



# L'utilizzo degli Open Data per la stima dell'accessibilità ferroviaria in Europa

## *The use of Open Data for estimating rail accessibility in Europe*

Ing. Lorenzo VANNACCI<sup>(\*)</sup>  
Dott. Ing. Mario TARTAGLIA<sup>(\*\*)</sup>  
Ing. Elena NAVAJAS CAWOOD<sup>(\*)</sup>  
Dott. Ing. Francesco ROTOLI<sup>(\*)</sup>

### 1. Introduzione

Il trasporto ferroviario è un settore strategico e la sua importanza è pienamente riconosciuta dalla Commissione Europea: come indicato nel Libro Bianco sui trasporti [15], è necessario impegnarsi per aumentare la quota di passeggeri del trasporto ferroviario rispetto agli altri mezzi. Uno dei fattori chiave che determinano la scelta modale effettuata dagli utenti di un sistema di trasporto è il livello di accessibilità al territorio fornito dai diversi modi di trasporto. Approcci di pianificazione convenzionali tendono a trascurare e sottovalutare il concetto di accessibilità, essendo orientati ad analisi della mobilità e valutando le prestazioni del sistema di trasporto principalmente sulla base della quantità e qualità del viaggio fisico [38]

Recentemente, si sta assistendo a un cambio nell'approccio all'accessibilità nella pianificazione dei trasporti; pertanto nel supporto alla programmazione è sempre più richiesta una chiara capacità di valutare questi parametri. Inoltre, i sistemi ferroviari sono spesso meno accessibili rispetto ad altre modalità di trasporto, sia per la loro natura fortemente infrastrutturale e sia per l'organizzazione del programma di esercizio, per questo particolare attenzione deve essere posta nel valutare l'accessibilità di tali sistemi. Tuttavia, alcuni studi disponibili sull'accessibilità ferroviaria presentano carenze metodologiche in quanto sono di solito basati su dati infrastrutturali (ad esempio distanza, velocità programmata, tempo medio di percorrenza), piuttosto che sulle reali prestazioni di servizio dipendenti dagli orari; oppure si riferiscono solo a una selezione di città

### 1. Introduction

*Rail transport is a strategic sector and its importance is fully recognised by the European Commission: as stated in the White Paper on Transport [15], efforts are needed to increase the share of rail passenger transport over other modes. One of the key factors determining the mode choices made by the transport system users is the accessibility level provided by the transport modes. Conventional planning approaches tend to overlook and undervalue the concept of accessibility, since they are based on a mobility-oriented analysis and evaluate transport system performance mainly based on quantity and quality of physical travel [38].*

*More recently, a shift in accessibility-based approaches is occurring in transport planning; therefore planning support systems are more and more requested to have a sound capacity to evaluate accessibility. Furthermore, railway systems are often less accessible than other transport modes, due to both their highly infrastructure-based nature and their scheduled service organization, and special attention must be put in measuring the accessibility of such systems. However, some available studies about railway accessibility have some methodological weaknesses, since they are usually based on infrastructure data (e.g. distance, planned speed, average travel time) rather than on the real service performance reliant on timetables, or they are referring only to a selection of cities and most relevant connections. These limitations are often due to the lack of detailed data.*

*The work presented here is not meant as a throughout re-*

<sup>(\*)</sup> European Commission, Joint Research Centre (JRC), Institute for Prospective Technological Studies. Le opinioni espresse sono puramente quelle dell'autore e non possono in alcun caso essere considerate come una posizione ufficiale della Commissione europea.

<sup>(\*\*)</sup> Ferrovie dello Stato Italiane SpA.

<sup>(\*)</sup> European Commission, Joint Research Centre (JRC), Institute for Prospective Technological Studies. The views expressed are purely those of the author and may not in any circumstances be regarded as stating an official position of the European Commission.

<sup>(\*\*)</sup> Ferrovie dello Stato Italiane SpA.

e ai collegamenti più importanti. Queste limitazioni sono spesso dovute alla mancanza di dati dettagliati.

Il lavoro qui presentato non vuole quindi essere una revisione onnicomprensiva degli indicatori di accessibilità esistenti, né una valutazione dei sistemi di trasporto nei diversi paesi oggetto di studio, ma piuttosto un esercizio volto a valutare i benefici dei dati GTFS (General Transit Feed Specification) [24] e dell'utilizzo delle informazioni presenti negli orari di servizio. Al fine di raggiungere tale obiettivo, sono stati proposti semplici indicatori di accessibilità ferroviaria che introducono un fattore temporale (ad esempio gli orari programmati).

Questo approccio permette di aggiungere una nuova dimensione alla valutazione che prima risultava difficile da riprodurre su vasta scala. Inoltre, la Commissione Europea sostiene l'impiego di *open data* nel settore pubblico [16] favorendo la pubblicazione di questi dati nonché il loro uso per l'analisi di politiche e dei benefici sociali e la metodologia di questa ricerca si basa sull'utilizzo di *open data* relativi a orari ferroviari reali. Una prima versione di questo studio è stata proposta nel corso del convegno del Cluster 6 di NECTAR ("Network on European Communications and Transport Activity Research") a Siviglia il 6 febbraio 2014, dove è stata presentata una studio preliminare sulla base di alcune città a livello NUTS3 [57].

Quest'articolo sviluppa la metodologia e illustra una serie di indicatori del livello di servizio e di accessibilità basati sugli orari dei treni passeggeri con un'analisi completa dei collegamenti ferroviari all'interno di tre principali paesi europei (Paesi Bassi, Gran Bretagna e Francia). L'unità geografica utilizzata per i calcoli di accessibilità è la zona NUTS3 [20]. Inoltre, per superare le limitazioni dovute alla mancanza di una definizione armonizzata di città e della relativa area funzionale che consenta un'analisi completa tra diversi paesi, lo studio utilizza anche la definizione di Centro Urbano Principale, basata sul concetto di *Greater City* sviluppato dalla Commissione Europea (DG REGIO) e dall'Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE) [14]. Data la crescente utilizzazione dei dati nel formato GTFS (General Transit Feed Specification) da parte di aziende di trasporto pubblico anche a livello nazionale [1], gli indicatori di accessibilità sono stati costruiti sulla base di questo standard per gli orari sviluppati da Google per le rappresentazioni dei servizi di trasporto pubblico sul servizio Google Map.

L'utilizzo di *open GTFS data* ha prodotto vari benefici come ad esempio una maggiore accuratezza dei dati, la standardizzazione del formato e la disponibilità di aggiornamenti regolari. Peraltro un altro obiettivo rilevante di questa ricerca è stato quello di esplorare le potenzialità del formato GTFS, che sta diventando uno standard per gli operatori del trasporto pubblico: attualmente più di 900 operatori in tutto il mondo lo stanno utilizzando (si veda, ad esempio, <http://www.gtfs-data-exchange.com/>) e pertanto risulta interessante valutare la sua integrazione nei GIS (Sistemi Informativi Geografici) per studiare l'accessibilità delle varie regioni d'Europa. Infine, la crescente

*view of existing accessibility indicators, nor as an evaluation of the existing transport systems in the different countries under study, but rather an exercise aimed at assessing the benefits of the GTFS (General Transit Feed Specification) [24] data and the use of real timetable information. In the order to reach such a goal, straightforward indicators of rail accessibility introducing a time-based element (i.e. timetables) have been set up. This approach allows adding a new dimension of evaluation that was previously challenging to reproduce at a wide scale. Moreover, since European Commission (EC) is supporting Open Data in the public sector [16] and it is encouraging the release of these data and the reuse for policies analysis and social gains, the methodology of this research is based on the use of real timetable Open Data.*

*The prototype of this study was proposed in the NECTAR ("Network on European Communications and Transport Activity Research") Cluster 6 meeting in Seville on 6th February 2014, where a preliminary elaboration based on some capital cities at NUTS3 level has been presented [57].*

*This paper goes a step further and illustrates a series of level-of-service and accessibility indicators based on passenger train timetable with a comprehensive analysis of the railway connections inside three main European countries (Netherlands, Great Britain and France). The geographical unit used for accessibility calculations is the NUTS 3 level (Year 2010) [20]. Furthermore, to overcome the limitations due to the lack of harmonised definition of a city and its functional area allowing a comprehensive cross-country analysis, the study has set up also on the main urban centre definition, based on the concept of Greater City developed by EC DG REGIO and OECD [14]. Given the growing utilization of the GTFS data by transit agency also at national level [1], accessibility indicators have been built on this timetable format developed by Google for their map service Transit.*

*Several benefits have been provided by the use of Open GTFS, such as data accuracy, format standardization, and regular updates availability. Moreover, another relevant purpose of this research has been to explore the potentiality of GTFS, that is now becoming a standard for public transport operators: more than 900 operators are using it all over the world (see, for example, <http://www.gtfs-data-exchange.com/>) and thus it is worth to evaluate its integration in GIS to study the accessibility of the different zones of Europe. Finally, the growing utilization of GTFS opens also opportunities for a scientific use (see [30] or [47]).*

## 2. Background

### 2.1. Accessibility

*In the last decades, the concept of accessibility has been widely debated in the scientific literature related to transportation, geography, land use, economy and social sciences. Even though accessibility has been defined in several ways from different authors [13], in general it refers to the ease of reaching opportunities, i.e. activities, services, goods or simply destinations [38]. It is commonly agreed that the notion*

utilizzo dei dati GTFS apre anche molte opportunità per un uso da parte della ricerca scientifica (vedi [30] o [47]).

## 2. Contesto

### 2.1. Accessibilità

Negli ultimi decenni, il concetto di accessibilità è stato ampiamente discusso nella letteratura scientifica relativa ai trasporti, alla geografia, all'uso del territorio, all'economia e alle scienze sociali. Anche se l'accessibilità è stata definita in molti modi da diversi autori [13], in generale si riferisce alla facilità di raggiungere opportunità, vale a dire attività, servizi, beni o semplicemente destinazioni [38]. È comunemente accettato che la nozione di accessibilità associata all'uso del territorio e ai trasporti sia apparsa per la prima volta nel 1950 [2], quando HANSEN ha presentato l'accessibilità come il "potenziale di possibilità di interazione" [32]. Successivamente altri autori hanno definito l'accessibilità da punti di vista leggermente diversi. Un ampio riepilogo di queste diverse definizioni è fornito da GEURS e VAN WEE in [22], che sostengono che i fattori determinanti dell'accessibilità sono il sistema del territorio (la distribuzione spaziale e le caratteristiche sia delle opportunità che della domanda di accesso delle persone), l'offerta di trasporto (la sua struttura, i modi disponibili e il livello di servizio), i vincoli di tempo (la disponibilità delle opportunità e la volontà degli utenti di accedervi), e le persone (bisogni, capacità e risorse degli individui).

A seconda della definizione adottata di accessibilità, è possibile utilizzare una vasta gamma di misure per le analisi. Negli ultimi anni vari autori hanno proposto una revisione delle valutazioni sull'accessibilità basata su studi esistenti (si veda ad esempio [2], [21], [12], [26]). Queste misure possono essere classificate in diversi modi per esempio a seconda della loro natura o del loro uso. Un esempio di classificazione degli indicatori di accessibilità basata sugli obiettivi dell'analisi è riportato in [46], che distingue tra misure descrittive (con lo scopo cioè di descrivere la situazione attuale) e prescrittive (orientate cioè a definire uno scenario auspicabile).

Molti altri autori hanno invece proposto di suddividere tali indicatori sulla base del loro significato e delle variabili considerate: si vedano ad esempio [2], [13], [31], [36], e [49]. Tuttavia uno schema più generale di classificazione sembra essere quello proposto da GEURS e VAN WEE in [22] e che si compone di quattro categorie di misure di accessibilità centrate rispettivamente su: infrastrutture, localizzazioni, persone e utilità. La letteratura scientifica riporta quindi una grande quantità di studi e applicazioni che utilizzano le classi citate di indici (alcune recensioni sono riportate in [2], [12], [21], [26]). Inoltre sono stati anche proposti una serie di approcci innovativi che ampliano gli usuali concetti di accessibilità, come ad esempio l'approccio *Structural Accessibility Layer* [53] e la metodologia *Space Syntax* [8]. Peraltro indicatori di accessibilità

of accessibility associated to land use and transport initially appeared in the 1950s [2], when HANSEN defined accessibility as the "potential of opportunities for interaction" [32]. Hereinafter, some other authors defined accessibility from slightly different points of view. A comprehensive summary of these different definitions is given by GEURS and VAN WEE in [22], that argued that the main determinants of accessibility are the land-use system (the spatial distribution and the characteristics of both opportunities and people access demand), the transport supply (its structure, the available modes and the levels of service), time constraints (availability of opportunities and people willingness to access them), and people (needs, abilities and resources of individuals).

Depending on the assumed definition of accessibility, a wide range of measures can be used for analysis aims. In the last years, several authors developed a review of accessibility measures based on existing studies (see for instance [2], [12], [21], [26]). These measures may be categorized in different ways, depending on their nature, their use, and so on. An example of accessibility indicators classification based on the analysis goals is given by [46], that distinguishes in descriptive (i.e. aimed to describe the actual situation) and prescriptive (i.e. oriented to define a desirable scenario) measures.

Several other authors proposed to classify such indicators on the basis of their meaning and the considered variables: see for instance [2], [13], [31], [36] and [49]. However, a more general classification scheme seems to be the one proposed by GEURS and VAN WEE in [22], which consists of four categories of accessibility measures: infrastructure-based, location-based, person-based and utility-based measures. A great deal of studies and application that use the mentioned classes of indicators can be found in the scientific literature (some reviews are reported in [2], [12], [21], [26]). Moreover, a number of innovative approaches that widen the conventional accessibility concepts have been also proposed, such as the *Structural Accessibility Layer* approach [53] and the *Space Syntax* methodology [8]. In addition, orthodox accessibility indicators have been extensively used in many recent research projects founded by the European Union. Among these, we can mention the programme "European Observation Network for Territorial Development and Cohesion" [19] and the TRACC project [18], both promoted by the European Spatial Planning Observation Network, or again the action called "Accessibility instruments for planning practice in Europe" developed by COST intergovernmental framework for European Cooperation in Science and Technology ([4] and [34]), and finally the Cluster 6 (Accessibility) of the European-based scientific association NECTAR [44].

Some studies are specifically concerned with rail accessibility. This topic can be addressed from different points of view: accessibility to rail systems, or simply to rail stations (e.g. [56] and [58]) or accessibility to opportunities by means of rail systems (an example is given by [42]). Concerning the latter perspective, the main interest of researchers seems to be devoted to estimate the economic impacts of planned rail projects, especially the ones due to high speed rail develop-



convenzionali sono stati ampiamente utilizzati in molti recenti progetti di ricerca fondati dall'Unione Europea. Tra questi possiamo citare il programma "Rete di Osservazione Europea per lo Sviluppo Territoriale e di Coesione" [19] e il progetto TRACC [18], entrambi promossi dalla Rete di Osservazione Europea di Pianificazione Territoriale, nonché l'azione "Strumenti di Accessibilità per le Prassi di Pianificazione in Europa" sviluppato da COST, il quadro intergovernativo per la Cooperazione Europea in Scienza e Tecnologia ([4], [34]) e infine il Cluster 6 (Accessibilità) dell'associazione scientifica Europea NEC AR [44].

