



## Tecniche di associazione spaziale per analizzare la percezione della qualità dei servizi nelle stazioni ferroviarie

### *Evaluating spatial association in passengers' perception of rail service quality at stations*

Laura EBOLI <sup>(\*)</sup>  
Carmen FORCINITI <sup>(\*)</sup>  
Gabriella MAZZULLA <sup>(\*)</sup>

**Sommario** - L'obiettivo di questo lavoro è proporre una metodologia per analizzare la variazione nello spazio della percezione degli utenti della qualità dei servizi di trasporto ferroviario. Nello specifico sono stati analizzati gli aspetti della qualità del servizio riferiti alle stazioni ferroviarie. Per verificare la presenza di aggregazioni di valori simili nella distribuzione spaziale degli attributi di qualità del servizio, sono state applicate le tecniche di associazione spaziale. Il lavoro è stato condotto utilizzando i dati ottenuti da indagini di soddisfazione svolte presso gli utenti di servizi di trasporto ferroviario operanti nell'intorno di Milano, nel Nord Italia. I risultati ottenuti forniscono utili indicazioni ai gestori dei servizi di trasporto ferroviario su come impiegare le risorse disponibili intervenendo solo nelle aree dove emergono forti criticità.

#### 1. Introduzione

Un'importante sfida per il futuro è rappresentata dalla realizzazione di un sistema di mobilità sostenibile, tale da risolvere da un lato problematiche relative all'ambiente, come l'inquinamento atmosferico e il consumo di risorse energetiche non rinnovabili, dall'altro problematiche di carattere sociale come la congestione del traffico.

Una strategia per realizzare una mobilità sostenibile consiste nel riorganizzare il sistema dei trasporti in modo da scoraggiare gli utenti ad usare i mezzi di trasporto privati in favore dei sistemi di trasporto pubblico, e i modi di trasporto "intelligenti" a basso impatto ambientale [1]. A questo proposito, il sistema ferroviario rappresenta un modo di trasporto che permette allo stesso tempo di ottenere risparmio energetico e di produrre basso impatto ambien-

**Summary** - In this paper, a methodology for analysing the variability of rail service quality over the space is proposed. More specifically, service quality aspects relating to the stations are analysed. Techniques of spatial association are applied in order to check the existing clusters of similar values in the distribution of the service quality attributes across the study area. The work is supported by customer satisfaction data relating to railway services used by passengers living in the hinterland of Milan, in the North of Italy. The obtained results can help the rail operators to orient the available resources towards the most critical aspects only on the areas where criticalities appear.

#### 1. Introduction

A heavy challenge for the future is achieving a sustainable transportation system, in order to solve environmental problems as air pollution, and consumption of no-renewable energy sources; but also to overcome social problems as traffic congestion.

A way to realise a sustainable mobility involves the rearrangements of transportation system aimed to deter the use of motorised private modes in favour of transit systems, and smart eco-friendly transportation modes [1]. Railway system is a transportation mode which allows at the same time energy-saving and low environmental impact to be obtained. Railway system use vehicles with electrical traction which consume less than vehicles having internal combustion engines and do not produce pollutants. For this reason, railway systems have been designated for realising as much as possible regional and metropolitan mobility in the next years [2].

<sup>(\*)</sup> Università della Calabria - Dipartimento di Ingegneria Civile.

<sup>(\*)</sup> University of Calabria - Department of Civil Engineering.

tale. Generalmente, i veicoli ferroviari presentano trazione elettrica per cui, in termini energetici, consumano meno di veicoli mossi da motori a combustione interna e, inoltre, non producono emissioni inquinanti. Per questi motivi, i sistemi ferroviari possono essere considerati come i sistemi di trasporto da continuare ad utilizzare nei prossimi anni per soddisfare le esigenze di mobilità regionale e metropolitana [2].

Un altro aspetto da tenere in considerazione è che il numero di passeggeri tende ad aumentare se il livello di qualità dei servizi forniti rispecchia le loro attese. In altri termini, se i passeggeri restano soddisfatti dopo aver effettuato uno spostamento in treno, questi potrebbero essere orientati a riutilizzare lo stesso servizio in futuro [3]. Di conseguenza, il miglioramento del livello di qualità dei servizi offerti dovrebbe condurre verso un più ampio utilizzo dei sistemi ferroviari. Gli operatori del settore ferroviario e le amministrazioni pubbliche possono, lavorando in collaborazione, migliorare la qualità del servizio anche tenendo in considerazione l'attrattività della ferrovia in relazione alla presenza di aree di interscambio [4].

Non sembra esserci una definizione universalmente accettata del costrutto di "qualità" [5]. Secondo la normativa ISO 9000 [6], la qualità riferita ad un qualsiasi tipo di servizio può essere definita come il grado in cui un insieme di caratteristiche intrinseche soddisfa i requisiti. Il problema principale è rappresentato dal fatto che definire e misurare la qualità del servizio di un sistema di trasporto collettivo e, in particolare di un sistema ferroviario, è alquanto complesso. In generale, la qualità del servizio può essere misurata dal punto di vista del gestore del servizio oppure da quello degli utenti. Nel primo caso, la qualità è valutata mediante misure quantitative come misure oggettive disaggregate espresse in termini di valori numerici. Alcuni esempi sono la programmazione degli orari delle corse, la copertura del servizio, gli standard di progetto del servizio, il numero di incidenti o interruzioni del servizio registrati, gli indicatori finanziari dell'azienda, il numero di reclami ricevuti. Queste misure di performance devono essere confrontate con indicatori di prestazione fissati e possono essere usati per valutare in che misura i servizi offerti corrispondono alle aspettative degli utenti [7].

Dal punto di vista degli utenti, la qualità del servizio può essere misurata considerando la soddisfazione dei passeggeri [8], [9] in relazione ai diversi aspetti della qualità. Questo tipo di misure sono qualitative e soggettive. Mediante indagini di soddisfazione degli utenti (*Customer Satisfaction Surveys*, CSS), ai passeggeri viene chiesto di valutare alcuni aspetti di qualità del servizio in termini di soddisfazione e di importanza. Gli utenti valutano la soddisfazione sulla base della propria percezione dei singoli attributi di qualità e della qualità globale del servizio. L'importanza è valutata in base alle aspettative che gli utenti hanno rispetto all'aspetto della qualità del servizio che stanno valutando. I risultati ottenuti dalle indagini CSS permettono agli operatori del servizio di individuare quali sono i fattori di qualità ai quali gli utenti danno più importanza. La conoscenza di questa informazione è rilevante

*However, there is another aspect to take into account. The number of passengers could increase if the level of quality of provided service meets their expectations. In other words, if the passengers remain satisfied after experiencing railway system, they could choose to reuse the service [3]. Consequently, improving the level of quality of rail service could lead to a greater use of railway systems. Rail operators and public administrations, working in co-operation, could improve rail service quality also by taking into account the attractiveness of the railways in relation to interchange areas for the vehicle plug-in recharging stations offer (hybrids and FEV) sharing services and ancillary services to facilitate modal inter-change [4].*

*There appears to be no universally accepted definition of the construct of "quality" [5]. According to ISO 9000 [6], for any kind of service, quality can be defined as the degree to which a set of inherent characteristics meets the requirements. The main problem consists in the complexity to define and measure the quality of rail service. More generally, service quality can be measured from the point of view of the rail operators or that of the users. In the first case, service quality is evaluated by means of quantitative measures, which are disaggregate objective measures expressed as numerical values. Some examples are schedule data, system maps, service design standards, accident and incident records, financial data, complaint records, and so on. These performance measures must be compared with a fixed standard performance and can be used for evaluating how much supplied services meet customer expectations [7].*

*From the users' point-of-view, service quality can be measured by considering customer satisfaction [8], [9]. This kind of measure is qualitative and subjective. By means of Customer Satisfaction Surveys (CSS), passengers are asked to rate or rank some aspects of service quality in terms of satisfaction and importance. Users evaluate satisfaction on the basis of their perception about quality of the various service aspects and the overall service. Instead, importance is expressed according to expectations that users have about a service aspect. CSSs can support the actions of rail operators to identify which service quality factors are considered the most important by their customers, and can be also used to help to prioritize future improvements, measure the degree of success of past initiatives, and track changes in service quality over time [10], [11].*

*The development of management programs of transit service quality is a fairly recent phenomenon in Europe. At first, the quality improvements were oriented towards transit companies, but after the introduction of the Standard EN 13816 [12], transit service quality started to become strongly oriented to customers. The EN 13816 provides suggestions to define, achieve and measure the quality of passengers transport service, and was integrated with the standard EN 15140 [13], which introduces basic requirements and recommendations for the measurement of quality of service provided [14]. These norms provide useful suggestions for elaborating methodologies addressed to mea-*

per valutare a quali interventi futuri dare priorità, per misurare il livello di successo di iniziative effettuate in passato e per tenere sotto controllo i cambiamenti in positivo e in negativo registrati nella qualità del servizio nel corso del tempo [10]. La valutazione della qualità percepita o della soddisfazione permette di elaborare strumenti di valutazione a supporto degli interventi operati dai gestori del trasporto pubblico locale [11].

Lo sviluppo di programmi manageriali legati alla qualità dei servizi di trasporto pubblico è un fenomeno abbastanza recente in Europa. All'inizio, i miglioramenti da operare sulla qualità erano orientati verso le aziende di trasporto. In seguito all'introduzione delle norme EN 13816 [12], la qualità ha iniziato a diventare fortemente legata al giudizio degli utenti. La norma EN 13816, che fornisce indicazioni per definire, ottenere e misurare la qualità, è stata integrata con la norma EN 15140 [13], che introduce i requisiti base e le raccomandazioni per misurare la qualità del servizio fornito [14]. Queste norme forniscono utili indicazioni per elaborare metodologie atte a misurare e valutare gli attributi relativi alla qualità del servizio offerto dai trasporti pubblici [15].

Sulla base delle indicazioni contenute nella norma EN 13816 e degli studi presenti in letteratura, la qualità del trasporto ferroviario può essere valutata considerando diversi aspetti o fattori, quali la programmazione e l'affidabilità del servizio, la copertura del servizio, le informazioni, il comfort, la pulizia, la sicurezza da incidenti e la sicurezza personale. Ogni aspetto può essere spiegato da un certo numero di attributi di qualità relativi ai treni, alle stazioni o ad entrambi. Ad esempio, la programmazione del servizio può essere definita dalla frequenza (numero di treni per ora di servizio o per giorno) e dall'orario di servizio (tempo in cui il servizio è disponibile); mentre l'affidabilità del servizio dipende dalla puntualità dei treni. La copertura del servizio si riferisce alla disponibilità nello spazio e può essere espressa in termini di caratteristiche della linea ferroviaria, numero, distanza e accessibilità delle stazioni ferroviarie. Le informazioni si riferiscono ai diversi aspetti del servizio e comprendono indicazioni relative alle partenze e agli arrivi secondo la tabella degli orari o eventuali variazioni fornite sia a bordo dei treni sia in stazione, indicazione sulla salita o discesa dei passeggeri in stazione, costo del biglietto. Il comfort si riferisce alle questioni relative al comfort dei passeggeri durante lo spostamento in treno e può comprendere il controllo della temperatura e della ventilazione a bordo e in stazione, la comodità dei posti a sedere a bordo e in stazione, il comfort di marcia dei treni, il controllo del rumore a bordo. La pulizia si riferisce sia ai treni sia alle stazioni. La sicurezza riguarda l'eventualità che i passeggeri possano essere coinvolti in un incidente, mentre la sicurezza personale riguarda l'eventualità di subire furti e/o molestie; entrambi gli aspetti possono essere valutati a bordo o in stazione. Altri aspetti della qualità del servizio si riferiscono alle tariffe operate dall'azienda di trasporto, alla cortesia del personale, alla salvaguardia ambientale e ai servizi di attenzione al cliente come la facilità di acquistare biglietti o di presentare reclami [16].

