g=1 (Accesso alla stazione)						g=2 (Informazione e attenzione al cliente)					
	SAW	rango SAW	TOPSIS	rango TOPSIS	MEDIA	rango MEDIA	SAW	rango SAW	TOPSIS	rango TOPSIS	MEDIA	rango MEDIA
1 (Battistini)	60,33	15	0,330	17	62,67	14	78,58	7	0,833	5	83,22	6
2 (Cornelia)	76,21	1	0,818	1	73,53	2	69,32	8	0,500	8	80,58	9
3 (Baldo degli Ubaldi)	53,79	19	0,244	18	57,43	18	54,04	23	0,167	23	72,10	22
4 (Valle Aurelia)	68,94	9	0,687	9	63,70	11	81,76	4	0,833	4	86,12	3
5 (Cipro Musei Vaticani)	75,60	2	0,620	11	77,33	1	84,65	1	0,833	3	90,14	1
6 (Ottaviano San Pietro)	58,34	17	0,217	20	62,87	12	81,96	3	0,989	2	82,74	7
7 (Lepanto)	65,20	12	0,476	14	65,50	8	80,51	5	0,723	7	87,30	2
8 (Flaminio)	49,68	21	0,190	21	51,03	23	62,55	10	0,167	11	81,24	8
9 (Spagna)	58,64	16	0,339	16	59,23	17	78,72	6	0,777	6	83,60	5
10 (Barberini)	60,74	14	0,495	12	59,57	16	58,22	18	0,167	19	75,02	20
11 (Repubblica)	72,83	3	0,759	4	69,77	3	61,27	11	0,167	12	79,06	10
12 (Termini)	65,70	11	0,482	13	64,90	9	83,95	2	0,992	1	84,46	4
13 (Vittorio Emanuele)	49,40	22	0,157	22	51,77	22	58,51	17	0,167	18	76,00	17
14 (San Giovanni)	54,71	18	0,410	15	52,90	20	59,80	15	0,167	16	77,44	14
15 (Re di Roma)	68,06	10	0,749	6	62,83	13	57,60	21	0,195	10	73,68	21
16 (Ponte Lungo)	69,81	8	0,716	8	66,00	6	54,66	22	0,167	22	70,04	23
17 (Furio Camillo)	70,75	6	0,752	5	66,20	5	58,07	19	0,167	20	75,52	19
18 (Colli Albani)	70,78	5	0,717	7	67,33	4	57,89	20	0,167	21	75,60	18
19 (Arco di Travertino)	70,98	4	0,784	2	64,13	10	60,12	14	0,167	13	76,50	16
20 (Porta Furba Quadraro)	64,58	13	0,685	10	60,50	15	45,34	25	0,003	25	64,84	25
21 (Numidio Quadrato)	41,71	25	0,064	25	43,67	25	46,77	24	0,003	24	65,94	24
22 (Lucio Sestio)	48,19	23	0,151	23	52,03	21	60,26	12	0,167	15	78,14	11
23 (Giulio Agricola)	43,30	24	0,092	24	45,93	24	60,25	13	0,167	14	77,54	13
24 (Subaugusta)	70,26	7	0,766	3	65,67	7	63,77	9	0,333	9	77,66	12
25 (Cinecittà)	52,66	20	0,243	19	54,73	19	59,62	16	0,167	17	77,02	15

SAW: cfr. formula (9); TOPSIS: cfr. formula (14) ; MEDIA: media aritmetica semplice dei punteggi degli indicatori

segue Tab.3 Gli indici compositi di qualità del servizio di trasporto delle stazioni della linea A della metropolitana di Roma