Alcuni studi riguardano specificamente l'accessibilità su rotaia: questo argomento può essere affrontato da diversi punti di vista come accessibilità ai sistemi ferroviari, o semplicemente alle stazioni ([56], [58]) o accessibilità alle opportunità per mezzo di sistemi ferroviari (un esempio è offerto in [42]). Per quanto riguarda quest'ultima prospettiva, l'interesse principale dei ricercatori sembra essere orientato a stimare gli impatti economici di progetti ferroviari previsti, in particolare quelli relativi agli sviluppi dei servizi ad alta velocità (vedi tra gli altri [5], [6], [9],[10], [11] and [41]). Tuttavia l'influenza dei sistemi ferroviari sull'accessibilità dipende strettamente dalla configurazione della rete e dei servizi, come diventa chiaro quando i collegamenti veloci o ad alta velocità innescano modelli tipo hub-and-spoke [37], effetti tunnel [29] e effetti corridoio [7]. Gli indicatori di accessibilità che sono più spesso utilizzati negli studi ferroviari sono misure basate sulla localizzazione, come gli indici di connettività e accessibilità potenziale (si veda, ad esempio, [25] e [27]). Alcuni autori hanno invece proposto indicatori sintetici di accessibilità globale utilizzando tecniche più complesse come Data Envelopment Analysis [39],[50] o Principal Component Analysis [40]. Tuttavia, anche se il tempo di viaggio è sempre più spesso considerato negli indicatori di accessibilità (si veda ad esempio [9], [10], [25], [27], [28], [33], [35]), la maggior parte degli studi trascurano di considerare pienamente gli svantaggi legati alla necessità di utilizzare più servizi ferroviari, cioè prendono in considerazione solo il tempo a bordo e non includono i tempi di attesa (o di interscambio) nelle stazioni. Alcuni studi tengono in conto i tempi di trasferimento ma di solito in maniera semplificata ([5], [41]). Qualora siano disponibili un'adeguata capacità di calcolo e un insieme di dati completi, quest'approssimazione potrebbe essere superata considerando tutte le informazioni incluse negli orari ferroviari [52]. Tale possibilità può essere assicurata da un'ampia disponibilità di *open data* relativi agli orari di servizio.

## 2.2. Open data

La diffusione degli *open data* aiuta a promuovere la trasparenza e la tracciabilità, crea valore sociale ed economico, realizza efficienze e può migliorare la qualità dei dati stessi [51]. Diverse iniziative sono in corso nel settore pubblico fornendo accesso a vari dati governativi e rendendoli accessibili in formato elettronico 'grezzo', pronti

*(see among others [5], [6], [9],[10], [11] and [41]). Nevertheless, the influence of railway systems on accessibility strictly depends on the configuration of networks and services, as becomes clear when fast or high speed connections trigger hub-and-spoke patterns [37], tunnel effects [29], and corridor effects [7]. The accessibility indicators that are more often used in rail studies are location-based measures, such as connectivity and potential accessibility indexes (e.g. [25] or [27]). Some authors proposed synthetic indicators of global accessibility using more complex techniques like data envelopment analysis (e.g. [39] and [50]) or principal component analysis (e.g. [40]). However, although travel time is always more frequently considered in accessibility indicators (e.g. [9], [10], [25], [27], [28], [33], [35]), most of the studies neglect to fully consider penalties due to the need to use multiple rail services, i.e. they consider only onboard time and do not include waiting time (or transfer time) at railway stations. Some studies take transfer times into account, but usually in a simplified way ([5], [41]). When adequate computing capacity and comprehensive data are available, this approximation may be overcome by considering all the information included in rail timetables [52]. Such a chance can be given by extensive open timetable data availability.*

## 2.2. Open Data

*Publishing open data helps promoting transparency and accountability, creates social and economic value, achieves efficiencies and can improve the quality of data itself [51]. Several initiatives are being undertaken by the public sector providing access to substantial set of government data, making data accessible in electronic 'raw' data formats ready for its immediate reuse. These initiatives have attracted interest and are highlighting how public data can be made more accessible and available for reuse.*

*The Digital Agenda for Europe is part of the European Union (EU) 2020 strategy and consider the innovative potential and use of open data as to put Europe's economies onto a high and sustainable growth path. The European Commission's work in this area is focussing on generating value through re-use of a specific type of data, especially public sector information. Unfortunately public transport timetable data are outside the scope of application of the 2003 Directive [17] on the re-use of public sector information (PSI) due to their "industrial or commercial character" as referred to in article 2[2]. In recent years some progress has been made to open up public data, but different barriers still persist. The legal framework, despite the minimum harmonisation in 2003 through the Directive, presents significant differences in national rules and practices. Anyway the impact of open data architecture in transport, partially enhanced by the creation of the General Transit Feed Specification (GTFS) by Google [48], has encouraged some European operators in sharing open access to their data; some others are still reluctant in open access often referring to perceived legal or commercial risks of releasing their data to the public. The thrust towards open data is gaining momentum in several European countries and in 2011 the European Commission presented a communication [16]*

per il riutilizzo immediato. Queste iniziative hanno suscitato interesse ed evidenziano come i dati pubblici possono essere resi più accessibili e disponibili per il riutilizzo.

L'Agenda digitale per l'Europa è parte della strategia dell'Unione Europea (UE) 2020 e prende in considerazione il potenziale innovativo e l'utilizzo degli *open data* per instradare le economie Europee su un percorso di alta e sostenibile crescita. Il lavoro della Commissione Europea in questo ambito si concentra sulla generazione di valore attraverso il riutilizzo di un tipo specifico di dati, in particolare informazioni del settore pubblico. Purtroppo i dati sugli orari del trasporto pubblico sono al di fuori del campo di applicazione della direttiva europea 98/2003 [17] sul riutilizzo dell'informazione del settore pubblico (ISP) a causa del loro "carattere industriale o commerciale", come specificato all'articolo 2 [2]. In questi ultimi anni si sono però compiuti alcuni progressi nel rendere accessibili i dati pubblici, ma diverse barriere ancora persistono. Il quadro giuridico, nonostante l'armonizzazione minima nel 2003 attraverso la direttiva, presenta notevoli differenze tra norme e prassi nazionali. In ogni caso l'impatto dell'architettura *open data* nel settore dei trasporti, in parte migliorata con la creazione del formato General Transit Feed Specification (GTFS) da parte di Google [48], ha incoraggiato alcuni operatori europei a condividere l'accesso libero ai propri dati; altri sono ancora riluttanti, spesso frenati dai rischi legali o commerciali percepiti nel rilasciare i propri dati al pubblico. La spinta verso gli *open data* sta acquistando peso in diversi paesi europei e nel 2011 la Commissione europea ha presentato una comunicazione [16] con una proposta di revisione della direttiva sul riutilizzo dell'informazione del settore pubblico. Tuttavia, il livello di iniziativa e la consapevolezza dei problemi legati agli *open data* sono diversi tra i vari operatori del trasporto e nei diversi paesi europei.

### 3. Dati e metodologia

Questa sezione descrive i principali fattori, gli strumenti e le ipotesi utilizzate nell'analisi di accessibilità presentata in questo documento. L'aspetto più rilevante comune agli indicatori di accessibilità presentati è il fatto che essi si basano sui dati reali degli orari dei servizi passeggeri. Le fonti principali sono gli orari programmati rilasciati con licenza *open data* in Gran Bretagna, nei Paesi Bassi e in Francia. Il nostro studio si basa sui Google Transit Feeds e permette un'analisi spaziale e temporale utilizzando i sistemi GIS. I dati francesi derivano da due database differenti ed inoltre i servizi ad alta velocità (TGV) sono stati inseriti manualmente. Poiché non è stato possibile verificare l'integrità dei dati, in particolare per quanto riguarda i giorni in cui il servizio è disponibile, si presenta solo un'analisi parziale per la Francia.

Le specifiche dei General Transit Feed (GTFS) [24] definiscono un formato comune per gli orari del trasporto pubblico e le informazioni geografiche associate. Questo formato è stato creato nel 2006, quando Google ha introdotto

*with a proposal for revising the Directive on the re-use of public sector information. Nevertheless, the degree of initiative and the awareness of open data issues are different among transport operators and European countries.*

### 3. Data and methods

*This section describes the main inputs, tools and assumptions used in the accessibility analysis presented in this paper. The most relevant aspect encompassing the series of accessibility indicators is the fact that they are based on real passenger train timetable data. The key input is trains schedules based on Open Data from Great Britain, Netherlands and France. Our approach is based on Google Transit feeds and allows a spatial and temporal analysis using geographical information technique. French data derive from two different databases and in addition the high speed services (TGV) have been implemented manually. As it was not possible to verify the integrity of the data in particular regarding the days where service is available, we present only a partial analysis for France.*

*The General Transit Feed Specification (GTFS) [24] defines a common format for public transportation schedules and associated geographic information. This format was created in 2006 when Google introduced to Google Maps an additional feature, Google Transit. This service helps users to plan public transport trips from origin to destination. The success of GTFS lies on its data format (open and simple), the availability of free validation tools and the possibility to use a powerful trip planner embedded in Google Maps [1]. GTFS files are comma separated text files representing fixed route schedule of bus, tram, underground, train, ferries.*

*Unlike urban public transport (transit in the US) rail transport is still waiting a trend of harmonizing the format of the open data releases. The majority of public GTFS data available for Europe are a conversion made by third parts of original open data officially released by rail operators in other text format. This is the case of Great Britain where the GTFS were prepared by GB Rail Info [23] on data from ATOC (the Association of Train Operating Companies) and the NaPTAN<sup>(1)</sup> database. In the Netherlands, the transport data used in this study have been downloaded from OVapi [45], an application that converts in GTFS the files supplied by rail operators in a transport model-based format. The French travel operator SNCF instead releases original GTFS files in its open data portal [54] but does not include TGV services, which have been manually added by the authors for this exercise.*

*The main repository available on line is the GTFS Data Exchange website (<http://www.gtfs-data-exchange.com/>) that*

<sup>(1)</sup> The National Public Transport Access Node (NaPTAN) database is a UK nationwide system for uniquely identifying all the points of access to public transport in the UK. The NaPTAN schema is a UK national de facto standard sponsored by the UK Department of Transport.

in Google Maps una funzione aggiuntiva, Google Transit. Questo servizio consente agli utenti di pianificare i viaggi con trasporto pubblico da un'origine a una destinazione. Il successo dei GTFS risiede nel suo formato dati (aperto e semplice), nella disponibilità di strumenti di validazione liberi e nella possibilità di utilizzare un potente navigatore integrato in Google Maps [1]. I file GTFS sono file di testo separati da virgole che rappresentano i servizi ad orario di autobus, tram, metropolitana, treni, traghetto [24].

A differenza del trasporto pubblico urbano, il trasporto ferroviario è ancora in attesa di un'armonizzazione nel formato degli *open data*. La maggior parte dei dati GTFS pubblici e disponibili in Europa sono una conversione fatta da terze parti di *open data* ufficialmente rilasciati dagli operatori ferroviari in formato testo. Questo è il caso della Gran Bretagna dove i GTFS sono stati preparati da GB Rail Info [23] sui dati forniti da ATOC (Associazione degli Operatori Ferroviari) e dal database NaPTAN<sup>(1)</sup>. Per i Paesi Bassi, i dati di trasporto utilizzati in questo studio sono stati scaricati da OVapi [45], un'applicazione che converte in GTFS i file forniti dagli operatori ferroviari in un formato realizzato per i modelli di trasporto. L'operatore ferroviario francese SNCF rilascia invece file GTFS originali nel suo portale *open data* [54], ma non include i servizi TGV che sono stati aggiunti manualmente dagli autori per questo studio.

Il principale archivio disponibile in internet è rappresentato dal sito GTFS Data Exchange (<http://www.gtfs-data-exchange.com/>) che gestisce un elenco di dati GTFS pubblici consentendo di scaricare dati ufficiali o elaborati sulla base di documenti ufficiali

In questa analisi si è fatto riferimento solo ai file riportati nella tabella 1. Le informazioni sulle tariffe sono al momento difficilmente disponibili e abbiamo deciso di non includere alcuna considerazione sui costi monetari nella metodologia.

L'analisi di accessibilità ha richiesto l'implementazione di un database contenente i dati relativi alla rete di trasporto, all'orario di servizio e al livello amministrativo (regioni NUTS3) con i dati della popolazione. La metodologia proposta si compone dei seguenti passi:

- costruzione della rete di trasporto: creazione di un layer di punti contenente le stazioni ferroviarie e un layer di polilinee che contiene i collegamenti diretti tra le stazioni;
- calcolo degli orari: gli orari di servizio sono calcolati sulla base delle partenze programmate associate a ciascun percorso;

*maintains a list of public GTFS feeds, allowing the downloading of official and elaborated data based on official releases.*

*In our analysis we only referred to the files represented in table 1. Fare information is at the moment barely available and we decided not to include any monetary consideration in the methodology.*

*The accessibility analysis requires implementing a database structure with data related to the transport network, the schedule and the administrative layer (NUTS 3 regions) with population data. The proposed methodology is composed by the following step:*

- *constructing the transport network: create a point layer containing the rail stations and a polyline layer containing the direct connection between stations;*
- *calculating the schedules: service schedules are calculated based on the scheduled departures associated with each route;*
- *introducing the geographical categorisation, based in NUTS3 regions and Large Urban Zone as defined in [14];*
- *calculating the accessibility indicators: in this step the stored spatial and temporal data are used to calculate the different indicators for assessing railroad accessibility (see section 4).*

*The raw text data must be processed before the accessibility indicators can be calculated. The first step is to convert the public transport data into a spatial network with routes and stops. The second step is the calculation of schedules for each route. As we are working with rail networks we don't need to associate transport data to a road network to ensure connectivity of the network and transfer between near stops. Everything we need is to build the rail network starting from the GTFS data. For the scope we used ArcGIS by ESRI and in particular the extension Add GTFS to a Network Dataset developed by Morang [43].*

*The Add GTFS to a Network Dataset allows putting GTFS public transport data into an ArcGIS network dataset and produces the associated schedules as illustrated in fig. 1.*

*Evaluating the spatial dimension, it is important to consider that some main cities, like Paris and London, are indeed divided in several NUTS3 regions and this makes difficult the connection analysis in a country framework. In calculating the accessibility index is important to describe correctly the urban areas where the majority of connections and trips happened. For this reason the literature was reviewed in the order to find a suitable definition of urban area since, until recently, there was no harmonized definition of 'a city' for European countries. OECD and the European Commission solved this problem developing a new definition of a city and its commuting zone in 2011 [14]. This new OECD-EC definition identified 828 (greater) cities with an urban center of at least 50,000 inhabitants in the EU plus Switzerland, Iceland and Norway. Each city is part of its own commuting zone or a polycentric commuting zone covering multiple cities. These commuting zones are significant, especially for larger cities. The cities and commuting zones together makes the Larger Urban Zones.*

<sup>(1)</sup> Il database nazionale dei nodi di accesso dei trasporti pubblici (NaPTAN) è un sistema nazionale britannico per identificare in modo univoco tutti i punti di accesso al trasporto pubblico nel Regno Unito. Lo schema NaPTAN è di fatto uno standard nazionale promosso dal Ministero dei Trasporti del Regno Unito.



