



Università degli Studi di Napoli Federico II  
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

Dottorato di Ricerca in **Ingegneria dei Sistemi Civili XXIX ciclo**

# LOCALIZZAZIONE DEI SERVIZI PUBBLICI, UTENTI SERVITI E RETI DI TRASPORTO. UN APPROCCIO INTEGRATO ALL'ANALISI DELL'ACCESSIBILITÀ ALLE DOTAZIONI URBANE

DOTTORANDO  
**GENNARO ANGIELLO**

TUTOR  
**PROF. ING. ROCCO PAPA**

COORDINATORE DI DOTTORATO  
**PROF. ING. ANDREA PAPOLA**

### **Capitolo 1**

|   |    |
|---|----|
| <i>Il progetto di ricerca</i> .....   | 4  |
| 1.1 Introduzione.....   | 5  |
| 1.2 Ricerche recenti e prospettive future sul tema dell'accessibilità urbana.....                                 | 6  |
| 1.3 Sistemi informativi geografici e nuove fonti di dati a supporto del governo delle trasformazioni urbane ..... | 14 |
| 1.4 Obiettivi della ricerca .....   | 18 |
| 1.5 Study design .....  | 20 |
| 1.6 Struttura della tesi.....   | 21 |
| Bibliografia.....   | 24 |

### **Capitolo 2**

|  |    |
|--|----|
| <i>Accessibilità ai servizi scolastici, scelta della scuola ed equità spaziale. Indicatori di accessibilità a supporto dell'organizzazione della rete scolastica</i> ..... | 30 |
| Abstract .....   | 31 |
| 2.1 Background e obiettivi del lavoro .....  | 32 |
| 2.2 Area di studio e contesto .....  | 36 |
| 2.3 Acquisizione e trattamento dei dati .....  | 37 |
| 2.4 Metodologia.....   | 41 |
| 2.4.1 Prossimità .....   | 42 |
| 2.4.2 Capacità cumulata .....  | 44 |
| 2.4.3 Bilanciamento locale tra domanda offerta.....  | 45 |

---

---

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 2.4.4 | Attrattività e scelta della scuola.....        | 47 |
| 2.4.5 | Aggregazione dei risultati .....               | 49 |
| 2.4.6 | Equità spaziale.....                           | 50 |
| 2.5   | Analisi dei risultati .....                    | 52 |
| 2.5.1 | Indicatori di accessibilità.....               | 52 |
| 2.5.2 | Comparazione statistica degli indicatori ..... | 59 |
| 2.6   | Conclusioni.....                               | 60 |
| 2.7   | Limitazioni e sviluppi futuri.....             | 61 |
|       | Bibliografia.....                              | 62 |

### **Capitolo 3**

|       |  |           |
|-------|--|-----------|
|       | <i>Una metodologia di analisi dinamica dell'accessibilità ai servizi sanitari. Applicazione al caso studio di Madrid ed implicazioni per le pratiche di pianificazione .....</i> | <i>67</i> |
|       | Abstract .....   | 68        |
| 3.1   | Background e obiettivi del lavoro .....  | 69        |
| 3.2   | Area di studio .....   | 73        |
| 3.3   | Acquisizione e trattamento dei dati .....  | 74        |
| 3.4   | Metodologia.....   | 80        |
| 3.4.1 | Calcolo dei tempi di spostamento .....   | 82        |
| 3.4.2 | Accessibilità statica .....  | 82        |
| 3.4.3 | Accessibilità dinamica.....  | 83        |
| 3.4.4 | Scenari .....  | 85        |
| 3.5   | Analisi dei risultati .....  | 86        |
| 3.5.1 | Accessibilità statica .....  | 86        |
| 3.5.2 | Accessibilità dinamica.....  | 87        |

---

---

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 3.5.3 | Comparazione degli scenari .....                     | 90 |
| 3.6   | Implicazioni per le pratiche di pianificazione ..... | 91 |
| 3.7   | Limitazioni e sviluppi futuri.....                   | 92 |
|       | Bibliografia.....                                    | 94 |

## ***Capitolo 4***

|       |  |                   |
|-------|--|-------------------|
|       | <i>Principali contributi del lavoro di ricerca e sviluppi futuri .....</i> | <i>98</i>         |
| 4.1   | Principali contributi del lavoro di ricerca.....                           | 99                |
| 4.1.1 | Indicatori di accessibilità time-sensitive .....                           | 99                |
| 4.1.2 | Equità ed effetti distributivi.....  | 99                |
| 4.1.3 | Sistemi informativi geografici e nuove fonti dati.....                     | 100               |
| 4.1.4 | Comparazioni empiriche di diversi indicatori .....                         | 100               |
| 4.2   | Sviluppi futuri.....   | 101               |
| 4.2.1 | Studi comparativi .....  | 101               |
| 4.2.2 | Interazione tra ricerca e pratica .....                                    | 102               |
|       | Bibliografia.....  | 103               |
|       | <b><i>Acknowledgment</i></b> .....   | <b><i>105</i></b> |



# *Capitolo 1*

## **Il progetto di ricerca**

---

## 1.1 Introduzione

*“Accessibility is an old idea in planning research that needs fresh thinking to make the jump to planning practice (Hull e Silva 2012)”*

L'accessibilità è considerata un aspetto fondamentale di una città ben funzionante (te Brömmelstroet et al., 2013), un indicatore sintetico del livello di organizzazione del territorio (Papa, 2009) e un utile framework per integrare politiche di assetto urbano e investimenti nell'offerta di trasporto pubblico (Bertolini et al., 2005).