*sure and evaluate the attributes related to the quality of service supplied by public transport [15].*

*On the basis of the suggestions provided by the EN13816 and by the studies available in the literature, several aspects can be included for assessing rail service quality, as service scheduling and reliability, service coverage, information, comfort, cleanliness, and safety and security. Each aspect can be explicated through a certain number of attributes relating to trains and/or rail stations. As an example, service scheduling can be defined by service frequency (number of trains per hour or per day) and service time (time when the service is available), whereas service reliability depends on the regularity of trains that are on schedule and on time. Service coverage means service availability in the space and is expressed through railway line characteristics, number, distance and accessibility of rail stations. Information relates to indications about departure and arrival scheduled times of the trains both on board and at rail stations, boarding/alighting rail stations location, ticket costs, and so on. Comfort regards issues relating to passenger comfort while rail service is used, as climate control and seat comfort on board and at stations, trains and riding comfort, and train noise. Cleanliness refers to both trains and terminals. Safety concerns the possibility that users can be involved in an accident, and security concerns personal security against crimes; both aspects can be evaluated on trains and at rail stations. Other service aspects characterising transit services concern fares, personnel appearance, environmental protection, and customer services like ease of purchasing tickets and administration of complaints [16].*

*When rail service quality is estimated on the basis of passengers' perceptions, their judgements are strongly related to the rail station where the trip begins, to the railway route the user takes, or to the geographical area where the user lives. The perception of rail service quality results strongly related to the spatial characteristics of the area where the service is supplied. In the literature, the spatial characteristics of service quality are not so deeply investigated.*

*This paper focuses on the application of the techniques of spatial association for highlighting the spatial patterns that characterise the attributes of rail service quality at station. The main aim is to demonstrate that the evaluation of service quality relating to the station is strongly correlated to the spatial context where the service is carried out and with the users' socio-economic characteristics. The case study supporting the work is a railway service operating in the North of Italy and specifically in the hinterland of Milan. Users' perceptions about service quality were collected by means of a survey led by the transit company that supplies the railway services. A questionnaire was addressed to a sample of passengers for recording their perceptions about satisfaction and importance concerning several aspects of service quality.*

*The paper is organised as follows. The next section contains theoretical remarks concerning the methodology and*



Quando la qualità del servizio ferroviario è stimata sulla base delle percezioni degli utenti, i loro giudizi sono fortemente legati alla stazione ferroviaria in cui ha origine lo spostamento, alla linea ferroviaria scelta, o all'area geografica in cui l'utente risiede. La percezione della qualità del servizio risulta, perciò, fortemente relazionata alle caratteristiche spaziali dell'area in cui il servizio è offerto. In letteratura, tuttavia, sono pochi gli studi che prendono in considerazione le caratteristiche spaziali della qualità del servizio.

Questo articolo propone l'applicazione delle tecniche di associazione spaziale finalizzata a mettere in evidenza la componente spaziale che caratterizza gli attributi della qualità del servizio ferroviario valutata in corrispondenza delle stazioni. L'obiettivo principale è dimostrare che la valutazione della qualità del servizio, relativamente alla stazione, è fortemente legata al contesto spaziale in cui il servizio è operato e alle caratteristiche socio-economiche degli utenti. Il caso di studio scelto come base per questo lavoro è costituito dal servizio di trasporto ferroviario in esercizio in Lombardia (Italia) e nello specifico nell'intorno di Milano. Le percezioni degli utenti rispetto alla qualità del servizio in stazione sono state rilevate per mezzo di una campagna di indagini condotte per conto dell'azienda che gestisce il servizio. Un questionario è stato rivolto ad un campione di passeggeri per registrare le loro percezioni in termini di soddisfazione e di importanza relativa a diversi aspetti della qualità del servizio.

L'articolo è organizzato come segue. Il paragrafo successivo contiene riferimenti teorici relativi alla metodologia proposta e alle tecniche di analisi adottate. Il paragrafo 3 riguarda la caratterizzazione del caso di studio. Nella sezione 4 sono riportati e discussi i risultati principali ottenuti dall'applicazione della metodologia. Infine, nell'ultimo paragrafo sono riportate alcune considerazioni conclusive.

## 2. Metodologia

La metodologia proposta ha lo scopo di individuare la presenza di possibili schemi di associazione spaziale nella distribuzione dei valori di ciascun attributo di qualità del servizio.

Il primo passo riguarda l'elaborazione dei dati raccolti mediante le indagini di soddisfazione degli utenti (CSS), in cui i passeggeri hanno dichiarato il proprio giudizio in relazione alla soddisfazione rispetto agli aspetti della qualità del servizio e il livello di importanza per ciascun attributo. Generalmente, i giudizi sono dati considerando una scala numerica di valori ordinali.

Una misura di come la qualità del servizio viene valutata dagli utenti è rappresentata dai valori medi relativi a ciascuna attributo di qualità e alla qualità globale. Facendo riferimento alla soddisfazione relativa ad un attributo della qualità del servizio, il valore medio rappresenta il livello di soddisfazione dichiarato in media dai passeggeri. Analogamente, in riferimento all'importanza, il valore medio è il livello di importanza dichiarato in media dai passeggeri. Queste misure quantificano gli attributi della qualità del

*the adopted techniques. Section 3 regards the characterisation of the case study. In section 4 the main results of the proposed analysis are presented and discussed. Finally, concluding remarks are discussed in section 5.*

## 2. Methodology

*The suggested methodology aims to recognise possible spatial patterns among the value distributions for each service quality attribute.*

*The first step includes the elaboration of the data collected by means of the CSS. Answering to the questions of the survey, passengers declared their own judgment of satisfaction and a level of importance to the aspects of transit service quality. Generally, the judgments are given evaluating the attribute on an ordinal evaluation scale.*

*In order to provide a measure of how transit service quality is evaluated by users, the mean values relating to each attribute of service quality and global quality need to be calculated. Concerning satisfaction with an aspect of service quality, the mean represents the level of satisfaction claimed on the average by the passengers. The mean value is the level of importance declared on the average by the passengers. These measures quantify the attributes of transit service quality in terms of satisfaction and importance considering a unique value for the entire study area.*

*To take into account the spatial aspect, data must be linked to the point in the space to which are referred.*

*The second step aims to delimit the influence area of each station, which is the area where the passengers boarding at this station live. When the user's residence is known, data can be referred to the address where the user lives, and the address linked to the stop or station where the trip starts.*

*In many cases, in full compliance of the privacy, users declare only the stops or stations where they start and end the trip; this last case occurred in the survey supporting the present work. Consequently, the influence area must be estimated because the interviews can be only connected with the stations. A way for delimiting the influence area of a station consists of considering the distance within it can be reached by passengers. In other words, this distance depends on how much the users are willing to move for reaching the station. In the literature, many works suggested methodologies for fixing this distance and calculating the influence area of a station. Generally, the distance between the zone of residence and the stop varies from 400 meters for bus systems to 800 meters for railways [17], [18].*

*The third step concerns the estimation of average scores of satisfaction relating to each station. This step is fundamental because it is possible to observe whether the values relating to stations move away from the mean value calculated considering all the interviews. If the gap between the values of the unique station and those of the entire study area is considerable, data present spatial variability.*

servizio in termini di soddisfazione e di importanza considerando un unico valore rappresentativo dell'intera area di studio. Per tenere in considerazione le caratteristiche spaziali, i dati devono essere collegati ai punti nello spazio a cui sono riferiti.

Il secondo passo prevede la delimitazione dell'area di influenza di ciascuna stazione, che corrisponde all'area in cui i risiedono i passeggeri che potenzialmente utilizzano la stazione stessa. Quando la residenza dell'utente è nota, i dati possono essere riferiti all'indirizzo dell'utente e l'indirizzo può essere collegato alla stazione dove ha inizio lo spostamento. In molti casi, per questioni di privacy, gli utenti dichiarano solo la stazione in cui si recano per prendere il treno e non la zona di residenza. Questo è il caso delle indagini utilizzate in questo lavoro. Di conseguenza, l'area di influenza deve essere delimitata in base alle informazioni disponibili relative alla stazione di origine. Un modo per delimitare l'area di influenza di una stazione consiste nel considerare la distanza che gli utenti sono disposti a percorrere per raggiungere la stazione. In letteratura, diversi lavori propongono metodologie per determinare questa distanza e calcolare l'area di influenza. Generalmente, la distanza tra la zona di residenza e la fermata o stazione varia da 400 metri nel caso di sistemi di trasporto urbani su gomma a 800 metri nel caso di sistemi ferroviari suburbani e regionali [17], [18].

Il terzo passo riguarda la stima dei punteggi medi di soddisfazione relativi a ciascuna stazione. Questo è un passo fondamentale perché è possibile verificare se i valori relativi alle singole stazioni si discostano dal valore medio calcolato considerando tutto il campione. Se la distanza tra i valori degli attributi di qualità del servizio riferiti alle singole stazioni e quelli riferiti all'intera area di studio è rilevante, i dati presentano variazione spaziale.

Il quarto passo prevede l'applicazione delle tecniche statistiche di associazione spaziale per verificare la presenza o meno di aggregazioni di valori simili nella distribuzione dei valori degli attributi di qualità del servizio nell'area di studio. L'associazione, o autocorrelazione, spaziale è la tendenza della variabile di mostrare un certo grado di variazione sistematica nello spazio. In termini più teorici, l'autocorrelazione spaziale è la correlazione tra i valori di una singola variabile che può essere attribuita alla disposizione più o meno aggregata dei valori nello spazio bidimensionale. L'autocorrelazione comporta che le ipotesi di osservazioni indipendenti assunte nelle statistiche tradizionali non spaziali non sono più valide. Negli studi riguardanti le aree urbane questo fenomeno indica che i dati relativi a localizzazioni vicine tra di loro sono solitamente più simili rispetto ai dati localizzati più lontano [19]. L'associazione spaziale può essere il risultato di variabili mancanti e di errori di misurazione non osservabili nelle analisi multivariate [20]. I vantaggi che si possono ottenere dallo studio dell'autocorrelazione spaziale di una variabile sono molteplici [21]. Infatti, l'autocorrelazione spaziale fornisce test per verificare se la specificazione di un modello di regressione è corretta; permette di determinare l'entità degli effetti spaziali sulle

*The fourth step regards the application of statistical techniques of spatial association in order to check the presence of clusters of similar values in the distribution of the service quality attributes across the study area. Spatial association, or spatial autocorrelation, is the tendency of variables to display some degree of systematic spatial variation. In urban studies, this fact often means that data from locations nearby each other are usually more similar than data from locations far away from each other [19]. Spatial association can result from missing variables and unobservable measurement errors in multivariate analysis [20]. Main advantages of the study of spatial autocorrelation are [21]: to provide tests on model misspecification; to determine the strength of the spatial effects on the variables in the model; to allow for tests on assumptions of spatial stationarity and heterogeneity; to identify the role that distance decay or spatial interaction might have on any spatial autoregressive model; to allow for identifying the strength of associations among realizations of a variable among spatial units; to provide a focus on a spatial unit to better understand the effect that it might have on other units and vice versa ("local spatial autocorrelation"); to help in the study of outliers.*

Spatial association can be modelled by specific regression models, known as spatially autoregressive models. In general, the modelling process is preceded by the explanatory spatial data analysis (ESDA), which is a phase associated to the visual presentation of the data in the form of graphs and maps and leads to visualise spatial distributions, to identify atypical locations or spatial outliers, and to discover patterns of spatial association, clusters or hot spots.