Descrizione dei file GTFS (Google Inc., 2014)  
*GTFS files description (Google Inc., 2014)*

Nome del File <i>Filename</i>	Descrizione <i>Defines</i>
<i>stops.txt</i>	Fermate per la salita e discesa dei passeggeri <i>Individual locations where vehicles pick up or drop off passengers</i>
<i>routes.txt</i>	Itinerari di trasporto pubblico. Un itinerario è un gruppo di spostamenti presentati ai viaggiatori come un unico servizio <i>Transit routes. A route is a group of trips that are displayed to riders as a single service</i>
<i>trips.txt</i>	Spostamenti per ogni itinerario. Uno spostamento è una sequenza di due o più fermate che si verifica in un tempo specifici <i>Trips for each route. A trip is a sequence of two or more stops that occurs at specific time</i>
<i>stop_times.txt</i>	Orari in cui un veicolo arriva e riparte dalle fermate per ogni viaggio <i>Times that a vehicle arrives at and departs from individual stops for each trip</i>
<i>calendar.txt</i>	Date per servizio sulla base del programma settimanale. Specifica quando un servizio inizia o termina, così come i giorni della settimana in cui viene effettuato <i>Dates for service IDs using a weekly schedule. Specify when service starts and ends, as well as days of the week where service is available</i>
<i>calendar_dates.txt</i>	Eccezioni per i servizi definiti nel file <i>calendar.txt</i> . Se questo file include TUTTE le date del servizio, può essere utilizzato in sostituzione del file <i>calendar.txt</i> <i>Exceptions for the service IDs defined in the calendar.txt file. If calendar_dates.txt includes ALL dates of service, this file may be specified instead of calendar.txt</i>

- introduzione della categorizzazione geografica, basata sulle regioni NUTS3 e sulla definizione di Large Urban Zone (Zona Urbana Allargata) come definito in [14]
- calcolo degli indicatori di accessibilità: in questa fase i dati spaziali e temporali raccolti vengono utilizzati per calcolare i diversi indicatori di accessibilità ferroviaria (si veda paragrafo 4).

I file di testo iniziali devono essere elaborati prima che gli indicatori di accessibilità possano essere calcolati. Il primo passo è di convertire i dati di trasporto in una rete territoriale con percorsi e fermate. Il secondo passo è il calcolo degli orari per ogni percorso. Poiché l'analisi ha riguardato le reti ferroviarie, non è stato necessario associare i dati di trasporto ad una rete stradale per garantire la connettività della rete e per i trasferimenti tra fermate vicine. Tutto ciò che serve è ricostruire la rete ferroviaria a partire dai dati GTFS. A questo scopo abbiamo utilizzato il software ArcGIS prodotto da ESRI e, in particolare, l'estensione *Add GTFS to a Network Dataset* sviluppata da Morang[43].

Tale funzionalità consente di introdurre i dati GTFS di trasporto pubblico in un database ArcGIS e produce gli orari programmati associati come illustrato in fig. 1

Nel valutare la dimensione geografica, è importante considerare che alcune città principali, come ad esempio Parigi e Londra, sono in realtà divise in diverse zone NUTS3 e questo rende inoltre difficile l'analisi delle connessioni in ambito nazionale. Calcolando l'indice di accessibilità è importante descrivere correttamente le aree urbane dove si realizza la maggior parte delle connessioni e dei viaggi. Per questo motivo è stata esaminata la letteratura scientifica esistente per individuare una descrizione

*The definition of a city, according to the OECD-EC report, is based on the presence of an 'urban centre' as a new spatial concept based on high-density population grid cells. Once the city is defined, the next step is identifying a commuting zone based on commuting patterns where municipalities surrounded by a single functional area are included and non-contiguous municipalities are dropped in order to have uninterrupted area (fig. 2).*

*On the basis of this consideration it was therefore necessary to integrate the NUTS3 layer with the Large Urban Zone layer (LUZ), taking into account the cities and their commuting zones. The outcome of this procedure is a clearly defined layer containing new zone identification for all the NUTS3 regions belonging to the same LUZ, while the NUTS3 identification outside of the greater cities remains unchanged. Fig. 3 illustrates the situation in the Manchester, Liverpool and London areas identifying the different NUTS3 being part of the same greater city.*

*The basic criterion for the accessibility calculation process is the number of train per day. We selected Wednesday 21th May 2014 with a 24h time frame considering all train departing between 0:01 to 24:00. This helps to check the accuracy of the results and reduce the calculation time of the model. Within this time period we chose every railway regular connection high-speed, standard or local train. We considered both directions, having in mind that not every connection is paired.*

#### 4. Results

*The wealth of information provided by the present database is exploited in this paper in order to explore location-based accessibility indicators from a wider perspective, integrating real level of service by means of frequencies as derived from*

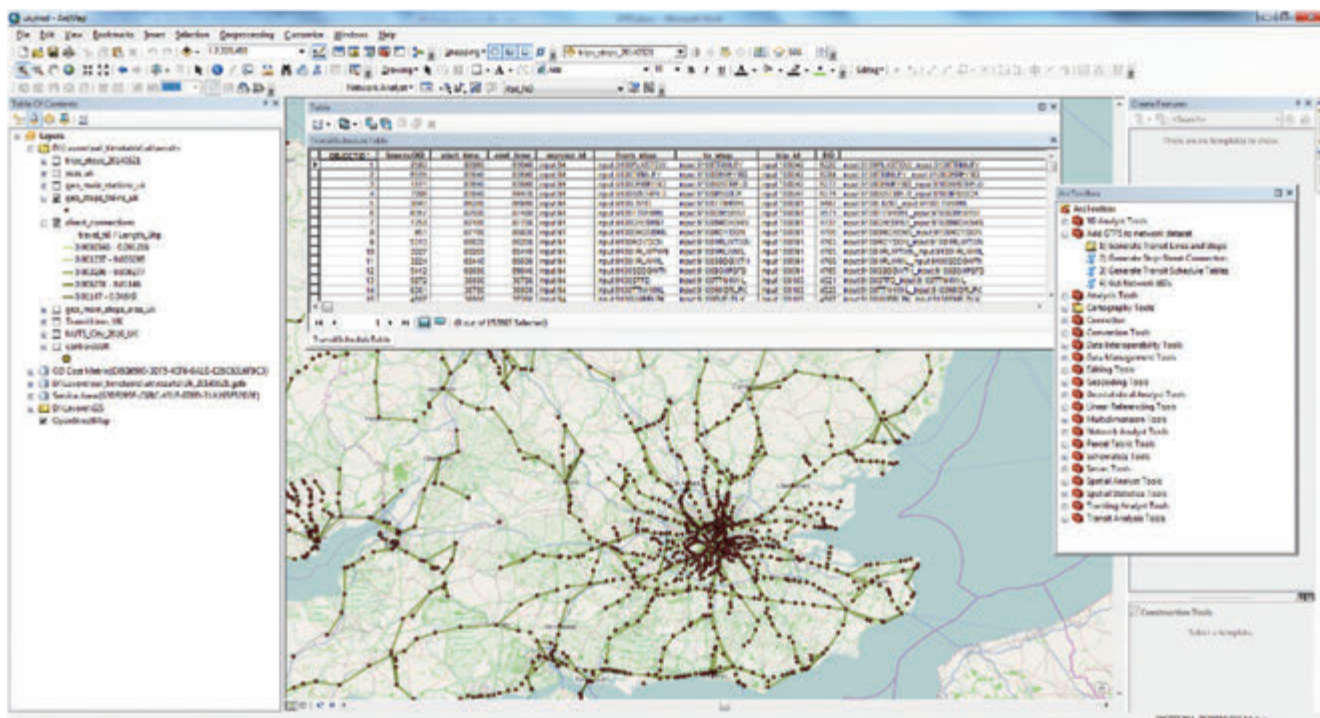


Fig. 1 - Esempio di dati GTFS caricati usando la funzionalità "Add GTFS to a Network Dataset". Ingrandimento della zona di Londra.  
Fig. 1 - Example of loaded GTFS datasets by using "Add GTFS to a Network Dataset". Zoom to London area.

adeguata di aree urbane dato che, fino a poco tempo fa, non vi era alcuna definizione armonizzata di 'città' per i paesi europei. L'OCSE e la Commissione Europea hanno risolto questo problema proponendo nel 2011 una nuova definizione di città e della zona di influenza legata al pendolarismo [14]. Questa nuova classificazione ha identificato 828 città con un centro urbano di almeno 50.000 abitanti (Greater City) in Europa, Svizzera, Islanda e Norvegia. Ogni città è parte della propria area di pendolarismo o di un'area di pendolarismo policentrico che copre più città. Queste aree di pendolarismo sono particolarmente rilevanti soprattutto per le città più grandi. Le città e le aree di pendolarismo insieme formano le Larger Urban Zones (Zone Urbane Allargate).

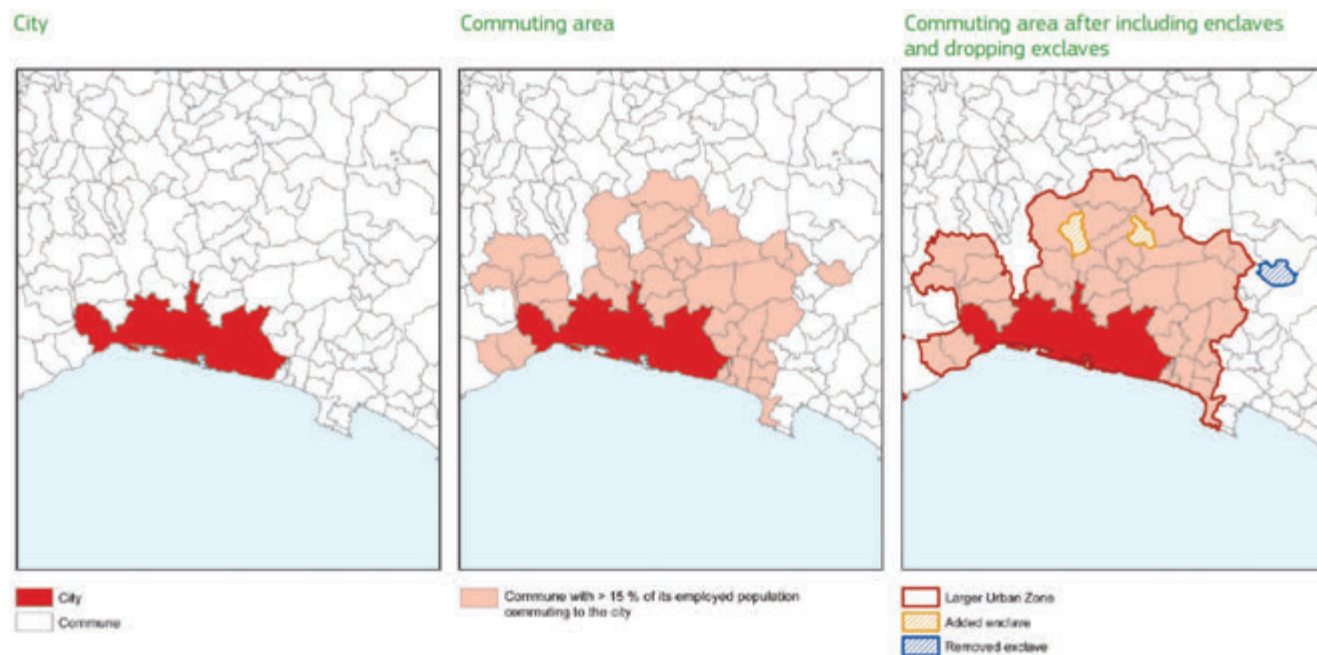
La definizione di una città, secondo il rapporto OECD-CE, si basa sulla presenza di un 'centro urbano' come nuovo concetto territoriale basato su celle della griglia di popolazione ad alta densità. Una volta che la città è stata definita, il passo successivo ha visto l'individuazione di una zona di pendolarismo sulla base di schemi in cui le municipalità circondate da una singola area funzionale sono incluse mentre le municipalità non contigue vengono eliminate, in modo da ottenere una superficie continua (fig. 2).

Sulla base di queste considerazioni è stato quindi necessario integrare il layer delle zone NUTS3 con il layer delle Large Urban Zone (LUZ), tenendo in considerazione le città e le loro aree di pendolarismo. Il risultato di questa procedura è un nuovo layer contenente un nuovo identificativo di zona per tutte le regioni NUTS3 appartenenti alla stessa LUZ, mentre l'individuazione NUTS3 al di fuori

the time tables. This research aims to illustrate the benefits of the GTFS data and the use of real timetable information more than to provide an evaluation of the existing transport systems in the different countries under study using level of service and accessibility indicators. We explore here different accessibility analysis for each rail transport system rather than comparative results by countries. An analysis related to stations' level of service is shown in addition to a study of the Amsterdam Centraal station with isochrones. An additional example identifies the high speed services in France and in the Netherlands in order to show how GTFS data could help to illustrate clearly the different concept of services applied in these countries. An accessibility indicator is set up in order to show how frequency and time bands considerations impact on such measures and it is calculated for all routes serving London in the UK. The authors using these examples aim at suggesting the power of open data also to support decision making both for authorities and operators.

For our overall evaluation we have considered the available connections between stops of each single country, and serving routes when relevant. International trains are included only in the internal service, if allowed, as we would need a complete European train schedule database to evaluate their international services. Urban services (bus, trams, and undergrounds) are not included in the analysis, as we have focused on interurban transport. In some cases in the analysis we referred to the parent station instead of stops for the ones that are physically located inside stations. This is the case of the Netherlands (fig. 4) where each platform is coded as a single stop; here we grouped the stops by the





(Fonte – Source: [14])

Fig. 2 - Esempio di città e della sua area di pendolarismo (Genova, Italia).  
Fig. 2 - Example of a city and its commuting zone (Genoa, Italy).

delle *Greater Cities* rimane invariata. La fig. 3 illustra la situazione nelle aree di Manchester, Liverpool e Londra, indicando le diverse NUTS3 che fanno parte della stessa *Greater City*.

Il fattore determinante per il calcolo dell'accessibilità è rappresentato dal numero di treno al giorno. Abbiamo selezionato il giorno Mercoledì 21 maggio 2014 con una durata di 24 ore, considerando quindi tutti i treni in partenza tra le 00:01 e le 24:00. Ciò ci ha permesso di verificare l'accuratezza dei risultati e di ridurre il tempo di calcolo dei risultati. All'interno di questo periodo di tempo abbiamo considerato ogni connessione ferroviaria ad alta velocità, a lunga percorrenza o anche locale. Abbiamo preso in considerazione entrambi i sensi di marcia, dato che non tutte le connessioni risultano accoppiate per direzione.

#### 4. Risultati

La ricchezza delle informazioni fornite dalla presente banca dati viene analizzata in questo articolo con una prospettiva più ampia al fine di calcolare degli indicatori di accessibilità basati sulla localizzazione, integrando il livello di servizio reale attraverso l'uso delle frequenze ricavate dagli orari. Questa ricerca si propone di illustrare i vantaggi del formato GTFS e dell'uso dei dati reali più che fornire una valutazione dei sistemi di trasporto esistenti nei diversi paesi oggetto di studio, utilizzando indicatori sul livello di servizio e di accessibilità. In altre parole proponiamo differenti analisi di accessibilità per ogni sistema ferroviario, piuttosto che calcolare dati comparativi dei paesi. Viene inoltre riportata un'analisi relativa al livello di servizio delle stazioni includendo un approfondito

parent station and substitute the stop code with the parent station code in the schedule elaborated with ArcGIS.