Il presente lavoro di tesi si centra sul tema dell'accessibilità alle dotazioni urbane ed utilizza il concetto di accessibilità come una misura in grado di catturare l'intensità e la distribuzione spaziale dei benefici derivanti da una corretta organizzazione di spazi e servizi pubblici. Integrando in maniera creativa nuove fonti di dati e sviluppando tool di analisi spaziale ad hoc, il presente lavoro mette a punto nuovi approcci e nuovi indicatori di accessibilità in grado di rappresentare in maniera innovativa la domanda e l'offerta di spazi e servizi pubblici ed il loro potenziale di interazione spaziale, reso possibile dalle reti di trasporto.

Il presente capitolo di introduzione al lavoro di tesi propone una rassegna critica della letteratura scientifica più recente sui alcuni temi considerati particolarmente rilevanti per lo sviluppo metodologico del lavoro di ricerca. In particolar modo, il primo paragrafo propone una rassegna sugli studi più recenti sul tema dell'accessibilità urbana e offre una panoramica sulle prospettive di ricerca futura, individuando alcuni temi chiave per i prossimi anni. Il secondo paragrafo discute le opportunità emergenti connesse alla disponibilità di nuove fonti di dati e all'avanzamento tecnologico dei sistemi informativi geografici. L'uso combinato di queste due opportunità, come dimostrato nella seconda parte del lavoro, permette di sviluppare nuove analisi spaziali di accessibilità difficilmente immaginabili in passato. Il lavoro di rassegna critica della letteratura scientifica costituisce un utile esercizio per la definizione della finalità e degli obiettivi del lavoro di ricerca, presentati nel terzo paragrafo del presente capitolo e si conforma come una lente attraverso la quale poter leggere l'intero elaborato. Il capitolo prosegue con la descrizione dello study design, comune

---

alle applicazioni presenti nella seconda parte del lavoro. Nell'ultimo paragrafo infine viene presentata la struttura della tesi e descritto il contenuto dei singoli capitoli.

## **1.2 Ricerche recenti e prospettive future sul tema dell'accessibilità urbana**

L'accessibilità costituisce un tema chiave per le discipline che si occupano del governo delle trasformazioni territoriali, della pianificazione dei trasporti e della geografia umana. Sebbene implicito negli studi degli anni venti che hanno indagato i meccanismi di localizzazione delle attività nello spazio, il concetto di accessibilità viene formalizzato per la prima volta alla fine degli anni Cinquanta nel lavoro seminale di Hansen (1959). In tale lavoro l'accessibilità viene definita come *“potenziale di interazione”* tra diverse attività distribuite sul territorio. I successivi lavori degli anni Sessanta sul tema sono stati portati avanti principalmente in Nord America dove il concetto di accessibilità è impiegato nella formulazione di modelli di generazione e distribuzione della domanda di mobilità (Batty, 2009). A partire dagli anni Settanta il tema ha ricevuto i contributi scientifici di diverse discipline quali le scienze regionali, il governo delle trasformazioni urbane, l'economia e la geografia umana e, negli stessi anni, è stato più volte ridefinito, assumendo di conseguenza un diverso significato. Ad esempio, nel lavoro di Wachs e Kumagai (1973) sul tema della qualità urbana, l'accessibilità è stata definita come *“il numero di attività che può essere raggiunto entro una certa distanza”*; Dalvi e Martin (1976) hanno definito l'accessibilità come *“la facilità con cui una determinata attività nel territorio può essere raggiunta da un certo luogo”*; Leonardi (1978) ha legato il concetto di accessibilità al concetto di surplus del consumatore e ha inteso quest'ultima come una misura in grado di catturare *“i benefici offerti da un sistema integrato trasporti-territorio”*.

Questo ruolo di cerniera tra diverse discipline è stato responsabile di una certa ambiguità, rappresentando al contempo una fonte di difficoltà nelle applicazioni pratiche. L'ambiguità del termine e la molteplicità di approcci di misura è ben esplicitata in una celebre frase di Gould (1969): *“Accessibility is a slippery notion (...) one of those common terms that everyone uses until faced with the problem of defining and measuring it.”*. Una caratteristica comunque comune alle definizioni

---

presenti in letteratura è che il concetto (e la misura) dell'accessibilità include sempre al suo interno un giudizio sulla forma ed intensità d'uso del suolo (o più in generale sulla distribuzione delle attività nello spazio) ed un giudizio sulle performance delle reti di trasporto (o più in generale sul grado di separazione spaziale tra due o più attività).

Nell'ottica di trasporre questa pletora di concetti in forma operativa, un consistente numero di misure è stato proposto in letteratura. Un influente lavoro del 2004 di Geurs e van Wee (2004) prova a mettere ordine e propone un articolazione in sette tipologie. In tabella 1.1 e sulla base di tale classificazione si riporta una sintesi delle diverse misure proposte in letteratura, delle definizioni adottate nonché degli studi in cui ciascuna misura viene introdotta per la prima volta. Le misure appartenenti alle prime quattro tipologie vengono anche definite come place-based measures (Geurse van Wee 2004) e sono state comunemente utilizzate negli ambiti disciplinari dell'urbanistica, della geografia umana e delle scienze regionali per descrivere e comprendere i pattern di accessibilità a diverse attività urbane (lavoro, istruzione, sanità, commercio, etc.). Di particolare rilevanza per il presente lavoro sono le misure appartenenti alla categoria competition measures che comprende un insieme di tecniche utilizzate per tenere in conto degli effetti della competizione spaziale nel calcolo dell'accessibilità, ovvero dell'interazione tra domanda e offerta di una certa attività, bene o servizio. La prima formulazione proposta in letteratura per tenere esplicitamente in conto del fenomeno della competizione è di Joseph & Bantock (1982) ed è stata formulata nell'ambito della stima dei livelli di accessibilità ai servizi sanitari di base. Proprio nel settore della health geography e grazie all'impulso delle nuove tecnologie GIS, sono state approntate le principali innovazioni tra cui la tecnica two-step floating catchment area (Luo & Wang 2003). Ricorrendo a concetti comuni nelle discipline che studiano la localizzazione dei servizi nello spazio, quali il raggio di influenza ed il bacino di utenza, i due autori hanno messo a punto una tecnica che presenta il vantaggio di esprimere l'accessibilità in termini di rapporto tra intensità di servizi e popolazione servita (e.g. posti letto/abitante, medici/abitante) e per tanto ben si conforma alle pratiche di pianificazione in cui occorre analizzare/verificare quantitativamente le variazioni di tali rapporti nello spazio. La tecnica sviluppata per