In ESDA, the predominant approach to assess the degree of spatial association is based on global statistics. Among the most familiar tests for global spatial autocorrelation there is Moran's I, essentially defined as a cross product correlation measure that incorporates the space component by means of a spatial weights matrix W [22], and can be expressed as follow:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

where  $n$  is the number of areas,  $x_i$  is the value of the attribute considered in area  $i$ ,  $\bar{x}$  is the mean value of the attribute in the region of study,  $x_j$  is the value of the attribute considered in area  $j$ , and  $w_{ij}$  are the elements of a spatial lag operator  $W$  and represent a function of the distance between  $i$  and  $j$ . Moran's  $I$  serves as a test where the null hypothesis is the spatial independence (in this case its value would be zero). Positive values (between 0 and 1) indicate a direct correlation, and negative values (between -1 and 0) indicate an inverse correlation. To estimate the significance of the index, a statistical distribution has to be associated, which is usually the normal distribution.

variabili del modello; fornisce test per verificare il rispetto delle ipotesi di stazionarietà ed eterogeneità spaziale; permette di individuare l'eventuale relazione di dipendenza che una variabile può avere su un'altra. Inoltre, questo tipo di statistica permette di individuare l'influenza che una distanza limite fissata può avere sul modello di regressione spaziale; valutare se la geometria delle unità spaziali considerate può avere effetti sul comportamento della variabile; fornire test per verificare la presenza di relazioni spaziali nei dati; analizzare accuratamente ogni unità spaziale per comprendere se gli effetti spaziali possono influenzare altre unità spaziali limitrofe (autocorrelazione spaziale locale); essere di supporto nello studio dei valori anomali della distribuzione (*outliers*).

L'associazione spaziale può essere modellata mediante uno specifico tipo di modelli di regressione, noti con il nome di modelli di auto-regressione spaziale. Generalmente, il processo di modellazione del fenomeno è preceduto dall'analisi spaziale esplorativa dei dati, indicata comunemente con l'acronimo ESDA (*Exploratory Spatial Data Analysis*). L'analisi ESDA è una fase associata alla presentazione visiva dei dati mediante grafici e mappe in modo tale da individuare eventuali schemi di aggregazione spaziale caratterizzanti il fenomeno oggetto di studio. ESDA è una raccolta di tecniche per visualizzare le distribuzioni spaziali, identificare localizzazioni atipiche, individuare schemi di associazione spaziale, aggregazioni (*clusters*) o punti caldi (*hot spot*), e proporre modelli spaziali o altre forme di eterogeneità spaziale. Le misure di autocorrelazione spaziale si dividono in misure globali, riferite al fenomeno nella sua interezza, e misure locali, che si focalizzano su ciascuna delle unità spaziali nelle quali è suddivisa l'area di studio.

In ESDA, l'approccio predominante per valutare il grado di associazione spaziale è basato sulle statistiche globali. Tra i più comuni test per valutare l'autocorrelazione spaziale globale si colloca il cosiddetto "Indice  $I$  di Moran". Questa statistica è essenzialmente una misura di correlazione tra prodotti che comprende la grandezza "spazio" per mezzo di una matrice  $W$  di misure spaziali pesate [22]. L'indice globale  $I$  di Moran può essere espresso nella forma seguente:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

dove  $n$  è il numero di aree da considerare,  $x_i$  è il valore degli attributi considerati nell'area  $i$ ,  $\bar{x}$  è il valore medio dell'attributo nell'area di studio e  $w_{ij}$  sono gli elementi di un operatore spaziale  $W$ , funzione della distanza tra  $i$  e  $j$ . Generalmente, l'indice  $I$  di Moran viene utilizzato come test per verificare se l'ipotesi nulla di indipendenza spaziale è verificata. In caso positivo, il valore di  $I$  è uguale a 0 e ciò indica che non vi è dipendenza spaziale tra i valori della variabile. Nel caso in cui  $I$  assume valori positivi (compresi tra 0 e 1), questo significa che ci è una diretta correlazione tra i valori, se invece assume valori negativi (compresi tra 0 e -1) questo indica che vi è correlazione inversa. Per stimare la

*Techniques of global spatial association give information about the possible presence of spatial clusters, but they are not able to localise the points where these occur. In this regard, techniques of local spatial association can be applied for detecting places with unusual concentrations of high or low values. In the last few years, a statistics that has been used in many applications belongs to Local Indicators of Spatial Association (LISA) and is known as Local Moran's  $I$  [23].*

*The LISA allows for the decomposition of global indicators, such as Moran's  $I$ , into the contribution of each individual observation. The local version of Moran's  $I$  is given by the following expression:*

$$I_i = x_i \sum_j w_{ij} x_j \quad (2)$$

*where the terms are analogous to the elements of the global Moran's  $I$ . Unlike the global version, the Local Moran's  $I$  does not consider the deviation from the mean but measures the spatial association considering the single spatial unit. It is possible to derive the mean and the variance of  $I_i$  based on a randomization procedure, and inference can be carried out by obtaining a normalized statistic.*

*Interpretation of the Local Moran's  $I$  is few intuitive and the values of the indices are used for defining four patterns of local spatial association:*

1. High-high association: *the value of  $x_i$  is above the mean and the values of  $x_j$  at 'neighbouring' zones are generally above the mean, the statistic is positive;*
2. Low-low association: *both values are below the mean, the statistic is positive;*
3. High-low association: *the value at  $i$  is above the mean and the values at neighbouring zones are, in general, below the mean, this gives a negative statistics;*
4. Low-high association: *the value at  $i$  is below the mean and the weighted average is above the mean,  $I_i$  is negative.*

*These patterns can be reached from a Moran's scatterplot which is a useful visual tool for exploratory analysis, showing how similar an observed value is to its neighboring observations. It is a Cartesian plane where horizontal axis is based on the values of the observations and vertical  $Y$  axis is based on the weighted average or spatial lag of the corresponding observation on the horizontal  $X$  axis. The combination of LISA and a Moran's scatterplot tool provides information on different types of spatial association at the local level [24].*

### 3. Experimental context

*This study focuses on a railway service operating in the North of Italy that offers different types of connections, as regional lines and suburban lines connecting towns of the hinterland of Milan.*



significatività dell'indice  $I$ , è necessario associare ad esso una distribuzione statistica. Per questo scopo si considera la distribuzione normale.

Le tecniche globali di associazione spaziale forniscono informazioni sull'eventuale presenza di *clusters* spaziali, ma non sono in grado di indicare il punto nello spazio in cui ciò si verifica. Per localizzare le concentrazioni inusuali di alti o bassi valori, si possono utilizzare le tecniche locali di associazione spaziale. Negli ultimi anni, una statistica che è stata usata in molte applicazioni è l'“Indice  $I$  di Moran Locale” (LISA) [23].

Gli indicatori LISA permettono la decomposizione degli indicatori globali, come l'indice  $I$  di Moran, nel contributo di ciascuna osservazione. La versione locale dell'Indice  $I$  di Moran è data dalla seguente espressione:

$$I_i = x_i \sum_j w_{ij} x_j \quad (2)$$

dove i termini che compaiono sono analoghi a quelli dell'indice globale. Rispetto alla versione globale, l'Indice  $I$  di Moran Locale non considera la deviazione rispetto alla media ma misura l'associazione spaziale considerando le singole unità spaziali. È possibile derivare la media e la varianza di  $I_i$  in base ad una procedura di randomizzazione, l'inferenza può essere determinata ottenendo una statistica normalizzata.

L'interpretazione dei risultati ottenuti applicando l'indice di Moran locale è meno intuitiva rispetto a quella dei risultati della statistica globale. Per facilitare la lettura dei risultati è possibile individuare quattro schemi di associazione spaziale locale:

1. *High-high association*: il valore di  $x_i$  è al di sopra della media e i valori di  $x_j$  nelle zone limitrofe sono generalmente al di sopra della media, la statistica è positiva;
2. *Low-low association*: entrambi i valori sono al di sotto della media, la statistica è positiva;
3. *High-low association*: il valore in corrispondenza del punto  $i$  è al di sopra della media e i valori della variabile nelle zone circostanti sono al di sotto della media, la statistica è negativa;
4. *Low-high association*: il valore in corrispondenza del punto  $i$  è al di sotto della media e la media pesata è al di sopra della media, il valore di  $I_i$  è negativo.

Queste quattro condizioni possono essere rappresentate mediante un grafico a dispersione chiamato *Moran's Scatterplot*, che è uno strumento visivo per l'analisi esplorativa che mostra come valori simili possono essere osservati in punti vicini. Questo grafico è un piano Cartesiano in cui sull'asse X sono riportati i valori osservati, mentre sull'asse Y i valori medi spazialmente pesati corrispondenti alle osservazioni. La combinazione della statistica LISA e del diagramma a dispersione di Moran fornisce informazioni sui differenti tipi di associazione spaziale a livello locale [24].

*Users' perceptions about service quality, expressed in terms of satisfaction and importance, were collected through a face-to-face survey addressed to a sample of passengers; about 40,000 valid interviews were realized. Users were interviewed on board during the whole week in consecutive survey campaigns between May 2013 and May 2014.*

*The questionnaire addressed to users is structured into two main sections. The first one includes questions about general information about the trip, socio-economic characteristics of interviewed, travel habits. In particular, users were called to claim the station where the trip starts, in order to have spatial references. The second section investigates on the passengers' perceptions about the used services. Users were asked to express importance and satisfaction rates about 27 service quality attributes concerning safety, cleanliness, comfort, service, information, and personnel. The rates were given on an ordinal scale from 1 to 10. The service quality attributes regard aspects that can relate to routes, stations, or both. As above said, the main aim of this paper is to investigate on service quality at stations; therefore, 14 out of 27 service quality attributes were selected.*

*Survey was conducted in the entire Lombardia region and the collected data refer to a large area. A geographic information system (GIS) was used for delimiting the study area and giving it a circular shape in order to focus the analysis on the city of Milan. The final study area is centred on the city of Milan, and includes the radial railway routes that connect Milan with the suburban areas and with other municipalities of the Lombardy region (fig. 1).*

*The total population of the study area is equal to 6,816,552 inhabitants; on average females are slightly more numerous (51.6%) than males (48.4%). Active people correspond to 47.5% of resident people, and about 91% of these are occupied [25]. An amount of 218,544 trips is made daily by train.*

*Considering the study area, the sample of the survey was over than 20,000 interviews. In table 1, the main statistics about sample characteristics are reported. The sample is composed by 43% of males and 57% of females, aged between 16 and 25 years (43%), 26 and 40 years (32%), 41 and 65 years (22%), more than 65 years (3%). The level of education is medium-low for 42% of the sample, and medium-high for the remaining 58%. About 40% of the interviewees are students, followed by employees (39%). Lower percentages were registered for freelancers, managers, unemployed persons, housewives, and pensioners.*

*Passengers were interviewed prevalently in a weekday (81%) and during peak hours (55%). Users of regional trains resulted more numerous (53%) than users of suburban trains. Occasional users are about 22%, whereas an amount of 18% uses the service only one time per week. As expected, the travel document most used by the users is pass (68%), followed by simple ticket (29%) and daily*

## 3. Contesto sperimentale

Il contesto di studio è rappresentato dal servizio ferroviario che opera nel Nord Italia; i servizi offerti riguardano linee regionali e suburbane che collegano differenti città situate nell'hinterland di Milano.