##### 4.1. Level of service analysis

Figure 5 presents the analysis of the *stop\_times.txt* files showing the service by stations. Each stop point is classified by the number of trains calling on the 21<sup>st</sup> of May 2014. As explained only Great Britain and Netherlands data were available with an accurate schedule. The busiest stations are Clapham Junction in UK with over than 1000 trains and Utrecht Centraal in Netherlands with over than 1300 trains, considering all the stop area (parent station).

Using the join between the *stop\_times.txt* file and the *trips.txt* file it was possible to classify the stations by the number of train stopping identifying also the type of service.

In the figg. 6 and 7 we illustrate services distribution by category in the busiest stations of each NUTS3. We identified High Speed services (not present in Great Britain), Intercity or Express services and Regional or Ordinary services.

Figure 8 summarises the results of the high speed rail network coverage in Netherlands and France. It is evident the French solution of having a diffuse network in the country, while the Netherlands peculiarity is the international dimension developing services along the route to Frankfurt - Basel, the route to Brussels- Paris and the Channel connection to London. In Great Britain it is not present a proper high speed service with the exception of High Speed 1 (HS1), a 108-kilometre (67 mi) high-speed railway between London

dimento sulla stazione Amsterdam Centraal con isocrone. Altri esempi analizzano i servizi ad alta velocità in Francia e in Olanda, al fine di mostrare come i dati GTFS possono contribuire a illustrare chiaramente il diverso concetto di servizi sviluppato in questi paesi. Infine un indicatore di accessibilità è stato sviluppato per mostrare come la frequenza e le fasce orarie influenzino tali misure ed è stato calcolato per tutte le linee che afferiscono a Londra. Gli autori utilizzando questi esempi hanno lo scopo di suggerire le potenzialità degli *open data* per supportare il processo decisionale delle autorità e degli operatori.

Per una valutazione complessiva abbiamo considerato le connessioni disponibili fra le stazioni di ogni singolo paese, identificando i percorsi effettuati. I treni internazionali sono inclusi solo nel servizio interno, se ammesso, poiché sarebbe necessaria una banca dati di orari europea e completa per valutare correttamente i servizi internazionali. I servizi urbani (autobus, tram e metropolitane) non sono inclusi nell'analisi in quanto ci si è concentrati sul trasporto interurbano. In alcuni casi l'analisi ha considerato l'area di stazione (*parent station*) anziché i singoli punti di fermate (*stop point*) per quei punti che risultano fisicamente situati all'interno delle stazioni. Questo è il caso dell'Olanda (fig. 4) in cui ogni binario è codificato come una singola fermata; in questo caso è stato necessario raggruppare tali punti per aree di fermata sostituendo il codice *parent station* negli orari prima di eseguire la procedura con ArcGIS.

## 4.1. Analisi del livello di servizio

La fig. 5 rappresenta l'analisi dei file *stop\_times.txt* e riporta il numero di treni per stazione. Ogni punto è classificato per numero di treni che effettuano fermata il 21 maggio 2014. Come già accennato solamente i dati di Gran Bretagna e Olanda sono disponibili con un calendario correttamente definito. Le stazioni più frequentate risultano Clapham Junction nel Regno Unito con più di 1000 treni e Utrecht Centraal in Olanda con più di 1300 treni, considerando le aree di fermata complessive.

Attraverso l'unione tra il file *stop\_times.txt* e il file *trips*.

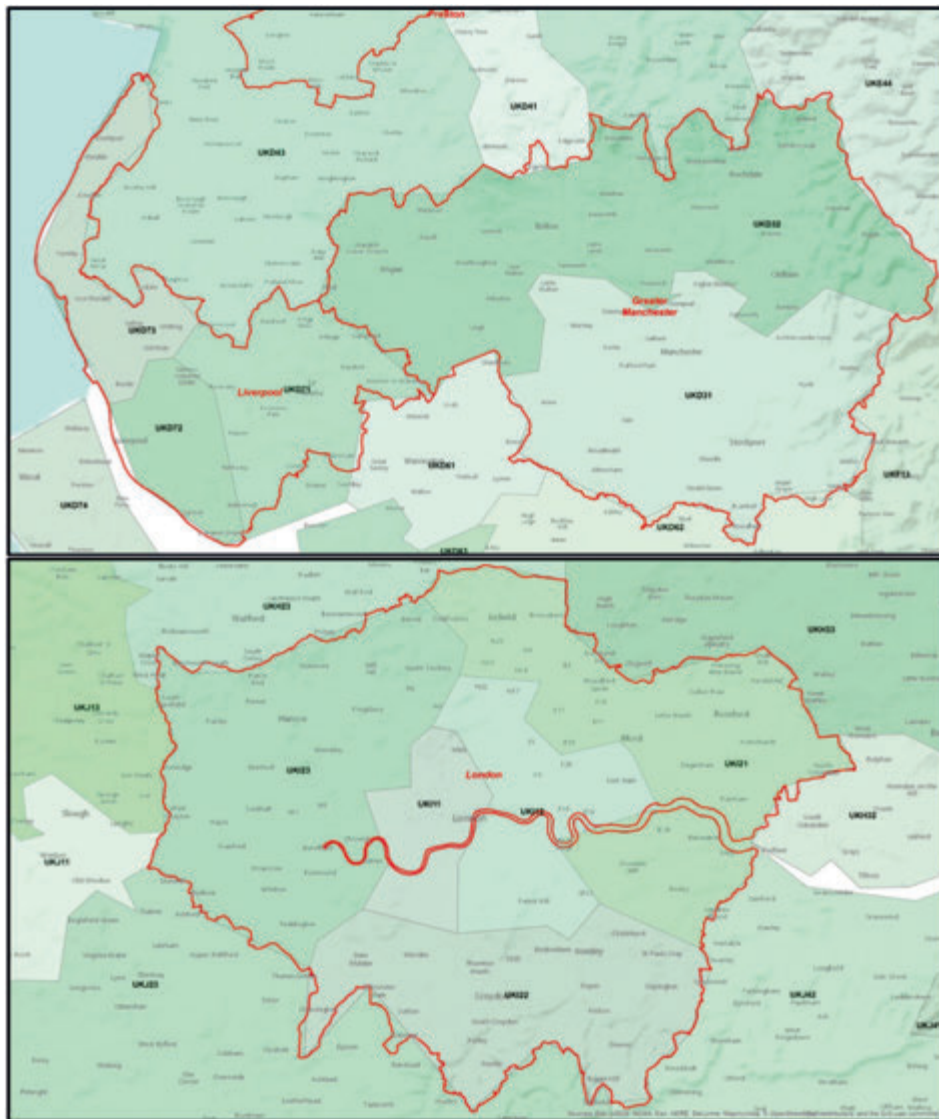


Fig. 3 - Zone NUTS3 and LUZ nelle aree di Manchester, Liverpool e Londra, in Gran Bretagna.  
Fig. 3 - NUTS3 and LUZ in the area of Liverpool, Manchester and London, Great Britain.

and the United Kingdom end of the Channel Tunnel.

In order to get a general evaluation of the level of service between the stations a case study analysis was carried out for Amsterdam Centraal station to test the indicators and assessing another benefit of the GTFS. Two types of service were analysed, i.e. regional and intercity trains.

In order to keep also the passenger's point of view two indicators were calculated: a simple average travel time index and a travel time weighted with frequency in order to identify the corridor with the best service and less waiting time. In the figg. 9 and 10 we present an analysis of both average travel time and average travel time weighted with frequency, i.e. net travel time (minutes) plus a waiting time calculated as half of the frequency (trains/day)

$$T_{i,r} = \text{avg}(t) + \frac{1}{2} \cdot \frac{n_i}{24} \quad (1)$$



txt è stato possibile classificare le stazioni per numero di treni in arresto identificando anche il tipo di servizio.

Nelle figg. 6 e 7 sono rappresentati il numero di treni per categoria nelle stazioni più trafficate di ciascuna NUTS3 suddivisi in: servizi ad alta velocità (non presenti in Gran Bretagna), Intercity o servizi espressi e servizi regionali o ordinari.

La fig. 8 riporta la diffusione dei servizi ad alta velocità in Olanda e in Francia. È evidente come la soluzione francese sia quella di avere una rete diffusa nel paese mentre al contrario in Olanda i servizi sono caratterizzati da una dimensione internazionale e si sviluppano lungo il percorso Francoforte-Basilea, il percorso Bruxelles-Parigi e la connessione a Londra attraverso



Fig. 4 - Singole fermate (nero) e parent station (verde) in Amsterdam Centraal.  
Fig. 4 - Single stops (black) and parent station (green) in Amsterdam Centraal.

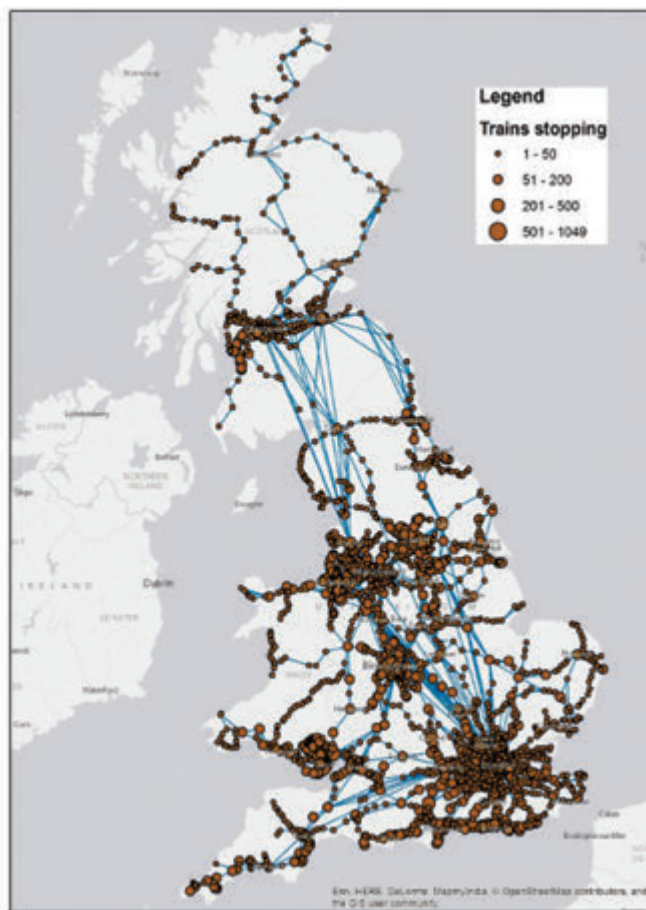


Fig. 5 - Stazioni più trafficate nei Paesi Bassi (a sinistra) e Gran Bretagna (a destra)  
Fig. 5 - Busiest stations in the Netherlands (left) and Great Britain (right).



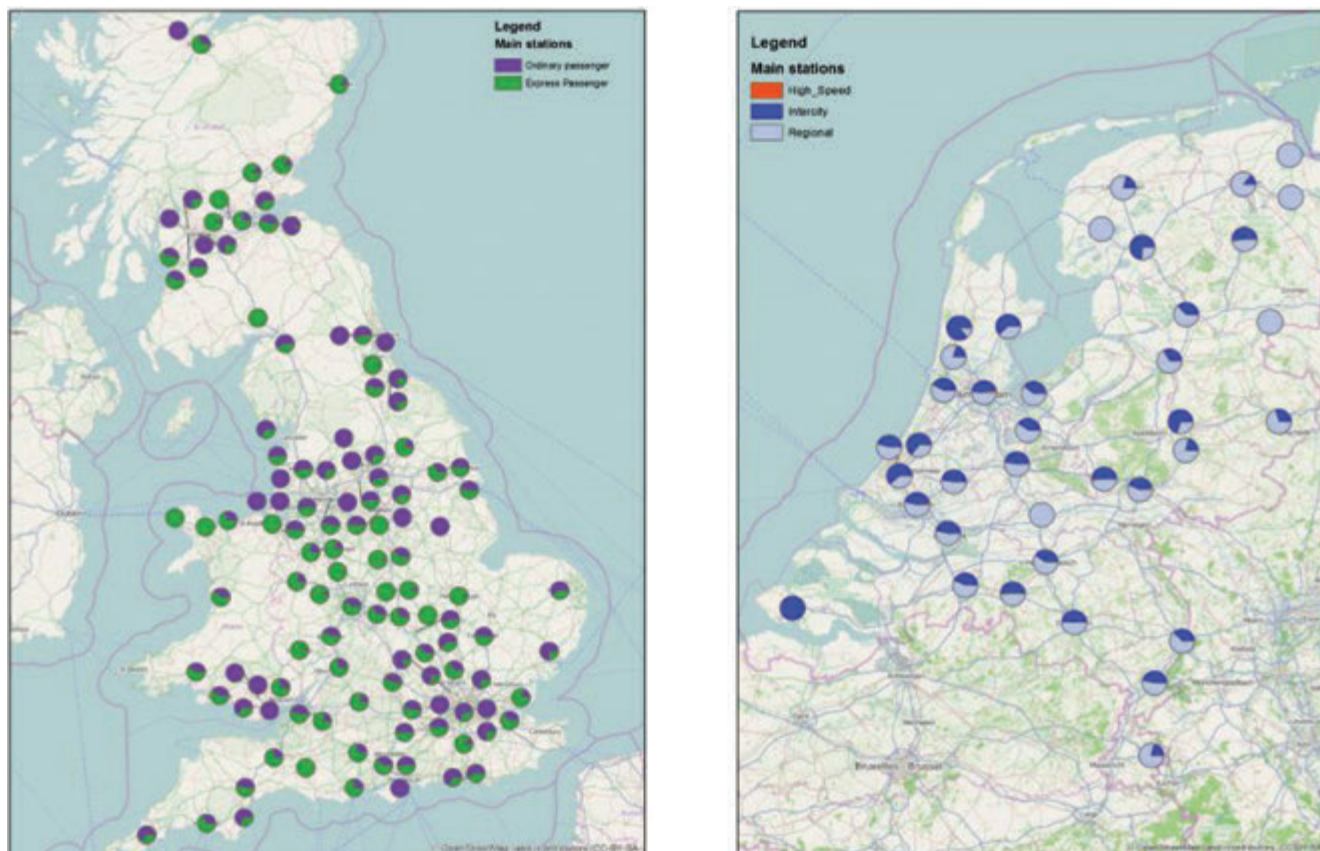


Fig. 6 - Servizi nelle principali stazioni di Gran Bretagna (a sinistra) e Paesi Bassi (a destra) per categoria di treno.  
Fig. 6 - Great Britain (left) and Netherlands (right) services in main stations by train category.

so il tunnel della Manica. Da notare che in Gran Bretagna non è presente un servizio propriamente ad alta velocità, con l'eccezione della linea High Speed 1 (HS1) di 108 km (67 mi) tra Londra e l'inizio del tunnel sotto la Manica.

Al fine di ottenere una valutazione generale del livello di servizio tra singole stazioni, è stata svolta un'analisi al caso di studio rappresentato dalla stazione centrale di Amsterdam, per testare gli indicatori e mostrare un altro vantaggio del formato GTFS. Sono stati analizzati due tipi di servizi: i treni regionali e i treni intercity.