lo studio dell'accessibilità ai servizi sanitari è stata recentemente migliorata da diversi autori (e.g. Luo e Whippo, 2012; Fransen et al., 2015) ed estesa all'analisi dell'accessibilità dei parchi urbani (Doni et al., 2015), delle biblioteche (Park, 2012) o delle fermate del trasporto collettivo (Langford et al., 202).

| <i>Misure</i>               | <i>Definizioni</i>  | <i>Autori (anno)</i>    |
|-----------------------------|---|-------------------------|
| Spatial separation measures | Definiscono l'accessibilità come il grado di separazione spaziale tra due punti o luoghi della stessa superficie.   | Ingram (1971)           |
| Contour measures            | Definiscono l'accessibilità come il numero di opportunità che può essere raggiunto in un dato intervallo temporale, distanza o costo.   | Wachs & Kumagai (1973)  |
| Gravity measures            | Definiscono l'accessibilità come il potenziale di opportunità per le interazioni e sono basate sui concetti di attrattività e deterrenza.   | Hansen (1959)           |
| Competition measures        | Permettono di tenere in conto dell'interazione spaziale tra domanda e offerta di attività, ovvero del fenomeno della competizione   | Joseph & Bantock (1982) |
| Utility-based measures      | Descrivono i livelli di accessibilità in funzione dei benefici che gli individui traggono dalla possibilità di accedere alle attività distribuite nello spazio.   | Leonardi (1978)         |
| Space-time measures         | Descrivono l'accessibilità in termini di facilità individuale di raggiungere le destinazioni, tenendo conto della sequenza giornaliera di spostamenti e dei vincoli spaziali e temporali nell'accesso alle attività | Miller (1999)           |
| Network measures            | Descrivono l'accessibilità in funzione delle caratteristiche topologiche delle reti di trasporto.   | Hillier & Hanson (1989) |

*Tabella 1.1 Misure e definizioni di accessibilità*

---

Le utility-based measures hanno trovato invece principale applicazione negli ambiti disciplinari della pianificazione ed dell'ingegneria dei sistemi di trasporto. Tali misure infatti sono basate sulla teoria dell'utilità aleatoria (Ben Akiva e Lerman 1985) ed interpretano l'accessibilità come il risultato di una serie di scelte di trasporto. Le utility-based measures, se pur più complesse da implementare (e da interpretare), presentano il vantaggio di poter "monetizzare" l'accessibilità e per tanto sono particolarmente utili nell'analisi costi-benefici degli investimenti sui sistemi di trasporto (Geurs, 2012). Un contributo significativo allo sviluppo delle person-based measures è stato invece offerto dai lavori di Hagenstrad (1970) nell'ambito della *space-time geography* e dai successivi sviluppi teorici ad opera di Miller (1991) e Kwan (1998). Tali misure vengono definite *person-based* perché permettono di descrivere l'accessibilità dei singoli individui, tenendo inoltre in conto dei vincoli spaziali e temporali che essi incontrano nell'accesso alle opportunità. Infine, le *network-based measures* sono misure basate sulla *teoria dei grafi* e l'*analisi dei network* e descrivono l'accessibilità in funzione delle caratteristiche topologiche dei network spaziali. I principali concetti di *network analysis* si sono formati inizialmente nell'ambito della sociologia strutturale (Freeman, 1978) per poi essere estesi all'analisi configurazionale dei sistemi urbani nei lavori di Hillier e Hanson (1985, 1989), che in seguito hanno dato vita ad un insieme di studi riconducibili all'approccio definito *space syntax*.

Molte delle misure originali riportate nel riquadro precedente sono state successivamente riformulate, con sviluppi orientati da un lato verso la definizione di indicatori più complessi, dall'altro verso l'applicazione a nuovi campi di indagine. Dopo un periodo caratterizzato da scarse innovazioni, "una nuova narrativa" (Farrington, 2007) per gli studi di accessibilità è emersa all'inizio degli anni duemila e due temi in particolare hanno dominato il dibattito scientifico nei primi dieci anni del nuovo secolo. Il primo tema ha riguardato l'impiego di indicatori di accessibilità all'interno di studi sull'esclusione sociale. In tali anni emerge infatti l'idea che tale fenomeno non sia solo legato al reddito o ad altri meccanismi sociali, ma che la configurazione spaziale delle attività sul territorio e la presenza (o meno) di offerta di trasporto potesse impedire o limitare l'accesso ad opportunità essenziali per la

---

partecipazione alla vita sociale quali l'istruzione, la sanità o il lavoro (Preston e Rajé, 2007). Tali studi sono stati principalmente condotti in Inghilterra e negli Stati Uniti, dove il tema dell'*accessibility-related social exclusion* e dell'*accessibility planning* è stato in parte "istituzionalizzato" all'interno delle pratiche di pianificazione. Un secondo tema di applicazione recente ha riguardato l'impiego di indicatori per descrivere la forma urbana con una particolare attenzione all'impiego di concetti di accessibilità per analizzare la sostenibilità dei tessuti urbani. Concetti come *sustainable accessibility* (Bertolini, 2004), *modal accessibility disparity* (Kawabata, 2009), *structural accessibility* (Silva e Pinho 2010) o *urban modality* (Gil, 2016) infatti, non solo permettono di valutare la capacità degli individui di accedere alle diverse opportunità distribuite sul territorio, ma anche di comprendere come diverse caratteristiche della forma urbana supportano/impediscono l'adozione di comportamenti di mobilità sostenibile.