Sono stati raccolti dati riguardo le percezioni di un campione di passeggeri sulla qualità dei servizi utilizzati tramite interviste *face-to-face*; le interviste valide ammontano a circa 40.000. Le interviste sono state realizzate a bordo dei treni durante l'intera settimana in campagne di indagini consecutive tra il mese di maggio del 2013 e il mese di maggio del 2014.

Il questionario adottato per le interviste è strutturato in due sezioni principali. La prima sezione include domande su informazioni generali riguardo il viaggio, sulle caratteristiche socio-economiche dell'intervistato, e sulle sue abitudini di viaggio. In particolare, agli utenti è stato chiesto di fornire informazioni sulla stazione di accesso al fine di avere un riferimento spaziale del passeggero. La seconda sezione si focalizza sulla rilevazione delle percezioni dei passeggeri riguardo i servizi utilizzati. Ai passeggeri era richiesto un voto di soddisfazione e di importanza su 27 attributi di qualità del servizio riguardo ad aspetti quali la sicurezza, la pulizia, il comfort, il servizio, l'informazione, e il personale. I voti erano richiesti su una scala di valutazione da 1 a 10. I 27 attributi riguardano aspetti che possono essere relativi al percorso, alla stazione, o a entrambi. Come sopra specificato, lo scopo del lavoro proposto è quello di investigare sulla qualità degli aspetti del servizio relativi alle stazioni; pertanto, sono stati selezionati 14 attributi sui 27 complessivi.

L'indagine è stata condotta nell'intera regione Lombardia, e i dati raccolti si riferiscono quindi ad un'ampia area di studio. L'area di studio è stata delimitata tramite un sistema geografico informativo (GIS), ed è stata data una forma circolare all'area al fine di focalizzare l'analisi sulla città di Milano. L'area di studio definitiva è centrata sulla città di Milano e include i percorsi ferroviari radiali che collegano Milano con le aree suburbane e con altri comuni della Lombardia (fig. 1).

La popolazione complessiva dell'area di studio è di 6.816.552 di abitanti; in media le donne sono leggermente più numerose (51,6%). La popolazione attiva corrisponde al 47,5% della popolazione residente, e circa il 91% degli attivi risultano occupati [25]. 218.544 spostamenti vengono effettuati giornalmente su treno.

Facendo riferimento all'area di studio, il campione è costituito da oltre 20.000 intervistati. Nella tabella 1 sono riportate le principali statistiche descrittive sul campione. Esso è composto per il 43% da maschi e il 57% da femmine, in età tra i 16 e i 25 anni (43%), tra i 26 e i 40 anni (32%), i 41 e i 65 anni (22%), e oltre i 65 anni (3%). Il livello di educazione risulta medio-basso per il 42% del campione, e medio-alto per il rimanente 58%. Circa il 40% degli intervistati sono studenti, e impiegati per il 39%. Una più bassa per-

ticket (3%). The majority of users declared to trip for work (42%) and study (36%) purposes and with a daily frequency (60%).

## 4. Results

### 4.1. Service quality factors

The service quality attributes relating to station can be classified into seven categories. "Personal security at station" relates to safety and refers to the user's perception of security when staying in the station. Service quality attributes of cleanliness are "Cleanliness of station", which regards the actual cleanliness of the places in the station, and "Maintenance of station", referred to the appearance of the places and infrastructures in station. Also the attribute of comfort named "Crowding on board" can be included in the evaluation of service quality at station. This assumption can be explicated whether the user considers the aspect of crowding on board as relevant for choosing the station.

The attributes related to service are "Frequency of runs", "Punctuality of runs", "Integration with other transit systems", and "Localisation of stations". The first two attributes focus on typical aspects of transit service, and can be related to the station because these aspects are strictly related to the service supplied at station and the management of the station itself. "Integration with other transit system" regards the price integration of different transit system that users can take in the same station or in close proximity. "Localisation of station" relates to the positioning of stations across the urban space. Additional services are "Parking" and "Facilities for Disabled". The attributes for evaluating the information aspect are "Information at

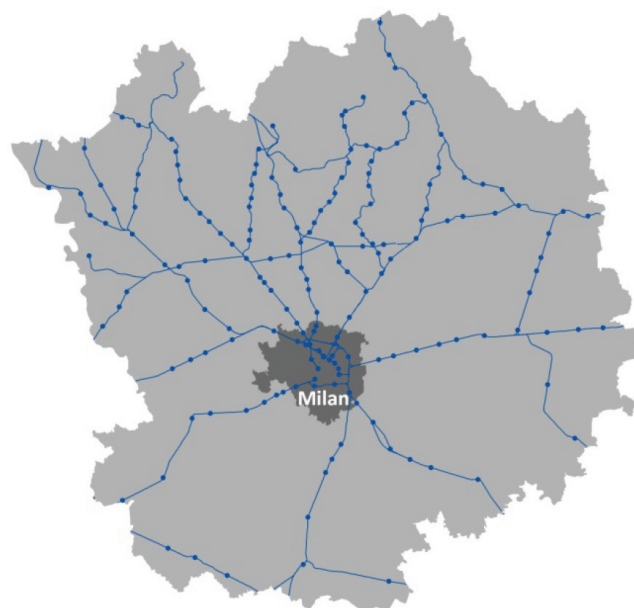


Fig. 1 - Area di studio.  
Fig. 1 - Case study area.



centuale è stata registrata per i professionisti, i manager, i disoccupati, le casalinghe, e i pensionati.

I passeggeri sono stati intervistati prevalentemente nei giorni feriali della settimana (81%) e durante le ore di punta (55%). Gli intervistati sui treni regionali (53%) risultano essere più numerosi di quelli sui treni suburbani. Gli utenti occasionali sono circa il 22% del campione, mentre il 18% utilizza il servizio una o due volte a settimana. Come atteso, il titolo di viaggio più utilizzato è il pass (68%), seguito dal biglietto di una corsa (29%) e il biglietto giornaliero (3%). La maggior parte degli utenti ha dichiarato di viaggiare per lavoro (42%) e per studio (36%), e con una frequenza giornaliera (60%).

4. Analisi dei risultati

4.1. Gli attributi di qualità del servizio

Gli attributi di qualità del servizio relativi alle stazioni possono essere classificati in sette categorie. “Sicurezza personale in stazione” si riferisce alla sicurezza percepita dall’utente in termini di furti e molestie mentre si trova alla stazione. Gli attributi riguardanti la pulizia sono “Pulizia stazioni”, che riguarda la pulizia reale dei luoghi in stazione, e “Manutenzione e decoro stazioni”, riferita alla manutenzione dei luoghi e infrastrutture alla stazione. Anche l’attributo legato al comfort “Affollamento” può essere incluso nella nostra valutazione, in quanto l’utente potrebbe considerare questo aspetto per la scelta della stazione di salita sul treno, dove lo stesso può essere più o meno affollato. Gli attributi relativi al servizio sono “Orario dei treni (frequenza e distribuzione nella giornata)”, “Puntualità dei treni”, “Integrazione con altri mezzi pubblici”, e “Distribuzione delle stazioni nel territorio”. I primi due attributi si riferiscono a tipici aspetti di qualità del servizio, e possono essere relazionati alla stazione perché strettamente legati al servizio offerto alla stazione e alla gestione della stazione stessa. L’attributo “Integrazione con altri mezzi pubblici” riguarda l’integrazione tariffaria dei diversi sistemi di trasporto pubblico che l’utente può utilizzare dalla stessa stazione o nelle vicinanze. L’attributo “Distribuzione delle stazioni nel territorio” si riferisce al luogo in cui si trova la stazione nell’area urbana. L’aspetto relativo ai servizi aggiuntivi è descritto da attri-

Caratteristiche del campione  
Sample characteristics

TABELLA 1 – TABLE 1

Caratteristiche Characteristics		
Sesso Gender	Maschio - Male	43%
	Femmina - Female	57%
Età Age	16-25	43%
	26-40	32%
	41-65	22%
	>65	3%
Titolo di studio Qualification	Scuola primaria - Degree of primary school	23%
	Scuola secondaria di I grado - Degree of secondary school	19%
	Scuola secondaria di I grado - Degree of high school	37%
	Laurea - Bachelor's degree at university	21%
Stato occupazionale Employment status	Impiegato - Employee	39%
	Manager - Manager	2%
	Imprenditore - Entrepreneur	1%
	Libero professionista - Freelance	8%
	Lavoratore autonomo - Self-employed	2%
	Disoccupato - Unemployed	4%
	Studente - Student	40%
	Casalinga - Housewife	1%
	Pensionato - Retired	3%
Motivo del viaggio Trip purpose	Lavoro - Work	42%
	Studio - Study	36%
	Attività burocratiche - Errands	6%
	Attività personali - Personal activities	14%
Frequenza del viaggio Frequency of journey	Turismo - Tourism	2%
	Giornaliera - Daily	60%
	1-2 volte a settimana - 1-2 times a week	18%
	Occasionale - Sporadically	22%
Titolo di viaggio Type of ticket	Corsa semplice - Simple ticket	29%
	Carnet - Carnet	3%
	Pass - Pass	68%
Tipo di servizio Type of service	Regionale - Regional lines	53%
	Suburbano - Suburban lines	47%
Fascia oraria Time band	Ora di morbida - No-peak hour	45%
	Ora di punta della mattina - Morning peak hour	16%
	Ora di punta del pomeriggio - Midday peak hour	22%
	Ora di punta della sera - Evening peak hour	17%
Tipo di giorno Type of day	Feriale - Weekday	81%
	Festivo - Non-working day	7%
	Pre-festivo - Pre-holiday	12%

station”, “Complaints”, and “Info connections with other transit systems”. The first attribute includes the evaluation of all the means used in station for providing information to users about delays, strikes, route changes, technical problems (information dashboards, audio announcements, etc.). “Complaints” regards the facility to communicate with company offices for presenting complaints or requests and the necessary time to receive a response. “Info connections with other transit systems” includes all the aspects related to the release of information about the connections with other routes or transit systems in station. The last factor focuses on the personnel and, in particular, on the evaluation of courtesy and competence of personnel who works in station.

buti quali “Parcheggio nella stazione di partenza” e “Accessibilità per i disabili”. Gli attributi per valutare l’aspetto relativo alle informazioni sono invece “Informazione nelle stazioni”, “Possibilità di fare reclami”, e “Informazioni su vettori coincidenti”. Il primo attributo include la valutazione di tutti i mezzi disponibili in stazione per le informazioni agli utenti riguardo a ritardi, scioperi, modifiche dei percorsi, problemi tecnici. L’attributo “Possibilità di fare reclami” riguarda la facilità di comunicare con gli uffici per presentare reclami o richieste, e il tempo di risposta degli uffici. L’attributo “Informazioni su vettori coincidenti” include tutti gli aspetti relativi al rilascio di informazioni sui collegamenti con altre linee o altri sistemi di trasporto disponibili in stazione. L’ultimo aspetto riguarda il personale e, in particolare, la cortesia e competenza del personale in stazione.