Con lo scopo di considerare anche il punto di vista del passeggero sono stati calcolati due diversi indicatori: un semplice indice del tempo medio di viaggio e un tempo di viaggio ponderato con la frequenza in modo da individuare il corridoio con il miglior servizio e il minor tempo di attesa. Le figg. 9 e 10 mostrano il risultato di questa valutazione riportando sia il tempo di viaggio medio sia il tempo di viaggio pesato con la frequenza, dato dalla somma del tempo medio di viaggio più un tempo di attesa calcolato come metà della frequenza (treni / giorno)

$$T_{i,r} = \text{avg}(t) + \frac{1}{2} \cdot \frac{n_i}{24} \quad (1)$$

dove  $n_i$  è il numero totale di treni in partenza dalla stazione  $i$  lungo il percorso  $r$ .

I risultati mostrano come nel caso dei servizi Intercity

where  $n_i$  is the total number of train departing from station  $i$  along the route  $r$ .

The result shows that in the case of Intercity services, the influence of waiting time due to the frequency could be considered broadly constant in all the corridors starting from Amsterdam Centraal. On the contrary for regional services, since the corridor between Amsterdam and Rotterdam present a considerable higher frequency of the services, the waiting time doesn't affect travel times in such corridor.

#### 4.2. Spatial analysis

Further considerations can be introduced using geographical data, such as using the size of the area and population density, for example. This would allow an in-depth analysis of the service endowment by population settlements, thus identifying those disadvantaged areas that would benefit from an increase of frequency in the service or by providing additional services to the central stations. Consequently, we have focused on an additional illustration of the potential insight provided by the use of railway timetables. As already discussed above, the definition of accessibility is not unique and it is often treated in contrast with the idea of mobility. "Mobility emphasizes the transport system, while accessibility also accounts for land use patterns" [2]. In practical terms, BHAT et al. in [2] suggest that

l'influenza del tempo di attesa legato alla frequenza può essere considerata sostanzialmente costante in tutti i corridoi in partenza da Amsterdam Centraal. Al contrario per i servizi regionali, poiché il corridoio tra Amsterdam e Rotterdam presenta una frequenza considerevolmente più elevata dei servizi, il tempo di attesa non influenza i tempi di percorrenza lungo tale corridoio.

#### 4.2. Analisi territoriale e geografica

Ulteriori considerazioni possono essere introdotte utilizzando i dati geografici, come ad esempio la dimensione dell'area e la densità di popolazione. Ciò consente un'analisi approfondita della dotazione di servizi di ogni insediamento abitativo, individuando così le aree svantaggiate che potrebbero trarre beneficio da un aumento della frequenza del servizio o da servizi aggiuntivi verso le stazioni centrali. Di conseguenza abbiamo analizzato un'ulteriore potenzialità dell'utilizzo di orari ferroviari. Come già evidenziato in precedenza, la definizione di accessibilità non è unica ed è spesso trattata in contrasto con l'idea di mobilità. "La mobilità enfatizza il sistema dei trasporti, mentre l'accessibilità considera anche il modello di utilizzo del territorio" [2]. In termini pratici, BHAT et al. in [2] suggeriscono che gli indicatori di mobilità si concentrano sulla facilità di movimento, mentre le misure di accessibilità considerano gli aspetti sia di trasporto sia di uso del territorio di un'area cercando di valutare anche la semplicità di interazione. Un'ulteriore considerazione rilevante deriva dal fatto che il trasporto pubblico è intrinsecamente legato a orari fissi, con un impatto significativo sul livello di servizio, e dal fatto che nel caso del trasporto ferroviario le stazioni esistenti determinano l'accessibilità di una specifica area. L'obiettivo di questa ricerca è integrare i percorsi esistenti, gli orari e le frequenze, nonché la popolazione nei pressi delle stazioni (il cosiddetto "bacino di utenza") nel calcolo degli indicatori di accessibilità al fine di evidenziare l'impatto di tali elementi e confrontare i risultati con quelli ottenuti utilizzando dati meno complessi, come il semplice tempo di viaggio.

Il tempo medio di viaggio può rappresentare non solo una *distanza* come misura di accessibilità, ma si rivela anche utile per il calcolo del fattore di impedenza di diversi indicatori gravitazionali. In ogni caso, il nostro scopo non è quello di fornire una recensione dettagliata dei possibili diversi indici di accessibilità. Sono stati approfonditi gli effetti della variazione dei livelli di servizio nelle diverse ore della giornata dei servizi diretti (non abbiamo considerato qui possibili interconnessioni) tra le zone a livello NUTS 3 e Londra (Greater London). Come fattore di impedenza è stato considerato l'inverso del tempo medio di percorrenza ( $T_{hj}$ ) tra la stazione  $j$  e Londra, ponderato con il fattore delle opportunità  $W_j$  (qui rappresentato dalla popolazione circostante la stazione in un buffer con un raggio di 3 km, con  $j$  indice di tutte le stazioni di una data zona NUTS 3 indicata con  $z$ ). Il tempo medio di viaggio ( $t_{hj}$ ) viene calcolato come il tempo medio di percorrenza ( $T_{hj}$ ) in minuti di tutti i servizi effettuati tra la stazione  $j$  e Londra nel periodo di partenza  $h$  (nel nostro caso un'ora).

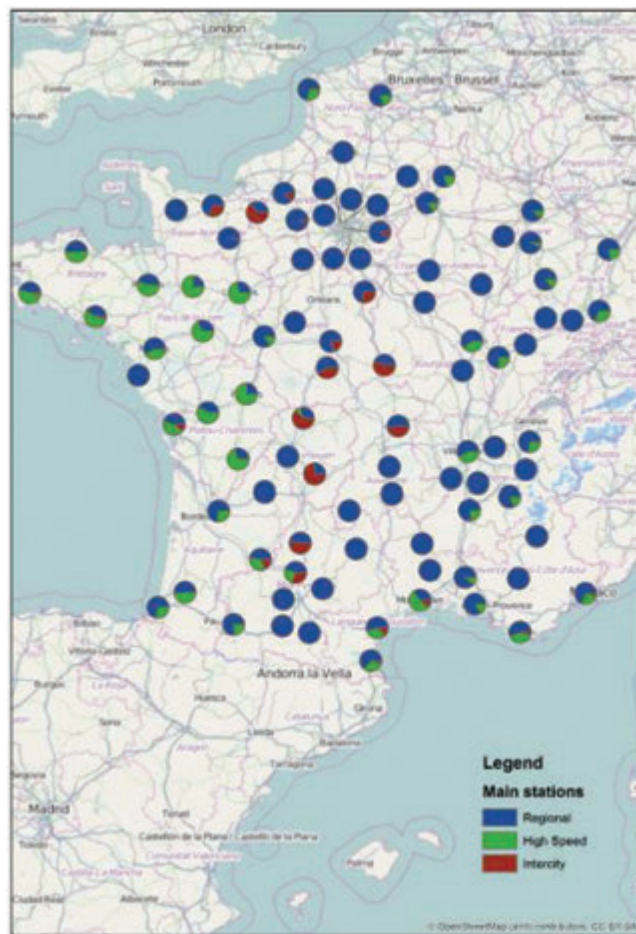


Fig. 7 - Servizi nelle principali stazioni francesi per categoria di treno.  
Fig. 7 - France services in main stations by train category.

indicators of mobility concentrate on the ease of movement while the accessibility measures consider both transportation and land use aspects of an area trying to assess the ease of interaction. Another relevant consideration stems from the fact that public transport is inherently linked to service schedules, with a significant impact on the level of service, and the fact that for railway transport, existing stations determine the accessibility of a given area. Therefore our aim is to integrate actual routes, schedules and frequency as well as population around stations (the so-called "catchment area") in the calculation of accessibility indicators in order to highlight the impact of such elements and compare the results with the same indicators when using more usual, simple data in this type of analysis, such as travel time only.

The already presented average travel time can represent not only a distance as a measure of accessibility, but it proves also valuable for the calculation of the impedance factor of several gravity indicators. Anyway, our purpose here is not to provide a detailed review or enumeration of possible and different accessibility indexes. We focus on the impact of varying level of service over the different periods of the day between any given zone at NUTS 3 level and the Greater City of London connected with a direct service (we



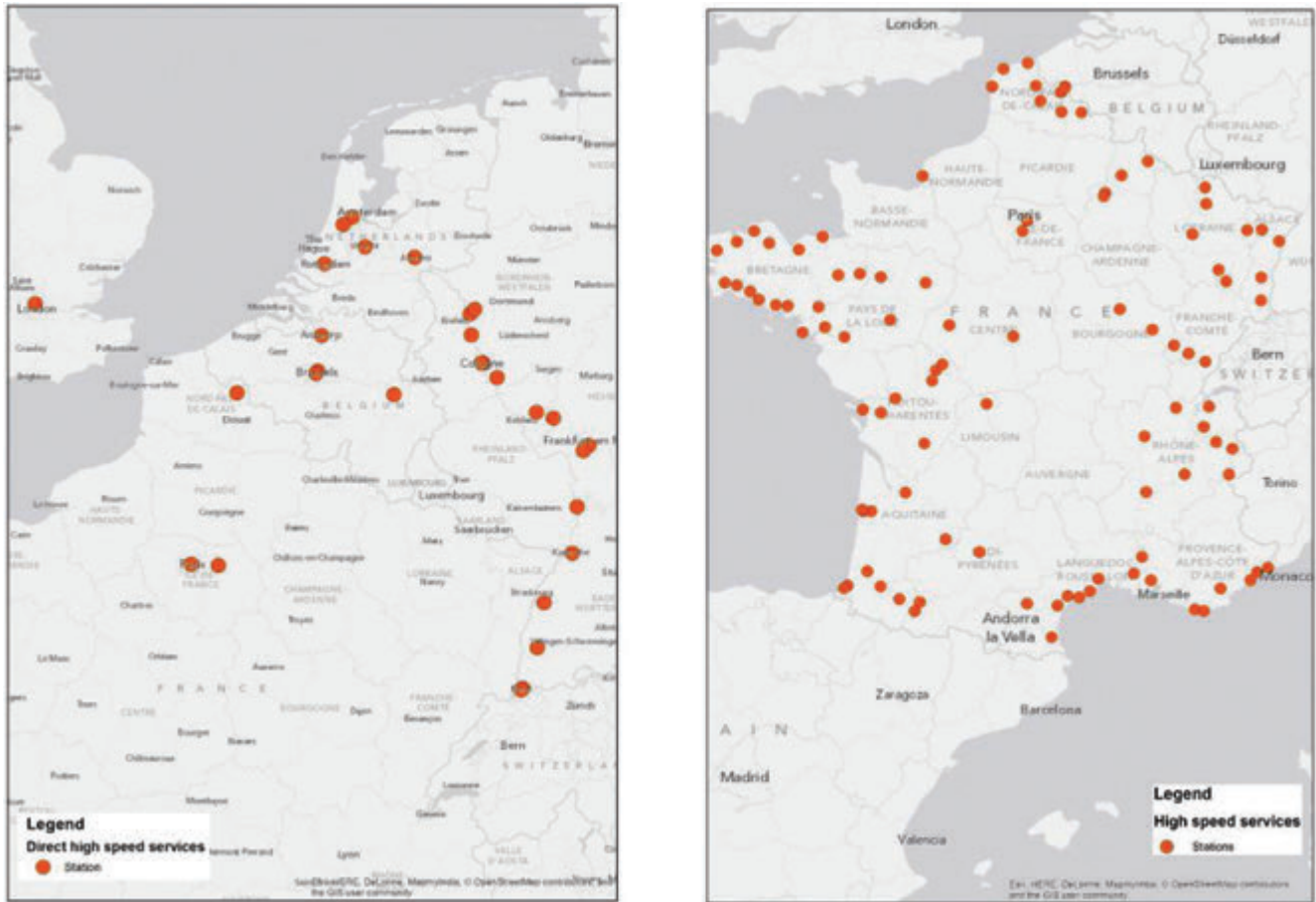


Fig. 8 - Rete ferroviaria ad alta velocità in Olanda (a sinistra) e Francia (a destra).  
Fig. 8 - Netherlands (left) and France (right) high speed rail network.

Abbiamo anche considerato la frequenza del servizio e aggiunto la metà del tempo di attesa calcolato come l'inverso di detta frequenza per l'ora in esame:

$$t_{hj} = T_{hj} + \frac{1}{2} \cdot \frac{60}{freq_{hj}} \quad (2)$$

Al fine di considerare anche la quota di popolazione che gode di facilità di accesso alla stazione, abbiamo introdotto un peso supplementare all'indice dividendo sulla popolazione totale della zona NUTS3,  $W_z$ :

$$L_{hz} = \frac{\sum_{j \in z} f(t_{hj}) \cdot W_j}{W_z} \quad (3)$$

dove:

$$f(t_{hj}) = t_{hj}^{-1} \quad (4)$$

La tabella dell'allegato I riporta i risultati di quest'analisi che combina gli orari ferroviari con i dati di uso del territorio (popolazione) per calcolare l'accessibilità di diverse aree. Appare evidente come l'introduzione della frequenza e delle variazioni giornaliere (ora di punta / ora di morbida) portano ad una diversa valutazione dell'acces-

have not considered here possible interconnections). We use as impedance factor the inverse of the average travel time ( $t_{hj}$ ) between the station  $j$  and London, weighted by the opportunity factor  $W_j$  (i.e. represented here by population surrounding the station in a buffer with a radius of 3 km, with  $j$  indexing all stations in a given NUTS 3 zone,  $z$ ). Average travel time ( $t_{hj}$ ) is calculated as the average travel time ( $T_{hj}$ ) in minutes of all services running between station  $j$  and London departing in the period  $h$ , in this case an hour. We have also considered the frequency of the service and added half the waiting time calculated as the inverse of the frequency of the service for the hour under consideration:

$$t_{hj} = T_{hj} + \frac{1}{2} \cdot \frac{60}{freq_{hj}} \quad (2)$$

In order to introduce a consideration relating to the share of population with ease of access to the station, we set an additional weight to the index by dividing over the total population of the NUTS 3 zone,  $W_z$ :