La centralità del tema nel dibattito scientifico attuale è testimoniata dalla pubblicazione di special issue tematici su riviste internazionali (e.g. Geurs et al., 2015;), dal finanziamento di progetti di ricerca nazionali ed europei (e.g. Salas-Olmedo et al., 2016; Silva et al., 2017), da focus-group all'interno delle principali associazioni internazionali di studiosi (e.g. AESOP, NECTAR, WSTLU), nonché dall'inclusione del tema nel Programma Quadro della Ricerca Europea Horizon 2020 (Commissione Europea, 2015).

Offrire una prospettiva sulle linee di ricerca future risulta particolarmente complesso, anche alla luce della dinamicità che ha caratterizzato il settore negli ultimi anni, tuttavia un'analisi delle "tracce" disseminate in letteratura dagli autori e dai gruppi di ricerca più influenti (Nexus-Stati Uniti, tGIS-Spagna, ARC-Finlandia, CUS-Olanda, AMRP\_Belgio etc.) negli ultimi cinque anni può essere un utile esercizio. In un articolo del 2016, ad esempio, Bert van Wee (2016) prova a definire una *research agenda* per i prossimi dieci-quindici anni ed individua le principali sfide sul tema degli indicatori e della valutazione. Nell'editoriale di introduzione allo special issue "*Recent Advances and Applications in Accessibility Modeling*" della rivista *Computers, Environment and Urban Systems*, Geurs et al., (2015) riflettono sui recenti avanzamenti scientifici nel settore ed individuano alcuni temi chiave nelle

---

tecniche di analisi spaziale. Il progetto di ricerca europeo *Accessibility Instruments for Planning Practices in Europe* recentemente conclusosi e che ha visto la collaborazione di oltre trenta studiosi europei, offre importanti spunti per le prospettive di ricerca future in chiave europea sugli strumenti di supporto alla pianificazione basati sul concetto di accessibilità.

Il campo di indagine risulta essere per tanto particolarmente ampio ed in continua evoluzione, tuttavia, un certo consenso sembra emergere nella comunità scientifica internazionale. Tra le diverse linee di ricerca emergenti, quattro risultano particolarmente rilevanti per il presente lavoro:

- *Strumenti di accessibilità per le pratiche di pianificazione.* Supportare la pianificazione urbana con analisi di accessibilità ha assunto negli ultimi anni sempre maggiore rilevanza e diversi strumenti sono stati proposti in letteratura (Papa et al., 2016). Nonostante il crescente interesse accademico, tali strumenti hanno trovato ancora limitata applicazione nella pratica. Recenti ricerche (te Brommelstoet et al., 2014) hanno indagato le cause di tale *implementation gap*, individuando una dicotomia tra le caratteristiche richieste dai potenziali utenti e le aspettative dei ricercatori. I risultati di tali studi confermano la necessità di sviluppare una nuova generazione di strumenti di supporto alla pianificazione in grado da un lato di descrivere in maniera appropriata la complessità dei fenomeni urbani, dall'altro di essere rilevanti per la pratica e cioè flessibili, trasparenti, caratterizzati da una facilità di comunicazione degli output, integrabili in framework di valutazione consolidati (Silva, 2017).
- *Equità ed effetti distributivi.* La definizione di politiche di uso del suolo, la localizzazione di nuovi servizi pubblici o la realizzazione di nuove infrastrutture di trasporto determinano benefici che si distribuiscono in maniera non uniforme nello spazio, avvantaggiando alcune popolazioni o gruppi sociali. Gli effetti distributivi delle politiche pubbliche sono stati analizzati in aree disciplinari come il welfare state o l'economia politica (Stiglitz, 2015), tuttavia la trasposizione di tali principi in indicatori di accessibilità in grado di valutare gli effetti distributivi di politiche di assetto urbano risulta ancora in una fase iniziale (Neutens, 2015).



- 
- *Comparazioni empiriche di diversi indicatori.* Mentre diversi autori hanno recentemente discusso i pro ed i contro degli indicatori proposti in letteratura (Geurs e van Wee, 2004; Paez et al., 2012;) le comparazioni in casi di studio reali tra i risultati dell'applicazione di diversi indicatori risultano essere sostanzialmente limitate. Tale research gap risulta essere particolarmente importante poiché gli indicatori di accessibilità si caratterizzano per diversi gradi di operabilità (necessità di dati, complessità delle analisi etc.) e facilità di comunicazione (oggi sempre più importante alla luce della crescente multidisciplinarietà dei problemi e delle pratiche di pianificazione). Studi comparativi risultano essere dunque necessari poiché essi hanno un'importante rilevanza sia per la ricerca che per la pratica (van Wee, 2016). Per la ricerca infatti tali studi possono corroborare precedenti lavori su affinità e divergenze dei diversi indicatori. Per la pratica tali studi risultano essere particolarmente rilevanti poiché rappresentano un'utile guida per decisori pubblici e policy makers nella scelta degli indicatori più appropriati per valutare diverse ipotesi di intervento sull'assetto urbano.
  - *Indicatori di accessibilità time-sensitive.* Le applicazioni presenti in letteratura sono caratterizzate da una visione "statica" dell'accessibilità. La necessità di tenere opportunamente in conto degli aspetti temporali connessi all'accesso delle attività distribuite sul territorio è stata recentemente sottolineata in letteratura (Faber et al., 2014). In una società caratterizzata da ritmi urbani e pratiche individuali sempre più complesse ed imprevedibili, comprendere le dinamiche temporali dei pattern di accessibilità risulta essere una delle principali sfide per gli studi di accessibilità (Tenkanen, 2016).