I dati raccolti tramite le interviste sono stati elaborati; nello specifico, sono stati calcolati i voti medi di importanza e soddisfazione per ciascun attributo di qualità. Come si può osservare dalla tabella 1, gli utenti hanno giudicato come più importanti gli attributi “Puntualità dei treni” (9,18), “Sicurezza personale in stazione” (9,17), e “Accessibilità per i disabili” (9,01). Gli attributi invece che gli utenti hanno considerato meno importanti sono “Parcheggio nella stazione di partenza” (7,97), “Manutenzione e decoro stazioni” (8,13), e “Informazioni su vettori coincidenti” (8,27). Si può comunque osservare che i voti medi di importanza risultano alti per tutti gli attributi analizzati.

Al contrario, i voti medi di soddisfazione risultano molto più bassi rispetto a quelli di importanza. Soltanto tre attributi hanno ottenuto un giudizio sopra la sufficienza: “Distribuzione delle stazioni” (6,71), “Cortesia e competenza del personale in stazione” (6,24), e “Sicurezza personale in stazione” (6,12). Gli attributi più insoddisfacenti sono “Puntualità dei treni” (4,88), “Possibilità di fare reclami” (5,00), e “Accessibilità per i disabili” (5,01).

Dall’analisi si evidenzia che i due attributi che gli utenti considerano come i più importanti sono gli stessi due per i quali il livello di soddisfazione è il più basso. Sulla base di questi risultati, l’azienda che offre il servizio potrebbe investire le proprie risorse per migliorare il servizio in termini di puntualità dei treni e accessibilità ai disabili. In particolare, interventi di questo tipo dovrebbero interessare le stazioni per le quali si riscontrano maggiori criticità.

#### 4.2. Tecniche di associazione spaziale

Per tener conto della componente spaziale dei dati e per definire un’area di influenza ad ogni stazione, ogni singola intervista è stata associata alla stazione corrispondente all’inizio del viaggio. I voti medi di soddisfazione possono essere così calcolati per le aree di influenza di ciascuna stazione, e i risultati possono essere analizzati tramite statistiche descrittive. Come mostrato in tabella 2, i voti medi di soddisfazione riferiti alle stazioni mostrano una rilevante variazione nello spazio. Ad esempio, i voti di soddisfazione per gli attributi “Puntualità dei treni” mostrano una variazione

*The data collected during the survey were elaborated and the average importance rate and the average satisfaction rate were calculated for each service quality attributes. As reported in table 1, users judged as most important attributes such as “Punctuality of runs” (9.18), “Personal security at station” (9.17), and “Facilities for disabled” (9.01). On the other hand, the attributes that users considered as the least important are “Parking” (7.97), “Maintenance of station” (8.13), and “Info connections with other transit systems” (8.27). Anyway, the average rates resulted high for all the investigated attributes.*

*The average rates of satisfaction result much lower than the average rates of importance. Only for three attributes the value exceeds the passing mark of 6, and specifically for “Localisation of station” (6.71), “Courtesy and competence in station” (6.24), and “Personal security at station” (6.12). The least satisfactory service quality attributes are “Punctuality of runs” (4.88), “Complaints” (5.00), and “Facilities for disabled” (5.01).*

*This analysis highlights that the two attributes that users considered as the most important result to be the same attributes whose level of quality least satisfy them. On the basis of this result, transit company could invest resources for improving the punctuality and for realising more suitable facilities for disabled. These interventions could be operated on all the stations whether the spatial component of data is overlooked.*

#### 4.2. Spatial association

*The interviews were connected to the station corresponding to the start of the trip for taking into account the spatial component of data and for defining the influence area of each station. The average rates of satisfaction can be calculated for the areas of influence of each station, and the results can be analysed by means of descriptive statistics. As shown in table 2, the average satisfaction rates referred to stations show a great variation. As an example, the satisfaction rates obtained for the attribute “Punctuality of runs” show a variation equal to 7.33 between the minimum (2.00) and the maximum value (9.33); the standard deviation is 0.90. This result means that there are stations where the level of quality of this attribute is evaluated with good scores, and others where the level of the quality is perceived as inadequate. The same considerations can be made for all the attributes of service quality listed in table 2.*

*The variation shown by the average satisfaction rates can relate to several aspects. The judgments given by users are strongly related to the characteristics of the individual and to the characteristics of the place where he lives or takes the train. These aspects, which result difficult to quantify, can be taken into account by investigating the possible presence of spatial dependency among the distribution of the values of the transit service quality attributes. For this aim, the techniques of spatial association can be applied.*

TABELLA 2 – TABLE 2

Statistiche descrittive sui voti medi di importanza e soddisfazione riferiti alle stazioni  
*Descriptive statistics of average importance and satisfaction rates calculated for stations*

Attributo di qualità dei servizi <i>Service quality attributes</i>		Voto medio di importanza <i>Importance rate</i>	Voto medio di soddisfazione <i>Satisfaction rate</i>	Voto minimo di soddisfazione <i>Minimum sat. rate</i>	Voto massimo di soddisfazione <i>Maximum sat. rate</i>	Range <i>Range</i>	Deviazione standard <i>Standard deviation</i>
Sicurezza <i>Safety</i>	Sicurezza personale in stazione <i>Personal security at station</i>	9,17	6,12	3,14	9,00	5,86	0,86
Pulizia <i>Cleanliness</i>	Pulizia stazioni <i>Cleanliness of station</i>	8,31	5,24	2,67	8,14	5,48	0,79
	Manutenzione e decoro stazioni <i>Maintenance of station</i>	8,13	5,18	2,22	7,60	5,38	0,87
Comfort <i>Comfort</i>	Affollamento <i>Crowding on board</i>	8,40	5,31	3,22	10,00	6,78	0,93
Servizio <i>Service</i>	Orario dei treni (frequenza e distribuzione nella giornata) <i>Frequency of runs</i>	8,94	5,76	1,89	8,25	6,36	0,74
	Puntualità dei treni <i>Punctuality of runs</i>	9,18	4,88	2,00	9,33	7,33	0,90
	Integrazione con altri mezzi pubblici <i>Integration with other transit systems</i>	8,43	5,80	3,50	8,00	4,50	0,68
	Distribuzione delle stazioni nel territorio <i>Localisation of stations</i>	8,44	6,71	4,00	8,80	4,80	0,71
Servizi aggiuntivi <i>Additional services</i>	Parcheggio nella stazione di partenza <i>Parking</i>	7,97	5,65	3,35	10,00	6,65	0,95
	Accessibilità per i disabili	9,01	5,01	1,50	8,75	7,25	0,98
Informazione <i>Information</i>	Informazione nelle stazioni <i>Information at station</i>	8,59	5,35	3,10	8,50	5,40	0,75
	Possibilità di fare reclaim <i>Complaints</i>	8,38	5,00	3,20	9,00	5,80	0,92
	Informazioni su vettori coincidenti <i>Info connections with other transit systems</i>	8,27	5,08	3,25	9,00	5,75	0,86
Personale <i>Personnel</i>	Cortesia e competenza del personale in stazione <i>Courtesy and competence in station</i>	8,39	6,24	4,20	9,00	4,80	0,75
Qualità del servizio complessivo <i>Overall service quality</i>			5,74	3,29	9,33	6,05	0,70

che va da un minimo valore pari a 2,00 a un massimo di 9,33; la deviazione standard è pari a 0,90. Questo risultato indica che ci sono stazioni dove il livello di qualità di questo attributo è buono, e altre stazioni caratterizzate da un inadeguato livello di qualità. Le stesse considerazioni possono essere fatte per tutti gli attributi di qualità del servizio riportati in tabella 2.

*The global Moran's Index I was calculated for each attribute. The spatial relationship assumed among features is inverse distance. This means that all the features impact or influence all the other features inversely proportional to the distance among these. The distances when measuring spatial autocorrelation are calculated as the straight-line distance between two points (Euclidean distance).*



I giudizi espressi dagli utenti intervistati sono fortemente legati alle caratteristiche dell'individuo e alle caratteristiche del luogo in cui vive o prende il treno. Questi aspetti, che risultano difficili da valutare quantitativamente, possono essere tenuti in conto indagando sulla possibile presenza di dipendenza spaziale nella distribuzione dei valori degli attributi di qualità del servizio. A questo scopo, è utile applicare le tecniche di associazione spaziale.

Per ciascun attributo è stato calcolato l'indice globale di Moran  $I$ . La relazione spaziale assunta è quella della distanza inversa. Ciò significa che le caratteristiche influenzano tutte le altre in modo inversamente proporzionale alla distanza tra le stesse. Le distanze sono calcolate come distanze lineari tra due punti (distanza Euclidea).

I risultati, riportati in tabella 3, mostrano che la distribuzione dei valori per ciascuna variabile rappresentante l'attributo di qualità del servizio presenta un indice  $I$  positivo, che indica una correlazione diretta. Una distribuzione normale è associata per stimare la significatività dell'indice.

In questo caso, la distribuzione dei valori di ciascuna variabile rappresentante l'attributo di qualità presenta dei *clusters*. Esiste una probabilità minore dell'1% che il *cluster* può essere il risultato di una relazione casuale (fig. 2); di conseguenza, l'ipotesi nulla dell'indipendenza spaziale può essere rigettata.

Dopo aver rilevato la presenza di associazione spaziale tramite l'applicazione delle statistiche di tipo globale, la localizzazione dei *clusters* può essere indagata applicando statistiche di associazione spaziale di tipo locale. Infatti, è stato calcolato l'indice di Moran locale assumendo che la relazione spaziale tra le caratteristiche è la distanza inversa calcolata come distanza lineare tra due punti (distanza Euclidea).

Al fine di facilitare l'interpretazione dei risultati, output grafici sono stati riportati nelle figg. 3, 4, 5, 6 e 7.

L'associazione *high-high* (HH) significa che c'è un *cluster* di valori sopra la media e che la statistica è positiva. D'altro canto, l'associazione *low-low* (LL) indica la presenza di un *cluster* composto da valori sotto la media, e un indice positivo. Nel caso di associazione *high-low* (HL), un valore sopra la media è vicino a valori sotto la media, e dà una statistica di valore negativo. Infine, l'associazione *low-high* (LH) significa che un valore sotto la media è localizzato vicino a valori sopra la media.

Osservando le mappe riportate nelle figg. 3, 4, 5, 6, e 7, è possibile evidenziare relazioni spaziali simili tra i voti di soddisfazione espressi dai passeggeri e interpretare i risultati come nel seguito.

Osservando la fig. 3a, la distribuzione spaziale dei valori relativi alla qualità del servizio complessivo mostra un'associazione LL a Sud-Ovest, vicino la città di Vigevano e a Nord-Est, tra la città di Lecco e di Bergamo. Un'associazione LH di valori bassi vicino valori alti può invece essere osservata nell'area Sud-Est, corrispondente alla città di Crema. A nord di Crema c'è un *cluster* di valori alti vicino a valori bassi (HL).