$$L_{hz} = \frac{\sum_{j \in z} f(t_{hj}) \cdot W_j}{W_z} \quad (3)$$



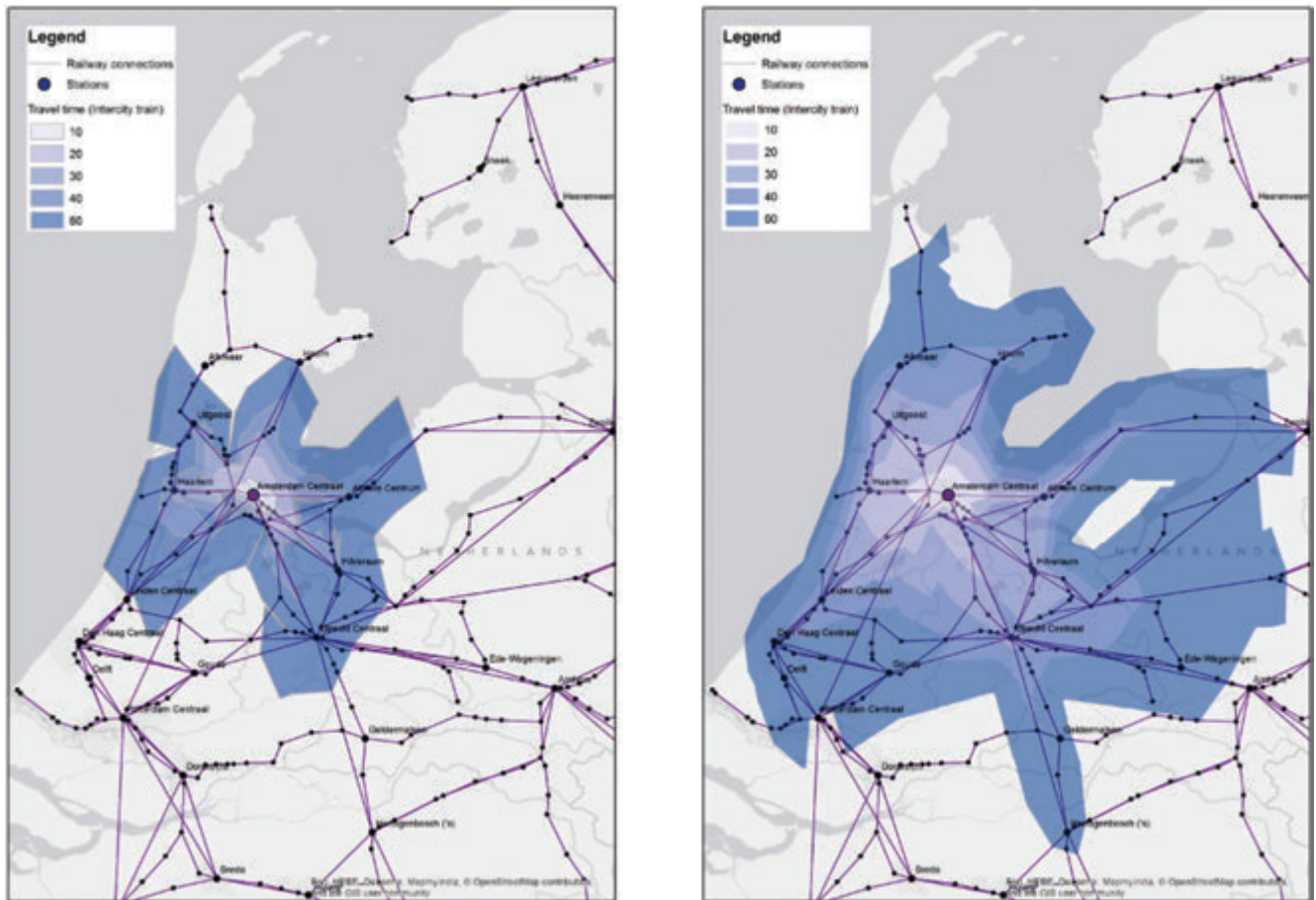


Fig. 9 - Tempo di viaggio dei servizi IC in partenza da Amsterdam Central: semplice tempo di percorrenza (a sinistra) e tempo di viaggio ponderato con frequenza (a destra).

Fig. 9 - Travel time of IC services departing from Amsterdam Central: simple travel time (left) and travel time weighted with frequency (right).

sibilità e come questi risultati si raffrontano con lo stesso indicatore utilizzando semplicemente un tempo medio di percorrenza senza alcuna considerazione delle frequenze:

$$L_z = \frac{\sum_{j \in Z} t_j^{-1} \cdot W_j}{W_z} \quad (5)$$

con  $t_j$  calcolato come tempo medio di percorrenza di tutti i servizi che collegano  $j$  alla stazione di destinazione. I risultati sono riassunti nella tabella 2 che riporta l'indicatore di accessibilità media giornaliera tenendo conto dei valori di accessibilità calcolati nelle diverse fasce orarie ( $L_{hz}$ ), la sua deviazione standard, e i valori di accessibilità che si ottengono con il solo tempo di percorrenza ( $L_z$ ). Nella tabella sono inoltre riportati il tempo medio di percorrenza ( $t_z$ ) tra le zone e Londra in minuti (senza tempi di attesa), la popolazione totale nella zona NUTS 3 e la popolazione compresa nei bacini di utenza delle stazioni. Questi dati sottolineano l'importanza di un'accurata analisi della distribuzione geografica della popolazione intorno alle stazioni, nonché della valutazione dei tempi di accesso/egresso insieme con la possibilità di interconnessione con gli altri modi. Un'analisi più elaborata, infatti, potrebbe incorporare i tempi di accesso/egresso e la connettività multimodale prendendo in

where:

$$f(t_{hj}) = t_{hj}^{-1} \quad (4)$$

The table in Annex I presents the results of this analysis combining information collected from timetables with land use data (population) in order to represent accessibility of different areas. It shows also how introducing frequency and within-day patterns (peak/peak off hour) would lead to different evaluation of accessibility, as well as how these results compare to the same indicator using simply an average travel time with no consideration of frequencies:

$$L_z = \frac{\sum_{j \in Z} t_j^{-1} \cdot W_j}{W_z} \quad (5)$$

with  $t_j$  estimated as the average travel time of all services connecting  $j$  to the destination. In order to summaries these results, we present in table 2 the average accessibility indicator over the day taking into account the accessibilities calculated in the different time bands ( $L_{hz}$ ), showing also their standard deviation, and we compare them with the accessibility results that arises from using only travel time ( $L_z$ ). Additionally, we show average trav-

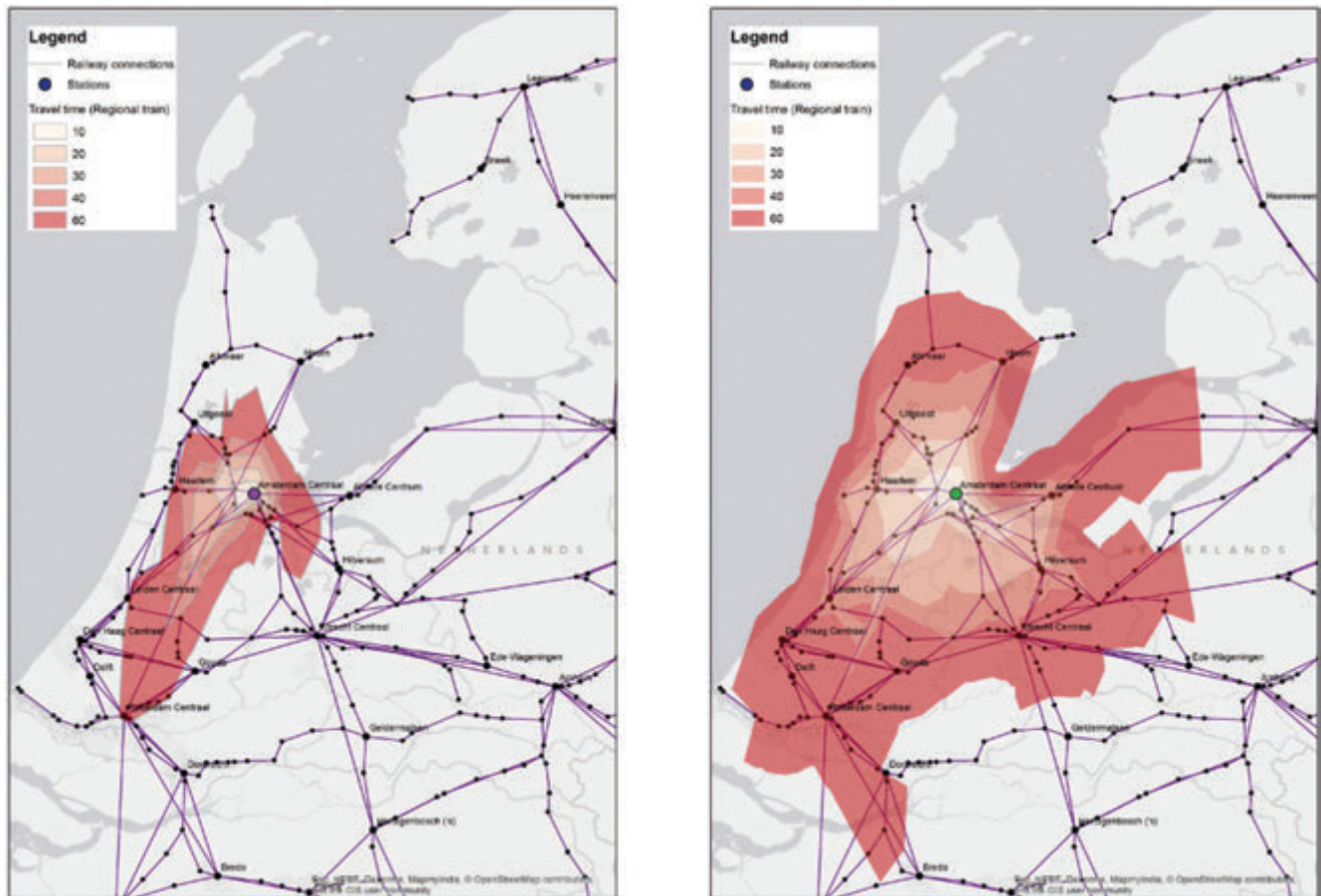


Fig. 10 - Tempo di viaggio dei servizi regionali in partenza da Amsterdam Central: semplice tempo di percorrenza (a sinistra) e tempo di viaggio ponderato con frequenza (a destra).

Fig. 10 - Travel time of Regional services departing from Amsterdam Central: simple travel time (left) and travel time weighted with frequency (right).

considerazione la popolazione collegata con strade o altri servizi pubblici alle stazioni ferroviarie. Un altro potenziale miglioramento potrebbe essere ottenuto associando le frequenze ai diversi servizi (tempi di viaggio differenziati) al fine di migliorare la precisione del termine  $t_{hj}$ .

## 5. Ulteriori sviluppi di ricerca

Come già menzionato in precedenza, quest'articolo si propone di evidenziare l'utilità degli *open data* per una migliore analisi di accessibilità dei sistemi ferroviari. Lo studio si è concentrato più sulla descrizione dei dati disponibili e sulla loro applicabilità che sulla definizione e la stima degli indici di accessibilità per regione o nazione. In ogni caso, i risultati dei tempi di viaggio ponderati con la frequenza (vista come fattore di impedenza) sono un valido punto di partenza per il calcolo di vari indicatori di accessibilità (per esempio indice di localizzazione, accessibilità potenziale e/o giornaliera ecc).

Secondo l'opinione degli autori, sono evidenti i benefici di una raccolta coordinata degli orari ferroviari europei in formato *open data* per rappresentare l'influenza del livello di servizio (frequenze e ritardi previsti) nella valutazione dell'accessibilità delle regioni o città. In particolare lo studio presentato potrebbe essere ulteriormente sviluppato

el time ( $t_z$ ) between the zones and Greater London in minutes (no waiting times), total population in the NUTS 3 zone ( $W_z$ ) and population covered by the catchment areas in that NUTS 3 zone ( $\Sigma W_j$ ), which highlights the importance of a (more) accurate analysis of the spatial population distribution around the stations, as well as access and egress times together with inter-connection potential with other modes. A more elaborated analysis could incorporate access and egress times and multimodal connectivity taking into consideration population clusters connected by road or other public services to the railway stations. Another potential enhancement would arise from associating the appropriate frequency to different services (i.e. differentiated travel times) in order to improve the accuracy of  $t_{hj}$ .

## 5. Further research development

As already mentioned above, this article aims to underline the pertinence of Open Data for a better accessibility analysis of railway systems. It has focused more on the description of available data and its applicability than on the definition and estimation of accessibility indexes per region or country. In any case, the results of the frequency-weighted

TABELLA 2 - TABLE 2

Classifica delle 10 migliori e 10 peggiori zone NUTS 3 secondo l'indice di accessibilità basato solo sul tempo di percorrenza ( $L_z$ ) con Greater London (popolazione in migliaia ( $W_z$ ,  $W_j$ ) e tempi ( $t_z$ ) in minuti).  
*10 best ranking and 10 worst ranking NUTS 3 zones for travel time only accessibility ( $L_z$ ) with Greater London (population in thousands ( $W_z$ ,  $W_j$ ) and time ( $t_z$ ) in minutes)*

		$W_z$	$\Sigma W_j$	$t_z$	$L_z$	$L_{bz}$	Std. dev. ( $L_{bz}$ )
Medway	UKJ41	261.5	35.9	62	43.94	16.12	3.896
Luton	UKH21	197.5	53.7	61	36.79	6.07	1.652
Hertfordshire	UKH23	1102.2	23.1	28	32.53	8.10	2.659
Surrey	UKJ23	1119.8	16.5	38	29.41	9.10	4.392
Milton Keynes	UKJ12	242.8	38.9	49	18.31	8.54	1.121
Kent CC	UKJ42	1443.7	18.3	90	17.51	6.24	2.513
Southend-on-Sea	UKH31	171.0	31.1	67	17.43	6.22	4.219
Buckinghamshire CC	UKJ13	500.8	15.1	42	15.11	6.02	3.152
Hampshire CC	UKJ33	1307.1	16.8	61	14.39	6.79	1.995
Essex CC	UKH33	1384.3	15.2	49	13.77	1.91	2.104
Leeds	UKE42	745.8	46.0	160	0.39	0.33	0.046
Northumberland	UKC21	315.0	7.0	225	0.37	0.13	0.100
Flintshire	UKL23	285.7	12.6	137	0.32	0.26	0.005
Durham CC	UKC14	509.0	27.1	174	0.31	0.26	0.001
Falkirk	UKM26	154.7	12.2	304	0.26	0.24	0.000
North Yorkshire CC	UKE22	597.7	16.7	143	0.20	0.16	0.001
Dunbartonshire	UKM31	222.1	5.4	527	0.18	0.17	0.000
Lochaber	UKM63	101.5	0.7	723	0.05	0.05	0.000
Bradford	UKE41	515.2	4.0	185	0.04	0.04	0.000
South Lanarkshire	UKM38	312.7	2.4	389	0.02	0.02	0.000

una volta che tutti i dati ferroviari europei saranno disponibili per presentare una valutazione globale del livello di servizio (LoS) del trasporto ferroviario passeggeri in Europa. In aggiunta, ulteriori applicazioni dell'approccio qui presentato potrebbero includere alcuni approfondimenti riguardo, ad esempio, le dinamiche giornaliere del servizio, la disponibilità dei servizi minimi, le frequenze o i costi di viaggio (tariffe), nonché gli aspetti geografici derivanti dalla configurazione della rete e dalla pianificazione dei servizi.

Inoltre, lo sviluppo di capacità interne per produrre e mantenere *open data* potrebbe aiutare le aziende di trasporto nella valutazione delle attività di programmazione dei servizi come, ad esempio, nel calcolo degli utenti potenziali e dei bacini di utenza integrando gli orari con i dati sulla popolazione.

Infine, a partire da questi valori di accessibilità più realistici e dettagliati, potrebbe essere possibile esplorare la costruzione un indicatore composito, pensato come parametro sintetico che includa tutte le eventuali informazioni 'complementari' fornite da indici di accessibilità "parziali" (ad esempio utilizzando Data Envelopment Analysis, come già proposto in [39] o attraverso una analisi delle componenti principali come suggerito in [40]).