Altre linee di ricerca emergenti infine riguardano i seguenti temi:

- *Vulnerabilità e resilienza dei sistemi urbani e dei sistemi di trasporto.* I cambiamenti climatici e antropici avranno importanti ripercussioni sull'assetto delle città negli prossimi anni. I concetti di accessibilità possono avere un'importante ruolo nel definire come tali impatti si potranno distribuire nello spazio, tuttavia studi in tale direzione risultano essere ancora limitati (Reggiani, 2012);

- 
- *Indicatori di accessibilità per la logistica.* La letteratura scientifica si è tradizionalmente focalizzata sull'accessibilità delle persone mentre il tema delle merci risulta ancora in larga parte inesplorato. Estendere il framework dell'accessibilità alla facilità di raggiungere i luoghi della produzione e distribuzione delle merci risulta per tanto prioritario (Gonzalez-Feliu et al. 2014).

Alla luce delle precedenti considerazioni è possibile affermare che, a quasi sessant'anni dalla sua prima formulazione teorica, l'accessibilità costituisce un tema chiave nelle discipline che si occupano del governo delle trasformazioni territoriali, della pianificazione dei trasporti e della geografia umana, nonché una priorità nell'agenda di ricerca futura di tali discipline per affrontare al meglio le principali sfide della città e dei territori di domani.

---

### **1.3 Sistemi informativi geografici e nuove fonti di dati a supporto del governo delle trasformazioni urbane**

“We are living in the information age; we are part of the information society”. Con queste parole Stillwell et al. (1999) introducono un noto contributo sul rapporto tra sistemi informativi geografici e pianificazione, sottolineando l'importanza dell'informazione geografica nel mettere a punto una conoscenza adeguata del mondo che ci circonda, ridurre l'incertezza e supportare i processi decisionali.

Il valore dell'informazione, ed in particolar modo dell'informazione geografica, è infatti evidente per le discipline caratterizzate da una forte connotazione spaziale e il governo delle trasformazioni urbane rappresenta di fatto uno degli ambiti scientifici che fonda gran parte del proprio processo conoscitivo sulla “misura” di enti fisici e sulla analisi di fenomeni sociali che avvengono nello spazio. Tale campo disciplinare si mostra quindi uno dei più sensibili alle possibilità offerte dai sistemi informativi geografici (Laurini, 2001; Murgante, 2008).

Diverse definizioni di GIS sono presenti in letteratura ed in generale un GIS può essere considerato come un sistema di hardware, software e procedure per la raccolta, gestione, analisi e rappresentazione di dati referenziati spazialmente al fine di supportare la risoluzione di problemi di pianificazione e gestione (Cowen 1989; Longley et al., 2001; Geertman, 2006). I GIS nascono alla fine degli anni Sessanta dall'evoluzione dei software di gestione dei dati conosciuti con l'acronimo di MIS (*Management Information System*) e finalizzati alle attività di supporto alle decisioni. I paesi anglosassoni rappresentano in quegli anni i pionieri riconosciuti nella messa a punto e lo sviluppo di tecniche GIS (Fistola e Costa, 2009). Proprio in quegli anni e sotto la guida di Roger Tomlinson viene implementato nel 1967 il Canada Geographic Information System, uno dei primi esempi di GIS, sviluppato per archiviare i dati geospaziali del Canada Land Inventory e supportare la pianificazione degli usi del suolo e la gestione ed il monitoraggio delle risorse naturali. Qualche anno più tardi, il Northwestern Technology Institute sviluppa una prima applicazione di computer mapping in grado di stampare mappe del territorio attraverso sequenze di caratteri ASCII. Nel 1979 l'Harvard Lab mette a punto l'Odissey GIS, il primo GIS realizzato su base cartografica elettronica completamente vettoriale (Fistola e Costa,

---

2009). Il 1981 rappresenta forse l'anno di svolta per la diffusione dei GIS; in quest'anno infatti l'ESRI (Environmental Science Research Institute), società fondata da Jack e Laura Dangermord presenta un software rivoluzionario per il settore, ArcInfo, che diventerà in breve tempo uno standard condiviso da milioni di utenti in tutto il mondo.

All'inizio degli anni Novanta, la comunità scientifica internazionale si interroga sugli strumenti e sui metodi di applicazione della neonata Geographic Information Science alla disciplina urbanistica, focalizzando l'attenzione sui potenziali contributi offerti dal GIS nel supportare le pratiche di governo del territorio. In quegli anni, William Huxhold pubblica il libro "*An Introduction to Urban Geographic Information System*" dedicato all'utilizzo delle nuove tecnologie dell'informazione geografica nella pianificazione e gestione urbana. Huxhold (1991) affronta in maniera sistematica tale tema, sulla base di un'esperienza che aveva ormai raggiunto un considerevole grado di maturità, acquisita come consulente nel progetto di sviluppo del Policy Development Information System della città di Milwaukee tra il 1974 ed il 1987 e dimostra che la maggioranza dei dati trattati dagli enti amministrativi, a tutti i livelli, è caratterizzata da un riferimento spaziale. Il sistema informativo geografico si configura, dunque, come il potenziale nucleo di integrazione di tutte le risorse informatiche e gestionali all'interno di una pubblica amministrazione.