*The results, reported in table 3, show that the value distributions of each variable representing the service quality attributes present positive indices  $I$ , that indicate a direct correlation. The normal distribution is associated for estimating the significance of the index.*

*In this case, the values distributions of each variable representing the service quality attributes present clustered patterns. There is less than 1% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance (fig. 2); consequently, the null hypothesis of spatial independence can be rejected.*

*After having detected the presence of spatial association by the application of global statistics, the localisation of the clusters can be investigated applying the local statistics of spatial association. Local Moran's  $I$  was performed on data assuming that the spatial relationship among features is inverse distance calculated as the straight-line distance between two points (Euclidean distance).*

*In order to facilitate the interpretation of the results, graphical outputs are reported in figg. 3, 4, 5, 6, and 7. The high-high pattern (HH) represents that there is a cluster of values above the mean and the statistic is positive. On the other hand, the low-low pattern (LL) indicates the presence of a cluster composed of values below the mean, and the index  $I$  is positive. In the case of high-low (HL) a value above the mean is near values below the mean, and this gives a negative statistics. Then the low-high pattern (LH) means that a value below the mean is located near values above the mean.*

*By observing the maps reported in figg. 3, 4, 5, 6, and 7, it is possible to highlight similar spatial patterns among the passengers' satisfaction rates and to interpret the results.*

*Looking at fig. 3a, the spatial distribution of overall service quality values showed LL patterns at South-West, near the city of Vigevano and at North-East, between the cities of Lecco and Bergamo. LH pattern of low values near high values (above the mean) can be observed in the South-East area, corresponding to Crema. At the North of Crema, there is a cluster of high values near low values (HL). These same patterns can be observed in the maps related to the spatial distribution of the attributes "Information at station" and "Info connections with other transit systems" (figg. 3b and 3c). This means that these two attributes play an important role in the explanation of users' perception about overall transit service quality. The presence of the cluster is not random but it depends on the spatial characteristics of the attributes.*

*LL spatial patterns located at South-West, near the city of Vigevano, and located at North-East, between the cities of Lecco and Bergamo, are shown by the maps of "Cleanliness of station", "Maintenance of station", and "Integration with other transit systems" (fig. 4). This means that the selected area is affected by clusters of low levels (values below the mean) of passengers' satisfaction with the three attributes of service quality mentioned above. For these areas, the same LL patterns can be observed in the spatial*

TABELLA 3 – TABLE 3

Risultati relative all'Indice di Moran *I*  
Results of Moran's *I* Index

	Indice di Moran <i>Moran's index</i>	Valore atteso <i>Expected index</i>	Varianza <i>Variance</i>	Z Score	p-value	Pattern
Sicurezza personale in stazione <i>Personal security at station</i>	0,004769	-0,000043	0,000	15,29	0,000	Clustered
Pulizia stazioni <i>Cleanliness of station</i>	0,009957	-0,000043	0,000	31,781	0,000	Clustered
Manutenzione e decoro stazioni <i>Maintenance of station</i>	0,008504	-0,000043	0,000	27,16	0,000	Clustered
Affollamento <i>Crowding on board</i>	0,018469	-0,000043	0,000	58,83	0,000	Clustered
Orario dei treni (freq. e distr. nella giornata) <i>Frequency of runs</i>	0,002062	-0,000043	0,000	6,69	0,000	Clustered
Puntualità dei treni <i>Punctuality of runs</i>	0,002868	-0,000043	0,000	9,25	0,000	Clustered
Integrazione con altri mezzi pubblici <i>Integration with other transit systems</i>	0,002538	-0,000043	0,000	8,20	0,000	Clustered
Distribuzione delle stazioni nel territorio <i>Localisation of stations</i>	0,006872	-0,000043	0,000	21,98	0,000	Clustered
Parcheggio nella stazione di partenza <i>Parking</i>	0,003770	-0,000043	0,000	12,12	0,000	Clustered
Accessibilità per i disabili <i>Facilities for disabled</i>	0,004746	-0,000043	0,000	15,22	0,000	Clustered
Informazione nelle stazioni <i>Information at station</i>	0,002923	-0,000043	0,000	9,43	0,000	Clustered
Possibilità di fare reclaim <i>Complaints</i>	0,004757	-0,000043	0,000	15,25	0,000	Clustered
Informazioni su vettori coincidenti <i>Info connections with other transit systems</i>	0,005443	-0,000043	0,000	17,43	0,000	Clustered
Cortesìa e competenza del personale in stazione <i>Courtesy and competence in station</i>	0,001610	-0,000043	0,000	5,25	0,000	Clustered
Qualità del servizio complessivo <i>Overall service quality</i>	0,003380	-0,000043	0,000	10,88	0,000	Clustered

Queste stesse relazioni possono essere osservate nelle mappe relative alla distribuzione spaziale degli attributi “Informazione nelle stazioni” e “Informazioni su vettori coincidenti” (figg. 3b e 3c). Ciò significa che questi due attributi giocano un ruolo importante nella percezione degli utenti sul servizio complessivo. La presenza del *cluster* non è casuale ma dipende dalle caratteristiche spaziali degli attributi.

Relazioni spaziali LL localizzate a Sud-Est, vicino la città di Vigevano, e a Nord-Est, tra le città di Lecco e Bergamo, si possono osservare nelle mappe sulla “Pulizia stazioni”, “Manutenzione e decoro stazioni”, e “Integrazione con altri mezzi pubblici” (fig. 4). Ciò significa che l'area selezio-

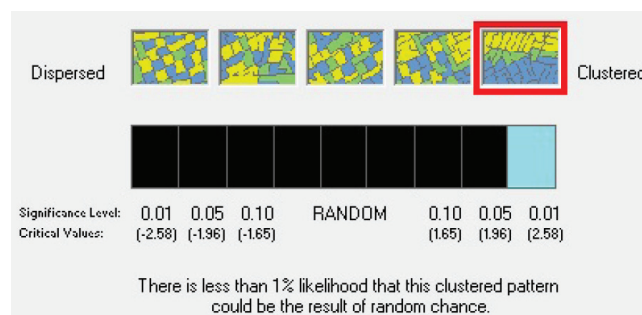


Fig. 2 - Output grafico dell'indice di *I*.  
Fig. 2 - Graphical output of Moran's index *I*.

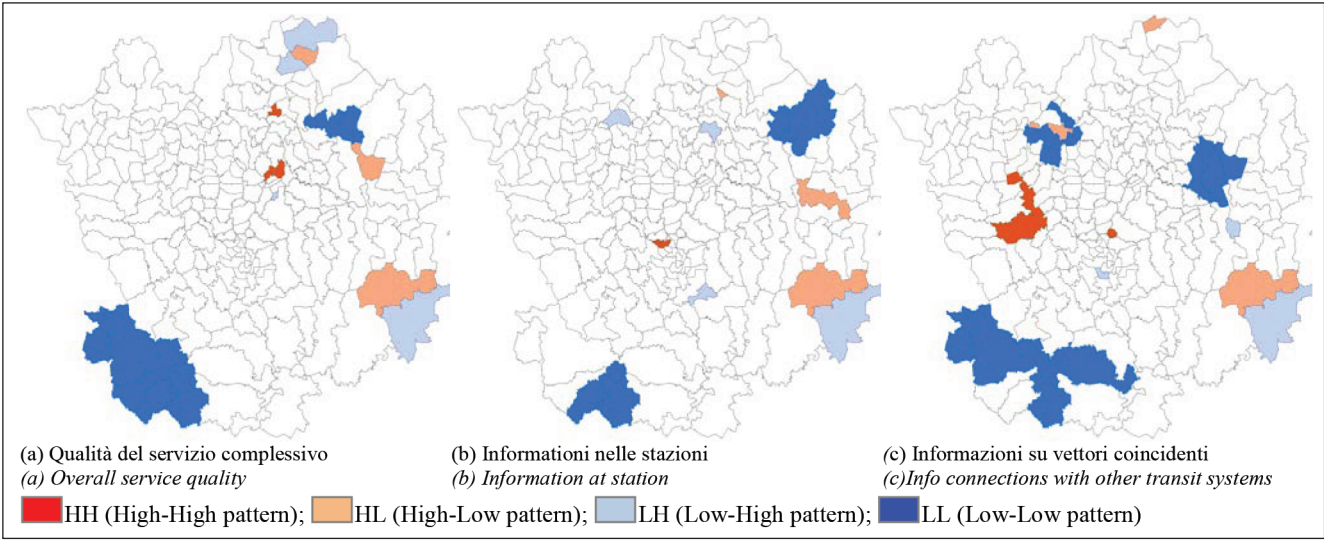


Fig. 3 - Risultati relativi all'indice Anselin Moran di tipo locale (1).  
Fig. 3 - Results of Anselin Local Moran's I (1).

nata è caratterizzata da *clusters* di valori bassi di soddisfazione dei passeggeri su questi tre attributi (al di sotto della media). Per queste aree, le stesse relazioni LL possono essere osservate nella distribuzione spaziale della qualità complessiva del servizio; pertanto possiamo affermare che le percezioni sul livello di qualità di questi tre attributi influenzano il giudizio sul servizio complessivo.

Gli attributi "Sicurezza personale in stazione" e "Affollamento" mostrano relazioni LL a Sud-Ovest, vicino Vigevano (figg. 5a e 5b), mentre "Parcheggio nella stazione di partenza" mostra relazioni LL a Nord-Est (fig. 5c). Le stesse relazioni possono essere osservate nelle mappe relative alla qualità complessiva del servizio, e ciò significa che in que-

distribution of the overall transit service quality; for this reason the perceptions about the level of quality of these three attributes of transit service influence the judgment about the overall service quality.

"Personal security at station" and "Crowding on board" have LL spatial patterns located at South-West, near the city of Vigevano (figg. 5a and 5b), whereas "Parking" have LL patterns located at North-East (fig. 5c). The same patterns can be observed in the map referred to the "Overall service quality", meaning that the two attributes play an important role in the explanation of users' perception about overall transit service quality in these areas.