Stazioni	g=3 (Comfort nell'attesa)						g=4 (Sicurezza dell'utenza)					
	SAW	rango SAW	TOPSIS	rango TOPSIS	MEDIA	rango MEDIA	SAW	rango SAW	TOPSIS	rango TOPSIS	MEDIA	rango MEDIA
1 (Battistini)	41,84	23	0,018	23	56,60	20	79,78	24	0,091	25	83,8	24
2 (Cornelia)	48,29	18	0,135	20	61,53	14	87,81	19	0,364	20	90,95	17
3 (Baldo degli Ubaldi)	78,25	1	0,965	1	79,03	1	81,28	23	0,116	23	86,1	22
4 (Valle Aurelia)	72,36	2	0,667	2	76,80	2	83,87	21	0,262	21	86,35	21
5 (Cipro Musei Vaticani)	58,67	8	0,204	15	71,25	3	93,47	12	0,656	12	95,15	11
6 (Ottaviano San Pietro)	56,23	9	0,467	7	62,93	10	88,20	18	0,455	19	90,05	19
7 (Lepanto)	47,41	19	0,073	21	61,03	16	97,85	6	0,944	6	97,45	6
8 (Flaminio)	46,65	21	0,040	22	60,33	18	100,00	1	1,000	1	100	1
9 (Spagna)	49,85	16	0,267	13	58,08	19	92,16	14	0,653	14	93,15	14
10 (Barberini)	51,29	14	0,201	17	62,08	12	93,52	11	0,751	8	93,75	12
11 (Repubblica)	59,74	7	0,400	8	68,33	6	99,74	2	0,995	2	99,6	2
12 (Termini)	46,72	20	0,142	19	53,88	22	83,22	22	0,217	22	86,1	22
13 (Vittorio Emanuele)	50,66	15	0,201	18	60,93	17	95,06	7	0,754	7	96,1	7
14 (San Giovanni)	55,08	10	0,333	10	63,28	9	94,12	9	0,705	10	95,4	9
15 (Re di Roma)	51,46	13	0,201	16	62,38	11	92,26	13	0,653	13	93,3	13
16 (Ponte Lungo)	64,44	3	0,600	4	68,58	5	90,67	16	0,555	16	92,35	15
17 (Furio Camillo)	63,90	4	0,600	5	69,63	4	94,41	8	0,705	9	95,85	8
18 (Colli Albani)	61,54	6	0,665	3	65,10	8	91,35	15	0,651	15	91,9	16
19 (Arco di Travertino)	53,26	11	0,399	9	61,25	15	99,09	3	0,982	3	98,6	4
20 (Porta Furba Quadraro)	48,42	17	0,332	12	56,35	21	87,60	20	0,500	18	88,4	20
21 (Numidio Quadrato)	43,28	22	0,266	14	52,10	24	76,83	25	0,100	24	77,8	25
22 (Lucio Sestio)	61,65	5	0,599	6	67,73	7	99,06	5	0,950	5	99,3	3
23 (Giulio Agricola)	38,95	24	0,011	24	52,75	23	99,09	3	0,982	3	98,6	4
24 (Subaugusta)	37,92	25	0,008	25	51,98	25	89,75	17	0,553	17	90,95	17
25 (Cinecittà)	51,77	12	0,332	11	61,98	13	94,12	9	0,705	10	95,4	9

Tab.4 Distanze delle stazioni della linea A della metropolitana di Roma dalla soglia del livello qualitativo medio-basso

Stazioni	Prima dimensione (Accesso alla stazione)			Seconda dimensione (Informazione e attenzione al cliente)			Terza dimensione (Comfort nell'attesa)			Quarta dimensione (Sicurezza dell'utenza)		
	rango SAW	rango TOPSIS	rango media	rango SAW	rango TOPSIS	rango media	rango SAW	rango TOPSIS	rango media	rango SAW	rango TOPSIS	rango media
1 (Battistini)							5	5	2	6	7	6
2 (Cornelia)							0	2	-4			
3 (Baldo degli Ubaldi)	1	0	0	5	5	4				5	5	4
4 (Valle Aurelia)										3	3	3
5 (Cipro Musei Vaticani)												
6 (Ottaviano San Pietro)	-1	2	-6							0	1	1
7 (Lepanto)												
8 (Flaminio)	3	3	5				3	4	0			
9 (Spagna)												
10 (Barberini)				0	1	2						
11 (Repubblica)												
12 (Termini)							2	1	4	4	4	4
13 (Vittorio Emanuele)	4	4	4									
14 (San Giovanni)	0	-3	2									
15 (Re di Roma)				3	-8	3						
16 (Ponte Lungo)				4	4	5						
17 (Furio Camillo)				1	2	1						
18 (Colli Albani)				2	3	0						
19 (Arco di Travertino)												
20 (Porta Furba Quadraro)				7	7	7				2	0	2
21 (Numidio Quadrato)	7	7	7	6	6	6	4	-4	6	7	6	7
22 (Lucio Sestio)	5	5	3									
23 (Giulio Agricola)	6	6	6				6	6	5			
24 (Subaugusta)							7	7	7			
25 (Cinecittà)	2	1	1									