Sempre di matrice anglosassone e statunitense, sono le successive esperienze di ingegneria gestionale dei *Transaction-based Information System* e dei *Data-based Information System*. I primi sono dei sistemi informativi sviluppati per la risoluzione di una particolare procedura amministrativa, finalizzati ad incrementarne l'efficienza e dunque a generare un notevole risparmio sui costi. I secondi sono invece sistemi informativi realizzati attorno ad una base comune e condivisa di dati, alla quale attingono le diverse funzioni dell'organizzazione pubblica. Questi due esempi di ricerca ed implementazione dei GIS evidenziano l'attenzione di quegli anni alla gestione urbana come prevalente pratica amministrativa escludendo i caratteri strategici e programmatici.

Un passaggio fondamentale verso un approccio strategico è lo sviluppo dei Planning Support System (PSS), intesi come "geoinformation technology-based instruments



---

that incorporate a suite of components that collectively support some specific parts of a unique professional planning task” (Geertman, 2008).

Dalle prime sperimentazioni di quegli anni i PSS si evolvono continuamente, adeguandosi di volta in volta ai mutamenti in atto nei sistemi decisionali, caratterizzati sempre più da una molteplicità di attori, di portatori di interessi spesso diversi e contrastanti, da un approccio multidisciplinare ed integrato al perseguimento di obiettivi di più ampio raggio, legati alle dimensioni ambientali, sociali ed economiche del progetto urbano (Geertman e Stillwell, 2012). Nonostante tali sviluppi, la storia recente dei PSS è caratterizzata da un *implementation gap* (Vonk, 2006), un impiego ancora limitato di tali strumenti nella pratica. Tale gap crea un “circolo vizioso” (Vonk e Geertman, 2008) in cui una limitata applicazione di PSS nella pratica si traduce in un limitato feedback da parte dei potenziali users che a sua volta comporta un modesto miglioramento di tali strumenti, alimentando in definitiva il distacco tra ricerca e prassi. Per superare tale gap, recenti studi hanno sottolineato la necessità di una maggiore interazione tra ricercatori ed attori della pianificazione, al fine di individuare le caratteristiche richieste dai potenziali users dei PSS e massimizzare il loro impiego nella pratica (te Brömmelstroet e Schrijnen, 2010; Pelzer, 2015; Papa et al., 2017).

Se fino a pochi anni fa la cronica scarsità di dati ha costituito una delle principali limitazioni nello sviluppo di analisi spaziali a supporto del governo delle trasformazioni urbane (Murgante, 2011), ad oggi una generale tendenza alla condivisione del dato da parte di enti pubblici, amministrazioni e organizzazioni non governative, unitamente alle nuove opportunità offerte dall’avvento del Web 2.0, ha dato un forte impulso allo sviluppo di nuovi approcci con implicazioni rilevanti tanto per la ricerca che per la pratica (Murgante, 2009, Batty, 2013). Il livello di interazione degli utenti con Internet è di fatto mutato radicalmente con l’avvento del Web 2.0 (O’Reilly, 2009), in concomitanza del quale gli utenti hanno cominciato ad essere non più semplici consumatori di informazioni ma creatori e revisori di contenuti e di informazioni. Esempi rilevanti in tal senso sono i progetti collaborativi finalizzati alla creazione di mappe a contenuto libero come Wikimapia e OpenStreetMap, le piattaforme per la condivisione di immagini e video quali Flickr e YouTube ed i social

---

network quali Twitter o Facebook che hanno visto incrementare notevolmente il volume dei contribuenti di informazioni e contenuti. Parallelamente le informazioni generate dagli utenti si sono arricchite della componente geografica attraverso l'esplicitazione delle coordinate di latitudine e longitudine resa possibile dalla rapida diffusione di dispositivi dotati di ricevitori GPS (es. smartphone, macchine fotografiche). Questo fenomeno, che consiste quindi nella produzione volontaria di informazioni corredate della componente posizionale, è stato recentemente etichettato con diversi termini, ma quello sicuramente più diffuso è *Volunteered Geographic Information* o VGI (Goodchild, 2007).

Unitamente alle VGI negli ultimi anni si è assistito ad un progressiva condivisione del patrimonio informativo da parte delle pubbliche amministrazioni che viene etichettato con il termine *open data* e che si richiama alla più ampia disciplina dell'*open government*, in base alla quale le pubbliche amministrazioni dovrebbe essere aperta ai cittadini, tanto in termini di trasparenza quanto di partecipazione diretta al processo decisionale. Iniziative rilevanti in tal senso sono *Data.gov*, promosso dall'amministrazione Obama a partire dal 2009, *Data.gov.uk*, sostenuto da Tim Berners-Lee (considerato "l'inventore del World Wide Web") o il portale open data dell'Unione Europea (Las Casas et al., 2014).

L'avanzamento tecnologico dei sistemi informativi geografici e la disponibilità di nuove fonti di dati ha di fatto fornito un crescente impulso alle analisi spaziali permettendo di sviluppare nuovi approcci a supporto del governo delle trasformazioni urbane inimmaginabili fino a pochi anni fa (Salonen, 2014). Tali avanzamenti hanno inoltre costituito una importante occasione per favorire la partecipazione attiva dei cittadini nei processi decisionali (Murgante, 2013). Tuttavia il potenziale offerto da tali opportunità risulta essere ad oggi ancora in larga parte inesplorato (Batty, 2016).