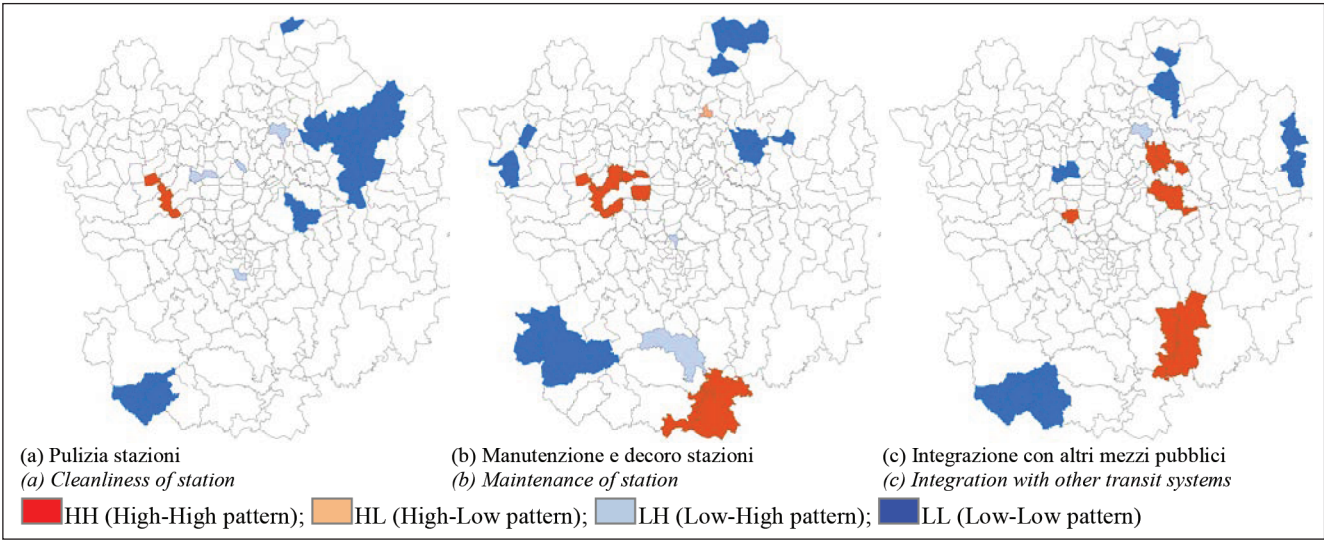


Fig. 4 - Risultati relativi all'indice Anselin Moran di tipo locale (2).  
Fig. 4 - Results of Anselin Local Moran's I (2).



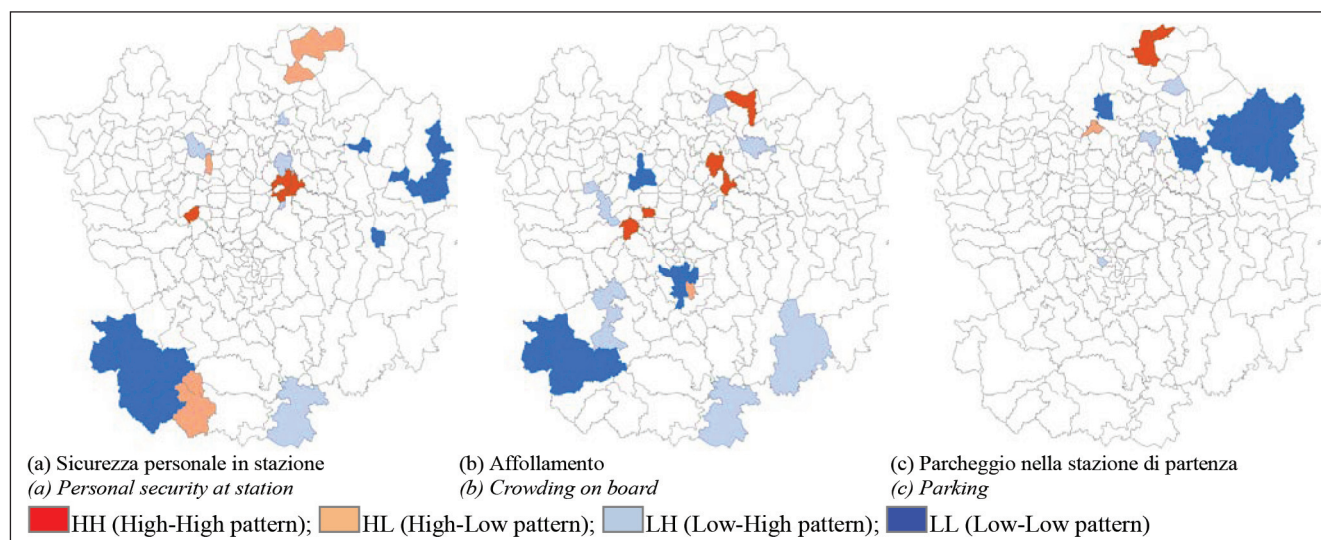


Fig. 5 - Risultati relativi all'indice Anselin Moran di tipo locale (3).

Fig. 5 - Results of Anselin Local Moran's I (3).

ste aree i due attributi giocano un ruolo importante nella percezione dei passeggeri sul servizio complessivo.

Nelle mappe relative agli attributi "Puntualità dei treni", "Accessibilità per i disabili", e "Possibilità di fare reclami" si possono osservare relazioni LH e HL a Sud-Est (fig. 6). Per questa area, lo stesso tipo di relazioni possono essere osservate nella distribuzione spaziale della qualità del servizio complessiva.

Le relazioni spaziali mostrate dagli attributi "Orario dei treni (frequenza e distribuzione nella giornata)", "Distribuzione delle stazioni nel territorio", e "Cortesie e competenza del personale in stazione" non riflettono la relazione spaziale

LH and HL patterns located at the South-East area can be also observed in the map related to "Punctuality of runs", "Facilities for disabled", and "Complaints" (fig. 6). For this area, the same LH and HL patterns can be observed in the spatial distribution of the overall transit service quality.

The spatial patterns displayed by the service quality attributes named "Frequency of runs", "Localisation of stations" and "Courtesy and competence in station" do not reflect the spatial patterns shown by "Overall service quality" (fig. 7). However, local clusters of similar low values (LL patterns) are present in the North-West area for all the three variables, whereas high-high patterns are localised in the

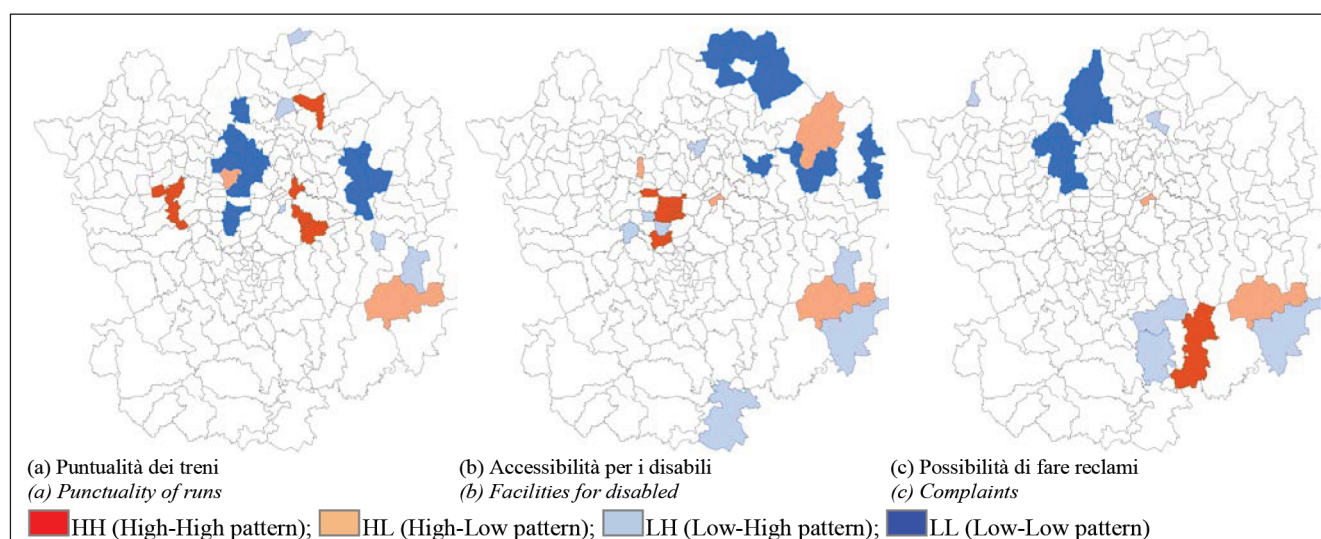


Fig. 6 - Risultati relativi all'indice Anselin Moran di tipo locale (4).

Fig. 6 - Results of Anselin Local Moran's I (4).

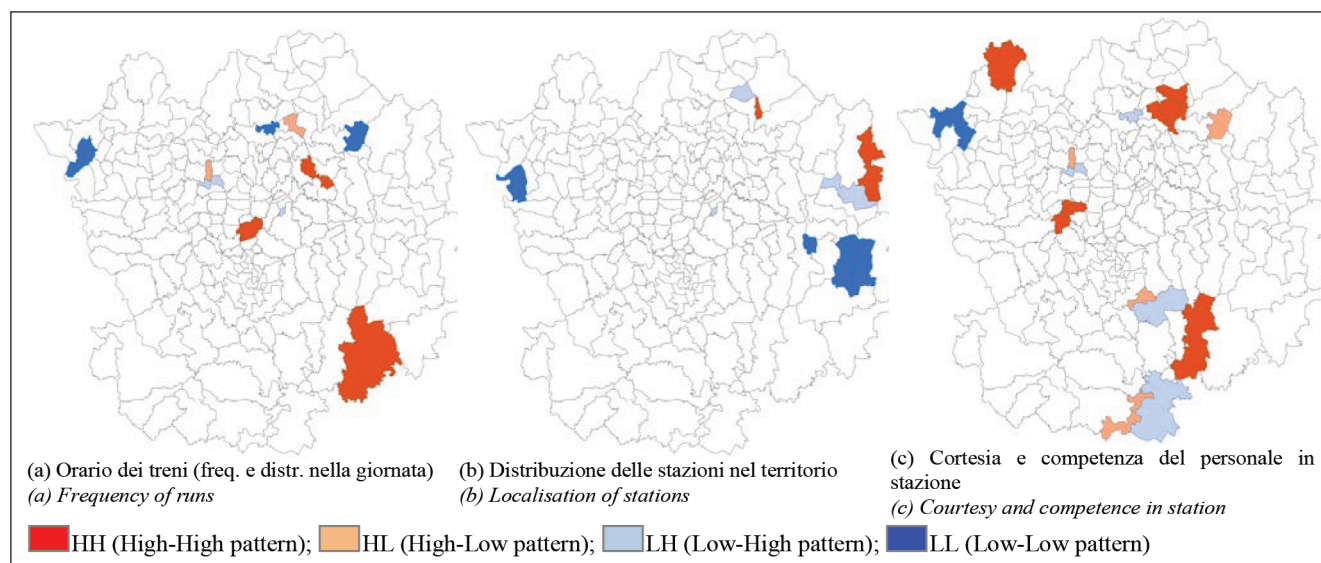


Fig. 7 - Risultati relativi all'indice Anselin Moran di tipo locale (5).

*Fig. 7 - Results of Anselin Local Moran's I (5).*

le della qualità del servizio complessivo (fig. 7). Tuttavia, *cluster* locali di valori bassi simili (LL) sono presenti nell'area Nord-Ovest per tutti e tre gli attributi, mentre relazioni HH sono localizzate nell'area Sud-Est nel caso degli attributi "Orario dei treni (frequenza e distribuzione nella giornata)" e "Cortesia e competenza del personale in stazione".

In definitiva, dalle statistiche locali di associazione spaziale si è riscontrato che le aree con maggiori criticità sono localizzate a Sud-Est (vicino la città di Vigevano), e a Nord-Est (tra Lecco e Bergamo).

Le relazioni tra i *cluster* relativi ad alcuni attributi di qualità e la qualità complessiva del servizio spiegano che la percezione dei passeggeri sul servizio complessivo è fortemente legata alla percezione sui singoli aspetti del servizio.

In queste aree la qualità dei servizi dipende molto da aspetti del servizio che sono influenzati dalle caratteristiche spaziali e da altre variabili che non sono generalmente incluse nell'analisi. La qualità del servizio complessivo può essere sicuramente incrementata operando su questi aspetti.