## 6. Conclusioni

Questo studio ha esaminato due aspetti principali dell'accessibilità come proposta in letteratura: (i) la componente di trasporto (tempo di percorrenza, costo del

*travel time (seen as impedance factor) are a valid starting point for the calculation of several accessibility measures (e.g. location index, potential and/or daily accessibility etc.).*

*In the authors' opinion, there is much to gain from a co-ordinated collection of European timetable Open Data to better represent the influence of level of service (frequencies and even expected delays) in the accessibility evaluation of regions/cities; in particular the presented study could be further enhanced once all European rail data will be available to present a comprehensive European-wide assessment of the level of service (LoS) of passenger railways in Europe. Moreover, additional applications of the presented approach could include some others in-depth analyses, such as the within-day dynamics, equity-related questions regarding availability of services, frequencies or travel cost (fares), as well as spatial aspects derived from the network configuration and scheduling of services.*

*In addition developing the capacity of producing and maintaining Open Data feeds could help operators in the evaluation of service planning activities such as calculating potential users' service areas, integrating timetable with ridership and population data.*

*Finally, starting from these more realistic and detailed accessibility measures, it could be worth to explore an approach to construct a composite indicator, thought as a synthetic parameter embracing all the eventual 'complementary' information delivered by the 'partial' accessibility indexes (e.g. using a*



viaggio O/D) in base a orari reali, e (ii) la componente temporale (restrizioni / disponibilità del servizio) in base alla disponibilità del servizio e al calendario di effettuazione. Questo concetto esteso di accessibilità può essere pienamente considerato anche un indicatore sociale (valutazione dei servizi e infrastrutture) con una dimensione spaziale ed economica.

Inoltre quest'analisi presenta un approfondimento sull'acquisizione dei dati di input in formato GTFS. E' evidente, anche se le specifiche presentano un quadro chiaro, la mancanza di una definizione comune in tutta Europa di alcuni parametri dei dati GTFS. Innanzitutto abbiamo individuato un diverso approccio sulla definizione di stazione tra Olanda e Gran Bretagna: nel primo caso ogni binario è codificato come una unica fermata mentre in Gran Bretagna l'approccio è quello di identificare ogni stazione come punto di fermata univoco. In secondo luogo anche la codifica dei file `calendar.txt` e `calendar_dates.txt` è leggermente diversa a seconda dell'operatore ferroviario.

Queste differenze sono state superate in questo studio sviluppando un codice aggiuntivo, ma potrebbero portare a valori errati dei risultati se non considerati. E' auspicabile un'iniziativa comune degli operatori ferroviari per definire un'interpretazione comune delle specifiche GTFS che permetta ai ricercatori di realizzare una banca dati armonizzata. Tale archivio europeo dovrebbe includere i dati omologati rilasciati dalle autorità di trasporto in formato GTFS e potrebbe avere una rilevanza politica che incoraggi la partecipazione. L'effetto di questo database (repository) certificato sarebbe che gli orari del trasporto ferroviario sarebbero disponibili ad un livello molto più granulare permettendo di sostenere attività coordinate tra operatori e utenti per migliorare l'esperienza di viaggio. Infine, il livello di dettaglio delle informazioni sugli orari combinati con i dati geografici, compresi i dati demografici e dati socioeconomici, porterebbe ad aumentare la nostra comprensione dell'accessibilità e degli strumenti utili per promuovere un uso più efficiente dei sistemi di trasporto, al di là di considerazioni sulla connettività.

Un risultato importante di questo lavoro è stato quello di sviluppare una metodologia che potrebbe essere implementata in uno strumento GIS facile da usare estendendo alle reti ferroviarie l'approccio che viene comunemente utilizzato per il trasporto pubblico urbano. Ciò permetterebbe di analizzare grandi reti di trasporto ferroviario consentendo ai decisori di valutare il livello di servizio e di effettuare un'analisi comparativa a livello continentale.

L'analisi di questi risultati potrebbe aiutare le autorità nazionali ed europee a rafforzare ulteriormente gli obiettivi della politica dei trasporti. Le indagini ed i risultati presentati in questo documento potrebbero infatti rappresentare un passo in avanti nell'uso delle informazioni sugli orari e percorsi inclusi negli *open data* e particolarmente nel formato GTFS. Inoltre, questa ricerca dimostra la possibilità di promuovere *open data* ed il loro uso innovativo nella pianificazione e nelle valutazioni di politiche. Infine ma non meno importante, una recente ricerca ([3], [55]), che analizza il rapido aumento delle app nel settore del trasporto passeggeri basate sugli *open data* feed evidenzia chiaramente che gli sforzi fatti in questa direzione hanno un impatto positivo sul numero degli utenti.

*Data Envelopment Analysis as already proposed in [39] or a Principal Component Analysis as suggested in [40]).*

## 6. Conclusions

*The study investigated two main aspects of the accessibility as presented in the literature: (i) transport component (travel time, cost of the O/D trip) based on real timetable, and (ii) temporal component (time restriction/availability of service) based on service availability and calendar. This extended concept of accessibility can be fully considered as a social indicator (evaluation of services and infrastructure) in a spatial and economic dimension.*

*Furthermore this insight provides also an analysis of the input data acquisition. It is evident, even if the GTFS specifications present a clear framework, a lack of common definitions across Europe on some parameters of the GTFS. First of all we found different approach in stops definition between Netherlands and Great Britain: in the first case each platform is coded as a single stop on the contrary in Great Britain the approach is to identify every station as a unique stop. Secondly also the use of the `calendar.txt` and `calendar_dates.txt` is slightly different depending on the rail operator. All of these dissimilarities were overcome with additional code but could lead to misunderstanding of the results if not considered. We would recommend a collective initiative across the rail operators to find a common interpretation of the GTFS specifications enabling researchers to easily construct a harmonized data repository. A European repository should include operators-endorsed GTFS feeds and it could have a policy consequence that encouraged the participation. The effect of this clean data repository would be that rail transport data would be available at a much more granular level supporting coordinated activities between operators and users to enhance the travel experience. Finally, the level of detail of the timetable information combined with the insight from geographical information, including demographics and socioeconomic data, would enhance our understanding of accessibility and the metrics useful to promote a more efficient use of the transport systems, beyond mere centrality connectivity considerations.*

*A key result of this paper is to develop a methodology that could be implemented in an easy-to-use GIS tool extending to rail networks the analysis approach that is commonly used for urban public transport. This allows analysing large rail transport networks enabling decision-makers to evaluate the level of services and performing benchmarking at continental level.*

*The examination of these results could help the national and European authorities to further advance transport policy objectives. The investigations and results presented in this paper could serve as a step forward in the use of schedule and route information found in Open Data and particularly in the GTFS format. In addition, this research illustrates the possibility of fostering Open Data to promote their innovative use in planning activities and policy evaluations. Furthermore, recent research (e.g. [3] and [55]) investigating the rapid increase in transport apps based on Open Data feeds clearly suggest that investments in these area have a positive impact on ridership.*

Appendice: Risultati dettagliati dell'indicatore di accessibilità per zone NUTS 3 e fascia oraria  
 Appendix: Detailed results of the accessibility indicator by NUTS 3 zones and time band

	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	$L_z$
Darlington				2.735	2.415	2.389		2.599		2.614					2.402			2.98
Durham CC				0.261	0.261	0.261									0.262			0.31
Northumberland				0.098	0.016			0.098		0.099					0.314			0.37
East Cumbria							0.611	0.908	1.045	0.990	0.778							1.05
Greater Manchester		2.260	2.283	2.415	2.096	2.415	4.049	4.429	4.638	4.638	4.638	2.339	2.339	4.099	2.339	4.006	2.283	4.95
Lancashire CC							0.402	0.502	0.356	0.544	0.549	0.375		0.267		0.325	0.228	0.56
Liverpool			6.545	6.545	6.545	6.545	6.545	6.545						6.252				8.09
York				2.532	2.182	2.197		2.336		2.352					2.197			2.83
North Yorkshire CC				0.161		0.161									0.163			0.20
Barnsley, Doncaster and Rotherham				0.361	0.361	0.433									0.361			0.46
Sheffield	0.826		1.045	1.045	1.081	1.103	1.031	1.038	1.045	1.107	1.100	1.111	1.045	1.107				1.20
Bradford						0.037												0.04
Leeds						0.378												0.39
Derby	2.207		2.854	2.829	3.108	3.123	2.879	2.829	2.879	3.123	3.123	3.123	2.879	3.123			2.452	3.26
East Derbyshire	0.932		1.192	1.192	1.233	1.277	1.201	1.183	1.201	1.267	1.267	1.277	1.201	1.277				1.40
South and West Derbyshire	0.475				0.561	0.561				0.561	0.561	0.561		0.561			0.464	0.71
Nottingham			3.078	3.094	3.138	3.138	3.078	3.078	3.078	3.138	3.138	3.131		3.138	3.078	3.073	0.051	3.84
North Nottinghamshire				0.545	0.545	0.545		0.475							0.545			0.72
Leicester	3.120		4.221	4.246	4.620	4.660	4.246	4.221	4.271	4.639	4.639	4.639	3.900	4.639	3.353	3.353	3.661	4.80
Leicestershire CC and Rutland	0.640		0.686	0.692	0.765	0.765	0.686	0.686	0.686	0.765	0.765	0.765		0.765	0.686	0.686	0.765	0.93
Lincolnshire						0.549		0.506										0.73
Herefordshire, County of				1.507		1.505						1.473		1.535	1.414			1.71
Worcestershire	1.053	1.395	1.397	1.364		1.369	1.395		1.393		1.395	1.328	1.092	1.367	1.541			1.67
Warwickshire	0.623	1.475	2.168	2.345	2.306	2.187	3.680	3.385	2.345	2.345	3.313	2.306	3.824	2.600	2.381	2.959	2.231	4.95
Stoke-on-Trent		1.065	1.226	1.379	0.942	1.379	1.379	1.379	1.379	1.379	1.379	1.379	1.379	1.529	1.529	1.144	1.478	1.46
Staffordshire CC		0.644	0.932	0.932	0.932	0.932	0.932	0.932	0.818	0.818	0.818	0.810	0.818	0.457				1.04
Birmingham	0.694	0.094	0.802	0.797	0.815	0.815	1.418	1.863	0.797	0.797	1.263	0.823	1.992	2.048	1.472	1.654	1.734	2.31

(segue)

Appendice: Risultati dettagliati dell'indicatore di accessibilità per zone NUTS 3 e fascia oraria  
 Appendix: Detailed results of the accessibility indicator by NUTS 3 zones and time band

Coventry	UKG33	3.010	1.904	3.837	4.096	3.864	3.864	4.182	4.182	4.096	4.096	3.925	4.050	4.050	3.950	3.371	3.696	4.55
Peterborough	UKH11				4.489	4.459	4.459	4.129							4.288	3.675	3.716	5.11
Cambridgeshire CC	UKH12	1.372	1.175		3.179	1.203	1.428	1.428		1.175					1.100	1.169	2.267	5.80
Norfolk	UKH13		1.176		0.467											1.122	1.122	1.99
Suffolk	UKH14		1.971													1.871	1.871	2.58
Luton	UKH21	3.467		5.741	5.741	5.741	5.741	5.741	5.741	5.741	5.741	6.067	7.065	7.217	5.741	5.741	9.405	36.79
Hertfordshire	UKH23	4.917	5.111	8.326	9.492	8.180	9.827	10.373	10.373	9.775	9.701	6.067	7.067	7.065	8.446	8.434	10.046	32.53
Southend-on-Sea	UKH31	3.832																17.43
Thurrock	UKH32					3.891												7.40
Essex CC	UKH33	4.785	3.598	0.589	0.249	0.596	1.404	1.144	1.144	1.000	1.000	0.249	0.249	0.249	0.589	2.619	2.619	13.77
Berkshire	UKJ11	3.473	3.943	3.783	4.464	3.774	4.427	3.819	4.440	4.267	4.608	4.608	4.488	4.623	4.091	3.991	3.374	9.81
Milton Keynes	UKJ12	8.733	9.670	8.413	8.521	9.075	9.363	9.571	9.571	8.558	8.540	9.503	9.092	9.330	8.352	7.589	8.379	18.31
Buckinghamshire CC	UKJ13	2.027	2.632	2.644	2.632	2.632	2.632	7.795	5.209	8.015	8.094	5.148	7.507	8.289	8.577	6.836	10.228	15.11
Oxfordshire	UKJ14	2.169	2.398	2.366	2.402	2.323	2.396	3.537	3.732	2.491	2.233	3.870	2.373	4.022	4.221	3.239	3.413	4.82
Brighton and Hove	UKJ21	0.473		0.385	0.634	0.376	0.624	0.624	0.624	0.624	0.624	0.624	0.624	0.624	0.624	0.632	0.583	0.78
East Sussex CC	UKJ22			5.076	5.651	5.323	5.651	5.651	5.651	5.651	5.651	5.651	5.618	5.618	5.790	5.242	3.335	6.84
Surrey	UKJ23	5.505	11.960	11.539	9.218	9.261	11.238	10.556	10.400	9.653	9.697	11.217	12.097	12.825	12.184	12.042	12.813	29.41
West Sussex	UKJ24	4.664	1.165	6.615	6.712	5.449	6.351	6.351	6.351	6.351	6.351	6.351	6.351	6.348	6.359	6.382	7.734	11.15
Portsmouth	UKJ31	1.281	4.534	2.952	3.574	3.574	2.032	3.625	3.625	3.625	3.564	3.629	3.625	3.625	3.599	3.629	3.712	8.41
Southampton	UKJ32	0.133		0.178	0.168	0.150	0.150	0.173	0.173	0.173	0.173	0.173	0.171	0.165	0.077	0.173	0.145	1.03
Hampshire CC	UKJ33	2.919	5.285	8.156	5.974	7.252	6.032	8.432	8.319	7.723	7.824	8.432	7.966	8.535	8.261	8.283	6.811	14.39
Medway	UKJ41		8.287	13.861	13.401	16.162	15.609	16.162	15.609	16.162	16.162	16.162	16.162	16.162	16.162	21.569		43.94
Kent CC	UKJ42	1.011	2.427	6.542	6.950	6.390	7.223	7.356	7.422	7.541	7.541	7.541	7.532	7.541	10.688	8.884	8.622	17.51
Bristol, City of	UKK11	1.009		1.207	1.207	2.682	1.207	1.212	2.667	1.207	1.197	1.095	1.089	1.089	1.212	2.669	1.182	3.09
Bath and North East Somerset, North Somerset and South Gloucestershire	UKK12	1.135		1.019	1.019	2.738	1.116	1.678	3.322	1.582	1.705	1.495	1.495	1.451	1.116	3.621	1.539	5.50
Gloucestershire	UKK13	0.050	0.052	0.052	1.973		1.968	0.052	1.922	0.052	1.922	1.917	1.972	0.052	1.973	0.060	1.927	2.49
Swindon	UKK14	3.545		4.694	4.980	4.726	5.004	5.255	5.255	5.004	5.276	5.104	5.130	4.726	5.004	4.726	4.861	5.66
Wiltshire CC	UKK15	0.650		2.645	2.794	4.512	0.992	2.678	4.630	2.676	2.676	2.701	1.621	3.473	2.659	4.573	2.564	6.62

(segue)



Appendice: Risultati dettagliati dell'indicatore di accessibilità per zone NUTS 3 e fascia oraria  
 Appendix: Detailed results of the accessibility indicator by NUTS 3 zones and time band