---

## 1.4 Obiettivi della ricerca

L'analisi degli sviluppi recenti e delle prospettive di ricerca futura sui temi dell'accessibilità urbana e degli strumenti di supporto alla pianificazione rappresenta un utile guida per la definizione degli obiettivi di ricerca. Come evidenziato in precedenza il campo di indagine risulta essere particolarmente ampio ed in continua evoluzione. Tuttavia alcuni aspetti fondamentali emergono con chiarezza:

- L'accessibilità rappresenta un tema chiave di indagine per le discipline che si occupano del governo delle trasformazioni territoriali;
- Un certo consenso nella comunità scientifica internazionale è emerso negli ultimi anni sulle principali linee di ricerca future. Tra gli obiettivi prioritari dell'agenda di ricerca dei prossimi dieci-quindici anni è possibile annoverare tra gli altri: i) lo sviluppo di indicatori time-sensitive in grado di catturare gli aspetti dinamici che caratterizzano l'accesso alle attività distribuite sul territorio; ii) la definizione di indicatori per valutare gli effetti distributivi delle politiche di assetto urbano con particolare riferimento ad indicatori di accessibilità pedonale e con il trasporto pubblico; iii) la comparazione empiriche di diversi indicatori; iv) l'inclusione di tali indicatori in framework consolidati di valutazione;
- Supportare la pianificazione urbanistica in diverse *planning tasks* con analisi spaziali di accessibilità ha assunto negli ultimi anni sempre maggiore rilevanza e diversi PSS sono stati recentemente proposti in letteratura. Tuttavia, nonostante il crescente interesse scientifico, tali strumenti hanno trovato ancora limitata applicazione nella pratica. Ne segue per tanto la necessità di focalizzare la ricerca verso la definizione di nuovi strumenti di supporto alla pianificazione tali da coniugare l'attendibilità scientifica con le esigenze dettate dalla pratica.
- La disponibilità di nuove fonti di dati e l'avanzamento tecnologico dei sistemi informativi geografici permette di sviluppare nuovi approcci e nuove analisi spaziali a supporto della pianificazione urbana difficilmente immaginabili fino a pochi anni fa. Tuttavia il potenziale offerto da tali opportunità risulta essere ancora in larga parte inesplorato.

---

A partire da tali premesse, la finalità del presente lavoro è di supportare la pianificazione delle dotazioni urbane attraverso la definizione di nuovi approcci e nuovi indicatori di accessibilità in grado di coniugare attendibilità scientifica e rilevanza pratica. Tale finalità può essere articolata nei seguenti obiettivi:

(1) Obiettivi metodologici

- a. Integrare in maniera creativa nuove fonti di dati e nuovi tool geospaziali per le analisi dell'accessibilità alle dotazioni urbane;
- b. Sviluppare nuovi approcci e nuovi indicatori di accessibilità a supporto della pianificazione delle dotazioni urbane in grado di rappresentare in maniera adeguata: i) la domanda e l'offerta di dotazioni urbane e la loro interazione spaziale; ii) le diverse modalità di accesso alle attrezzature con particolare attenzione alla mobilità dolce ed al trasporto pubblico; iii) gli aspetti di equità ed efficienza connessi alla localizzazione ed al dimensionamento delle attrezzature; iv) la variabilità temporale nell'accesso alle dotazioni;
- c. Dimostrare la rilevanza degli approcci sviluppati per le pratiche di pianificazione, con particolare riferimento alla verifica quantitativa di spazi e servizi pubblici quale misura del soddisfacimento delle esigenze degli utenti urbani ed alla valutazione ex ante di ipotesi alternative di intervento sull'assetto urbano.

(2) Obiettivi sperimentali

- a. Descrivere e comprendere i pattern spaziali di accessibilità alle attrezzature collettive in diversi contesti urbani;
- b. Comparare in maniera empirica i risultati derivanti dall'applicazione di diversi indicatori e discuterne le implicazioni per le pratiche di pianificazione;
- c. Comunicare in maniera efficace i risultati delle analisi svolte mediante la realizzazione di mappe tematiche, tabelle e grafici;
- d. Analizzare e discutere le implicazioni di tali pattern per l'organizzazione spaziale delle dotazioni sul territorio.



---

Tali obiettivi risultano essere comuni ai casi studio analizzati nei seguenti capitoli, ma si manifestano in maniera differente in ragione della dotazione urbana oggetto di analisi e del contesto territoriale di riferimento.

### 1.5 Study design

Lo study design impiegato nel presente lavoro può essere descritto come un processo PPDAC, un framework concettuale applicabile a diversi campi di indagine caratterizzati da una forte componente spaziale (de Smith et al.2009). Il processo PPDAC (figura 1.1) consiste in cinque step sequenziali ed in parte iterativi: (1) Problem framing; (2) Planning and formulating the approach; (3) Data acquisition; (4) Analysis; (5) Drawing conclusions.

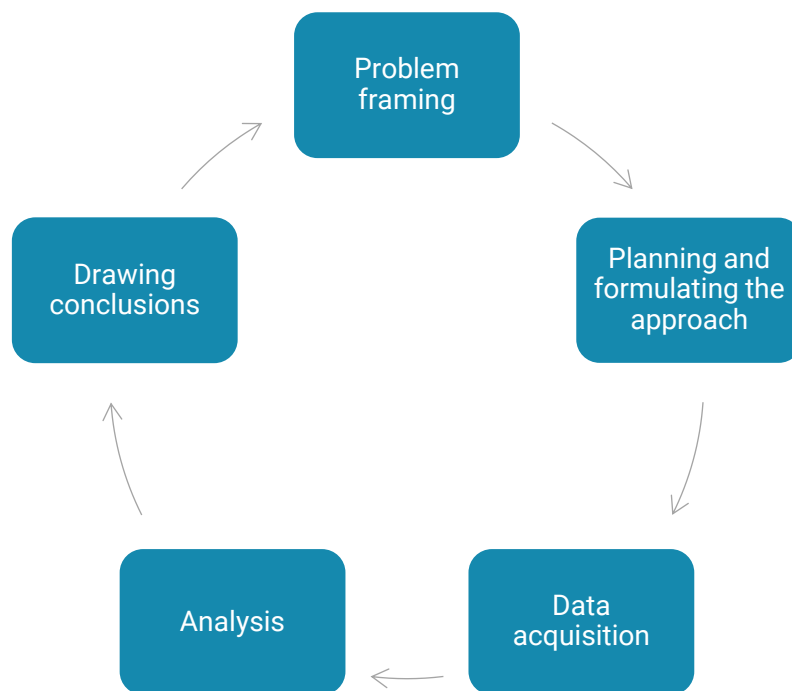


Figura 1.1 Processo PPDAC

Il processo PPDAC è stato utilizzato per ciascuna delle due applicazioni descritte nei capitoli 2, 3. Ciascun capitolo è infatti corredato da una sintesi del processo che ne costituisce l'abstract. Il primo step del processo PPDAC, denominato “*prolem framing*”, consiste nella definizione di un problema di ricerca e coincide con l'individuazione di un gap all'interno della letteratura scientifica rispetto al quale il