## 5. Conclusioni

Il principale obiettivo del lavoro proposto è stato quello di includere una analisi di tipo spaziale nella valutazione della qualità dei servizi di trasporto collettivo sulla base delle percezioni dei passeggeri raccolte mediante indagini di *Customer Satisfaction*. I giudizi dei passeggeri possono essere fortemente legati al contesto spaziale in cui il servizio è offerto, e alle caratteristiche socio-economiche dei passeggeri. In particolare, lo studio si focalizza sulla valutazione della qualità del servizio di trasporto ferroviario operante nel Nord Italia, e nello specifico nell'*hinterland* di Milano. L'analisi ha riguardato quattordici attributi di qualità del servizio relativi alle stazioni.

*South-East area in the case of "Frequency of runs" and "Courtesy and competence in station".*

*Definitively, by using local statistics of spatial association we can conclude that the main critical areas are located at South-West (near the city of Vigevano), and North-East (between the cities of Lecco and Bergamo).*

*The relationships between the spatial clusters related to some attributes of service quality and to the overall service quality explain that passengers' perception about the overall service quality is strongly correlated with the perception about the single service quality aspects.*

*These selected areas show shortcomings in relation to several aspects of transit service quality that depend on the spatial characteristics and on other variables that are not usually included into an analysis of service quality. Operating on these aspects, overall service quality can reach improvements in the judgments given by transit users.*

## 5. Conclusions

*The main objective of this work was to include the analysis of spatial component in the evaluation of transit service quality on the basis of the passengers' perceptions collected by means of customer satisfaction survey. The judgment claimed by passengers can be strongly related with the spatial context where the service is carried out and with the users' socio-economic characteristics. Particularly, this study focused on the evaluation of rail service quality at station, considering as case study a railway service operating in the North of Italy, and specifically in the hinterland of Milan. Fourteen service quality attributes relating to the stations were investigated.*



La metodologia proposta mira a evidenziare le relazioni spaziali che caratterizzano gli attributi analizzati, e a dimostrare che la percezione dei passeggeri sui servizi è fortemente legata alle caratteristiche spaziali dell'area dove opera il servizio.

Sono stati calcolati i voti medi di soddisfazione espressi dagli utenti. I risultati ottenuti sono utili agli operatori del servizio per investire in maniera opportuna le proprie risorse al fine di migliorare aspetti del servizio risultati critici ma importanti per i passeggeri, quali la puntualità dei treni e l'accessibilità per i disabili. In particolare, gli interventi devono essere concentrati sulle stazioni dove si riscontrano maggiori criticità.

I voti medi di soddisfazione riferiti a ciascuna stazione mostrano una grande variazione che può essere legata alle caratteristiche del luogo in cui l'utente vive o prende il treno. Questi aspetti possono essere considerati indagando sulla possibile presenza di dipendenza spaziale nella distribuzione dei valori degli attributi che vengono analizzati. Nello specifico, sono state applicate tecniche di associazione spaziale al fine di dimostrare la variabilità degli attributi nello spazio. L'indice di Moran di tipo globale è stato calcolato per ciascun attributo di qualità del servizio, e i risultati ottenuti hanno mostrato la presenza di relazioni spaziali nella distribuzione dei valori di ciascun aspetto del servizio.

I risultati hanno fornito interessanti spunti. Gli *output* grafici consentono di confrontare la localizzazione dei *cluster* spaziali attraverso la distribuzione dei valori dei differenti attributi di qualità. L'analisi dei *cluster* dimostra la forte relazione tra la percezione dei passeggeri sul singolo aspetto del servizio e la percezione sul servizio complessivo. Sulla base dei risultati ottenuti, gli operatori del servizio possono migliorare gli aspetti critici solo nelle aree dove le criticità sono riscontrate. Questo tipo di analisi potrebbe condurre verso un risparmio nelle risorse dal punto di vista dell'operatore, ma allo stesso tempo, verso il raggiungimento di una più alta soddisfazione percepita dai passeggeri sul servizio complessivo.

*The suggested methodology aims to highlight the spatial patterns that characterise the attributes of transit service quality at station, and to demonstrate that the perception of transit service quality results strongly linked to the spatial characteristics of the area where the service is supplied.*

*The average rates that express users' satisfaction about service quality were calculated. On the basis of this result, rail operators could invest resources for improving the punctuality and for realising more suitable facilities for disabled. These interventions could be operated on all stations whether the spatial component of data is overlooked.*

*The average satisfaction rates referred to each stations show a great variation, which can be related to the characteristics of the place where the user lives or takes the train. These aspects can be taken into account by investigating the possible presence of spatial dependency among the distribution of the values of the transit service quality attributes. Statistics techniques of spatial association were applied to demonstrate the variability over the space. The global Moran's Index  $I$  was calculated for each attribute and the results showed the presence of spatial patterns in the distribution of the values of each variable representing the service quality.*

*The results provided interesting observations. Graphical outputs offered the possibility to compare the localisation of spatial clusters through the value distributions of the different service quality attributes. The analysis of the spatial clusters demonstrates the strong relationship between the passengers' perception with the single service aspects and the overall service quality. Based on the obtained results, rail operator can improve the supplied service operating on the most critical aspects only on the areas where criticalities appeared. This analysis could led towards the resource saving from the operator point-of-view, but, at the same time, towards a greater satisfaction with overall service quality perceived by passengers.*

## BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] M.E. LÓPEZ-LAMBAS, R. CASCAJO, 2015, "Verso sistemi di trasporto pubblico intelligenti e sostenibili migliorando il livello e la qualità del servizio - Smart and sustainable public transportsystems through improving level and quality of service", *Ingegneria Ferroviaria*, 70(4), 359-375.
- [2] L. EBOLI, C. FORCINITI, G. MAZZULLA, F. CALVO, 2016, "Exploring the Factors that Impact on Transit Use through an Ordered Probit Model: the Case Study of Metro of Madrid", *Transportation Research Procedia*, 18, 53-43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2016.12.005>.
- [3] J. DE OÑA, R. DE OÑA, L. EBOLI, G. MAZZULLA, 2013, "Perceived service quality in bus transit service: A structural equation approach", *Transport Policy*, 29, 219-226. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2013.07.001>.
- [4] A. CAPPELLI, A. LIBARDO, S. NOCERA, G. SALERNO, A. SARDENA, 2016, "Results of a heuristic model to evaluate perceived quality of railway travels - Risultati di un modello euristico per la valutazione della qualità dei sistemi di trasporto ferroviari", *Ingegneria Ferroviaria*, 71(10), 743-767.
- [5] S. NOCERA, 2010, "An operational approach for the quality evaluation in public transport services - Un approccio operativo per la valutazione della qualità nei servizi di trasporto pubblico", *Ingegneria Ferroviaria*, 65(4), 363-383.



- [6] ISO/TC176/SC1 (2015), "ISO 9000 Quality management systems - Fundamentals and vocabulary", International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- [7] L. EBOLI, G. MAZZULLA, 2011, "A methodology for evaluating transit service quality based on subjective and objective measures from the passenger's point of view", *Transport Policy*, 18(1), 172-181. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2010.07.007>.
- [8] J. DE OÑA, R. DE OÑA, L. EBOLI, G. MAZZULLA, 2016, "Index numbers for monitoring transit service quality", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 84, 18-30. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2015.05.018>.
- [9] J. DE OÑA, R. DE OÑA, L. EBOLI, C. FORCINITI, G. MAZZULLA, 2016, "Transit passengers' behavioural intentions: the influence of service quality and customer satisfaction", *Transportmetrica A: Transport Science*, 12 (5), 385-412. <http://dx.doi.org/10.1080/23249935.2016.1146365>.
- [10] Transportation Research Board. 2003, "Transit Capacity and Quality of Service Manual", TCRP Report 100. National Academy Press. Washington. D.C.
- [11] U. PETRUCELLI, 2011, "The perceived quality of the local public transit: A multi-criteria model to select improvement scenarios - La qualità percepita nel trasporto pubblico locale: un modello multicriteri per la selezione di scenari migliorativi", *Ingegneria Ferroviaria*, 66(9), 717-744.
- [12] CEN/TC 320 (2002), "Transportation – Logistics and services. European Standard EN 13816: Public passenger transport – Service quality definition, targeting and measurement", European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- [13] CEN/TC 320 (2006), "Transportation – Logistics and services. European Standard EN 15140: Public passenger transport – Basic requirements and recommendation for systems that measure delivered service quality", European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- [14] B. BARABINO, E. DEIANA, S. MOZZONI, 2013, "The quality of public transport service: The 13816 standard and a methodological approach to an Italian case - La qualità del servizio di trasporto collettivo: lo standard 13816 ed un approccio metodologico ad un caso italiano", *Ingegneria Ferroviaria*, 68(5), 475-499.
- [15] P. VINCENT, 2003, "Benchmarking and Quality Management in Public Transport. PORTAL Transport teaching material", EU-funded Urban Transport Research Project Results.
- [16] R. DE OÑA, L. EBOLI, G. MAZZULLA, 2014, "Key factors affecting rail service quality in the Northern Italy: a decision tree approach", *Transport*, 29(1), 75-83. <http://dx.doi.org/10.3846/16484142.2014.898216>.
- [17] F.J. CALVO, J. DE OÑA, F. ARÁN, 2013, "Impact of the Madrid subway on population settlement and land use", *Land Use Policy*, 31, 627-639. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.09.008>.
- [18] F.J. CALVO, J. DE OÑA, F. ARÁN, A. NASH, 2013, "LIGHT RAIL TRANSIT EXPERIENCE IN MADRID, SPAIN", *Transportation Research Record*, Issue 2353, 82-91. <https://doi.org/10.3141/2353-08>.
- [19] G. MAZZULLA, C. FORCINITI, 2012, "Spatial association techniques for analysing trip distribution in an urban area", *European Transportation Research Review*, 4, 217-233. <http://dx.doi.org/10.1007/s12544-012-0082-9>.
- [20] A. PÁEZ, D.M. SCOTT, 2004, "Spatial statistic for urban analysis: A review of techniques with examples", *GeoJournal*, 61, 53-67. <https://doi.org/10.1007/s10708-005-0877-5>.
- [21] A. GETIS, 2007, "Reflections on spatial autocorrelation", *Regional Science and Urban Economics*, 37, 491-496. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2007.04.005>.
- [22] L. ANSELIN, S. SRIDHARAN, S. GHOLSTON, 2007, "Using exploratory spatial data analysis to leverage social indicators databases: the discovery of interesting patterns", *Social Indicators Research*, 82, 287-309. <https://doi.org/10.1007/s11205-006-9034-x>.
- [23] L. ANSELIN, 199, "Local Indicators of Spatial Association-LISA", Research Paper 9331, Regional Research Institute West Virginia University Morgantown.
- [24] L. ANSELIN, 1996, "The Moran Scatterplot as an ESDA Tool to Assess Local Instability in Spatial Association", in: M. FISCHER, H.J. SCHOLTEN, D. UNWIN, (eds.), "Spatial Analytical Perspectives on GIS", CRC Press, Taylor & Francis Group. ISBN 9780748403400.
- [25] Istituto Nazionale di Statistica, 2001, "14° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni", Roma.