Bournemouth and Poole	UKK21	8.282		5.825	8.675	7.187	7.187	8.671	8.671	8.671	8.671	8.671	8.671	8.671	8.671	8.671	8.671	8.060	4.346	12.81
Dorset CC	UKK22	3.875		2.442	4.816	3.212	2.370	4.992	4.992	4.992	4.992	4.992	4.992	4.150	4.898	1.560	4.753	3.178	1.754	6.97
Somerset	UKK23			0.779	0.916	0.956	0.713	0.218	0.907	0.956	0.936	0.801	1.038	0.969	1.458	1.278	0.049	1.278	0.049	1.75
Cornwall and Isles of Scilly	UKK30			0.781		0.849	0.814	0.200		0.712			0.727	0.779	0.816					1.10
Plymouth	UKK41			0.648		0.645	0.700	0.651		0.648			0.610	0.645	0.704	0.654	0.588			0.69
Torbay	UKK42				2.776		2.801		2.806											3.22
Devon CC	UKK43			1.424	1.656	1.552	0.450	1.151	1.629	1.552	1.234	1.443	0.374	1.467	1.539	1.620	0.479			2.10
Isle of Anglesey	UKL11					0.679					0.676			0.658						0.76
Gwynedd	UKL12					0.740					0.736			0.713						0.85
Conwy and Denbighshire	UKL13					1.260					1.721			1.661						2.02
Bridgend and Neath Port Talbot	UKL17	1.343						1.654	1.654	1.654	1.654	1.654	1.654	1.654				1.458	1.458	1.83
Swansea	UKL18	1.404						1.687	1.687		1.687	1.663	1.687							1.89
Monmouthshire and Newport	UKL21	1.578						2.284	2.081	2.006	2.081	2.096	2.081					1.812	1.812	2.34
Flintshire and Wrexham	UKL23										0.270			0.260						0.32
Angus and Dundee City	UKM21										0.641							0.464	0.464	1.18
Clackmannanshire and Fife	UKM22										0.346							0.229	0.229	0.62
Edinburgh, City of	UKM25				0.760	0.705			1.869		1.032					0.677				1.93
Falkirk	UKM26								0.237											0.26
Perth & Kinross and Stirling	UKM27								0.608									0.520	0.520	1.21
East Dunbartonshire, West Dunbartonshire and Helensburgh & Lomond	UKM31																	0.174	0.174	0.18
South Lanarkshire	UKM38																			0.02
Aberdeen City and Aberdeenshire	UKM50										0.297							0.212	0.212	0.54
Inverness & Nairn and Moray, Badenoch & Strathspey	UKM62								0.257									0.196	0.196	0.48
Lochaber, Skye & Lochalsh, Arran & Cumbrae and Argyll & Bute	UKM63																	0.051	0.051	0.05

BIBLIOGRAFIA – REFERENCES

- [1] ANTRIM A., BARBEAU S. (2013), *"The Many Uses of GTFS Data – Opening the Door to Transit and Multimodal Applications"*, Proceedings, APTA TransITech 2013.
- [2] BHAT C., HANDY S., KOCKELMAN K., MAHMASSANI H., CHEN Q., WESTON L. (2000), *"Development of an Urban Accessibility Index: Literature Review"*, Center for Transportation Research, University of Texas, Austin USA.
- [3] BRAKEWOOD C., MACFARLANE G.S, WATKINS K. (2015), *"The impact of real-time information on bus ridership in New York City"*, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 53, 59-75.
- [4] BRÖMMELSTROET M., SILVA C., BERTOLINI L. (Eds.) (2014), *"Assessing Usability of Accessibility Instruments"*, COST Office, Amsterdam
- [5] CAO J., LIU X.C., WANG Y., & LI Q. (2013), *"Accessibility impacts of China's high-speed rail network"*, Journal of Transport Geography, 28, 12-21.
- [6] CHANDRA S., & VADALI S. (2014), *"Evaluating accessibility impacts of the proposed America 2050 high-speed rail corridor for the Appalachian Region"*, Journal of Transport Geography, 37, 28-46.
- [7] Chang J.S., Lee J.H. (2008), *"Accessibility analysis of Korean high speed rail: a case study of the Seoul metropolitan area"*, Transp. Rev. 28(1), 87-103.
- [8] CHARALAMBOUS N., MAVRIDOU M. (2012), *"Space Syntax: Spatial Integration Accessibility and Angular Segment Analysis by Metric Distance (ASAMeD)"*, In: Hull A, SILVA C., BERTOLINI L. (Eds.) *"Accessibility Instruments for Planning Practice"*, COST Office, Amsterdam, 57-62
- [9] CHEN C.L., HALL P. (2011), *"The impacts of high-speed trains on British economic geography: a study of the UK's Inter-City 125/225 and its effects"*, Journal of Transport Geography 19(4), 689-704.
- [10] CHEN C.L, HALL P. (2012), *"The wider spatial-economic impacts of high-speed trains: a comparative case study of Manchester and Lille sub-regions"* Journal of Transport Geography 24, 89-110.
- [11] CHEN G., DE ABREU e SILVA J. (2014), *"Estimating the provincial economic impacts of high-speed rail in Spain: An application of structural equation modeling"*, Procedia - Social and Behavioral Sciences 111, 157-65.
- [12] CURTIS C., SCHEURER J. (2008), *"Multiple accessibility: developing a tool for evaluating land use-transport integration"*, GAMUT, Australasian Centre for the Governance and Management of Urban Transport, University of Melbourne, Melbourne.
- [13] CURTIS C., SCHEURER J. (2010), *"Planning for sustainable accessibility: Developing tools to aid discussion and decision-making"*, Progress in planning 74, 53-106.
- [14] DIJKSTRA L., POELMAN H. (2012), *"Cities in Europe. The new OECD-EC definition"*, Regional Focus 1(2012), Directorate-General for Regional and Urban Policy, European Commission, Bruxelles.
- [15] EC (2011a), *"White Paper. Roadmap to a Single European Transport Area-Towards a competitive and resource efficient transport system"*, COM(2011) 144 final. European Commission, Brussels
- [16] EC (2011b), *"Open data. An engine for innovation, growth and transparent governance"*, COM(2011) 882 final. European Commission, Brussels.
- [17] EP (2003), Directive 2003/98/EC of the European Parliament and of the Council of 17 November 2003 on the re-use of public sector information OJ L 345/90.
- [18] ESPON (2010), *"TRACC Transport Accessibility at Regional/Local Scale and Patterns in Europe"*, ESPON Coordination Unit, Luxembourg.
- [19] ESPON (2012), *"ESPON 2013 Programme. ESPON Projects. Final Overview"*, ESPON Coordination Unit, Luxembourg.
- [20] Eurostat (2014), Local Administrative Units (LAU), [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/nuts\\_nomenclature/local\\_administrative\\_units](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/nuts_nomenclature/local_administrative_units). Retrieved on 1<sup>st</sup> July, 2014.
- [21] GEURS K.T., VAN WEE B. (2001), *"Accessibility measures: review and applications"*, RIVM Report 408505 006. National Institute of Public Health and the Environment, Bilthoven.
- [22] GEURS K.T, VAN WEE B. (2004), *"Accessibility evaluation of landuse and transport strategies: Review and research directions"*, Journal of Transport Geography 12, 127-140.
- [23] GBRail Info Open data Portal <http://gtfs.gbrail.info/> accessed 2 June 2013.



- [24] Google Inc. (2014), "General Transit Feed Specification Reference", Accessed July 19, 2014 from <http://developers.google.com/transit/gtfs/reference>,
- [25] GUTIÉRREZ J. (2001), "Location, economic potential and daily accessibility: an analysis of the accessibility impact of the high-speed line Madrid-Barcelona-French border", *Journal of Transport Geography* 9(4), 229-242.
- [26] GUTIÉRREZ J. (2009), "Transport and Accessibility", in: KITCHIN R., THRIFT N. (Eds.), "International encyclopedia of human geography", Elsevier, Amsterdam, 410-417.
- [27] GUTIÉRREZ J., CONDEÇO-MELHORADO A., LÓPEZ E., MONZÓN A. (2011), "Evaluating the European added value of TEN-T projects: a methodological proposal based on spatial spillovers, accessibility and GIS", *Journal of Transport Geography* 19, 840-850.
- [28] GUTIERREZ J., GONZALEZ R., GOMEZ G. (1996), "The European high-speed train network. Predicted effects on accessibility patterns", *Journal Transport Geography* 4(4), 227-238.
- [29] GUTIÉRREZ PUEBLA J. (2004), "El tren de alta velocidad y sus efectos espaciales", *Invest. Reg.* 5, 199-221.
- [30] HADAS Y. (2013), "Assessing public transport systems connectivity based on Google Transit data", *Journal of Transport Geography*, 33, 105-116.
- [31] HANDY S.L., NIEMEIER D.A. (1997), "Measuring accessibility: an exploration of issues and alternatives", *Environment and Planning A* 29, 1175-1194.
- [32] HANSEN W.G. (1959), "How accessibility shapes land use", *Journal of American Institute of Planners* 25(1) 73-76.
- [33] HOU Q., LI S.M. (2011), "Transport infrastructure development and changing spatial accessibility in the Greater Pearl River Delta, China, 1990-2020", *Journal of Transport Geography* 19, 1350-1360.
- [34] HULL A., SILVA C., BERTOLINI L. (Eds.), (2012), "Accessibility Instruments for Planning Practice", COST Office, Amsterdam.
- [35] KOTAVAARA O., ANTIKAINEN H., RUSANEN J. (2011), "Population change and accessibility by road and rail networks: GIS and statistical approach to Finland 1970-2007", *Journal of Transport Geography* 19, 926-935.
- [36] KWAN M.P. (1998), "Space-time and integral measures of individual accessibility: a comparative analysis using a point-based framework", *Geographical Analysis* 30, 191-216.
- [37] LEVINSON D.M. (2012), "Accessibility impacts of high-speed rail", *Journal of Transport Geography* 22, 288-291.
- [38] LITMAN T.A. (2012), "Evaluating accessibility for transportation planning", Victoria Transport Policy Institute, [www.vtpi.org](http://www.vtpi.org).
- [39] MARTÍN J.C., GUTIÉRREZ J., ROMÁN C. (2004), "Data envelopment analysis (DEA) index to measure the accessibility impacts of new infrastructure investments: the case of the high-speed train corridor Madrid-Barcelona-French border", *Regional Studies* 38(6), 697-712.
- [40] MARTÍN J.C., REGGIANI A. (2007), "Recent Methodological Developments to Measure Spatial Interaction: Synthetic Accessibility Indices Applied to High Speed Train Investments", *Transport Reviews* 27(5), 551-571.
- [41] MARTÍNEZ SÁNCHEZ-MATEOS H.S.M. & GIVONI M. (2012), "The accessibility impact of a new High-Speed Rail line in the UK-a preliminary analysis of winners and losers", *Journal of Transport Geography*, 25, 105-114.
- [42] MONZÓN A., ORTEGA E., LÓPEZ E. (2013), "Efficiency and spatial equity impacts of high-speed rail extensions in urban areas" *Cities* 30, 18-30.
- [43] MORANG M. (2014), "Yay, transit! Using GTFS Data in ArcGIS Network Analyst", Accessed July 19, 2014 from <http://transit.melindamorang.com>.
- [44] NECTAR (2014), "Cluster 6: Accessibility", <http://www.nectar-eu.org/Clusters/Cluster6/Cluster6.htm>.
- [45] OVAPI GTFS portal <http://gtfs.ovapi.nl/> accessed 2 June 2013.
- [46] PÁEZ A., SCOTT D.M., & MORENCY C. (2012), "Measuring accessibility: positive and normative implementations of various accessibility indicators", *Journal of Transport Geography*, 25, 141-153.
- [47] PESSOA L., REED L., TZEGAEGBE J., WONG J., YAN B. (2011), "Enabling Transit Solutions: A Case for Open Data", *Transportation Planning Fall 2011 Georgia Institute of Technology CE 660*.
- [48] ROTH M. (2010), "How Google and Portland's TriMet set the standard for Open Transit Data", Accessed July 19, 2014 from <http://sf.streetsblog.org>.
- [49] ROTOLI F., CHRISTIDIS P., VANNACCI L., LOPEZ-RUIZ H.G., NAVAJAS C.E., IBÁÑEZ R.N. (2014), "Potential impacts on accessibility and consumer surplus of improvements of the European railway system", *Euro Working Group on Transportation 2014. Transportation Research Procedia*, 3, 319-328.

- [50] ROTOLI F., NAVAJAS CAWOOD E. & CHRISTIDIS P., (2015), "A Data Envelopment Analysis approach for accessibility measures: Simulating operational enhancement scenarios for railway across Europe", European Transport Research Review, 7(2), 1-18.
- [51] SHADBOLT N. (2010), Towards a pan EU data portal-data.gov.eu.
- [52] SHAW S.L., FANG Z., LU S., TAO R. (2014), "Impacts of high speed rail on railroad network accessibility in China", Journal of Transport Geography (in press).
- [53] SILVA C., PINHO P. (2010), "The Structural Accessibility Layer (SAL): revealing how urban structure constrains travel choice", Environment and Planning A 42, 2735-2752.
- [54] SNCF Open data Portal <http://data.sncf.com/> accessed 2 June 2013.
- [55] TANG L., THAKURIAH P.V. (2012), "Ridership effects of real-time bus information system: a case study in the City of Chicago", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 22, 146-161.
- [56] VANDENBULCKE G., STEENBERGHEN T., THOMAS I. (2009), "Mapping accessibility in Belgium: a tool for land-use and transport planning?", Journal of Transport Geography 17, 39-53.
- [57] VANNACCI L. (2014), "European accessibility using real timetable data", Proceedings, Nectar Cluster 6 Meeting, Seville 6th February 2014.
- [58] YANG R., YAN H., XIONG W., LIU T. (2013), "The Study of Pedestrian Accessibility to Rail Transit Stations Based on KLP Model", Procedia - Social and Behavioral Sciences 96, 714-722.

## TRENI ITALIANI ETR 500 FRECCIAROSSA

Il volume è suddiviso in 5 capitoli:

- 1 LA STORIA DELL'ALTA VELOCITÀ - Nascita dell'Alta Velocità ferroviaria Italiana;
- 2 MARCATURA DEI ROTABILI - Contrassegni ed iscrizioni - Principali requisiti dei rotabili - Struttura componenti dei rotabili - Costruzione della cassa dei rotabili;
- 3 TRENI AD ALTA VELOCITÀ DI TRENITALIA - Frecciabianca - Frecciargento - Frecciarossa - Nascita del treno ETR 500 Frecciarossa - Composizione del treno;
- 4 LOCOMOTORI E. 404 E CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE - Struttura della cassa - Organi della trazione e repulsione - Rodiggio - Carrelli - Principali componenti dei carrelli - Gruppo di trazione, sale montate e sospensioni - Principali impianti di bordo;
- 5 TRENO ETR 500 PTL FRECCIAROSSA - Composizione del treno - Le carrozze della composizione - Struttura della cassa - Carrelli e caratteristiche costruttive - Sospensioni - Sale montate, boccole e cuscinetti - Arredamenti - Principali impianti di bordo.



Volume con copertina cartonata, di 110 pagine, formato 31x22 cm con oltre 150 foto a colori e disegni.  
Editrice Veneta via Ozanam, 8 - 13100 Vicenza

Prezzo di copertina € 30,00. Per sconti, spese di spedizione e modalità di acquisto consultare la pagina  
"Elenco di tutte le pubblicazioni CIFI" sempre presente nella Rivista