---

capitolo intende offrire un contributo. Il secondo step “*planning and formulating the approach*” consiste nella definizione in termini operativi dell’approccio formulato per affrontare il gap scientifico individuato. Il terzo ed il quarto step “*data acquisition and analysis*” fanno riferimento al processo di acquisizione e trattamento dei dati e all’implementazione in ambiente GIS dei tool di analisi spaziale sviluppati in ciascun capitolo. L’ultimo step “*drawing conclusion*” infine consiste in una discussione dell’approccio formulato con particolare riferimento alle implicazioni del lavoro proposto per le pratiche di governo del territorio.

## 1.6 Struttura della tesi

La struttura dell’elaborato è organizzata nel seguente modo.

### *PARTE I*

La prima parte, riportata nel **Capitolo 1**, propone una sintesi ragionata degli sviluppi scientifici più recenti sul tema dell’accessibilità urbana e sulle opportunità per la ricerca e per la pratica offerte dall’avanzamento tecnologico dei sistemi informativi geografici e dalla disponibilità di nuove fonti di dati. Sulla base di questa elaborazione, vengono introdotte le finalità e gli obiettivi del lavoro di tesi, lo study design ed il posizionamento della ricerca nel dibattito scientifico attuale.

### *PARTE 2*

La seconda parte del lavoro è costituita dai due capitoli centrali, ciascuno dei quali ha come oggetto una particolare tipologia di dotazione (scuole ed ospedali) e propone un approfondimento su un tema specifico, mediante un’applicazione ad un caso di studio reale (Napoli e Milano per il primo capitolo, Madrid per il secondo). I due capitoli, ciascuno dei quali può essere letto come un contributo autonomo, presentano una medesima struttura, basata sul processo PPDAC appena descritto:

- Il **Capitolo 2** propone un approfondimento sull’impiego degli indicatori di accessibilità a supporto dell’organizzazione della rete scolastica e descrive i risultati dell’applicazione di tali indicatori nei casi studio di Napoli e Milano. In contrasto con il recente focus sulla prossimità (i.e. la vicinarietà tra

---

residenza ed istruzione), il capitolo propone un set di indicatori che permettono di tenere in conto diversi aspetti quali: i) le caratteristiche distributive e dimensionali dei plessi scolastici; ii) il bilanciamento locale tra domanda ed offerta di dotazioni; iii) l'attrattività di ciascun plesso scolastico espressa in funzione dell'offerta formativa, delle caratteristiche fisico-funzionali dei plessi e dei risultati ottenuti nelle prove standardizzate nazionali; iv) i meccanismi di scelta dell'istituzione scolastica e gli impatti delle scelte degli utenti sui livelli di accessibilità. Gli indicatori proposti vengono implementati mediante un'applicazione a due casi di studio (Napoli e Milano) ed i risultati ottenuti dall'applicazione di diverse strategie di misura vengono empiricamente comparati mediante tecniche di statistica multivariata. Infine, un indicatore di equità spaziale, basato su un adattamento del coefficiente di Gini al caso dell'accessibilità all'istruzione ed in grado di sintetizzare le diverse prospettive introdotte viene presentato.

- Il **Capitolo 3** presenta una metodologia di analisi dinamica dell'accessibilità e discute le implicazioni di tale approccio per la localizzazione ed il dimensionamento dei servizi sanitari, mediante una applicazione al caso studio della città di Madrid. In contrasto con analisi di tipo statico, il capitolo mette a punto una nuova metodologia in grado di modellare le variazioni temporali dell'accessibilità, derivanti a loro volta da: i) variazioni nell'intensità e nella distribuzione spaziale della domanda potenziale; ii) fluttuazioni nelle performance delle reti di trasporto; iii) orari di apertura e chiusura dei centri di salute. Inoltre viene definito un indicatore sintetico in grado di fornire una misura globale del soddisfacimento della domanda di servizi. La validità di un approccio dinamico è infine valutata mediante una comparazione dei risultati della metodologia proposta con quelli ottenuti dall'implementazione di metodologie "tradizionali" e mediante lo sviluppo di diversi scenari di intervento sul sistema delle dotazioni attuali.

---

### *PARTE III*

La terza parte del lavoro, **Capitolo 4**, riporta un quadro sintetico dei risultati ottenuti, commentati alla luce degli obiettivi individuati nella prima parte del lavoro. In tale parte vengono inoltre presentati i principali limiti del lavoro di tesi e fornite alcune riflessioni per future linee di ricerca.

---

## Bibliografia

- Batty, M. (2016). 20 years of quantitative geographical thinking. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 43 (4), 605-609.
- Batty, M. (2013). Big data, smart cities and city planning. *Dialogues in Human Geography*, 3(3), 274-279.
- Batty, M. (2009). Accessibility: in search of a unified theory. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 36, 191-194
- Ben-Akiva, M. E., & Lerman, S. R. (1985). Discrete choice analysis: theory and application to travel demand (Vol. 9). MIT press.
- Bertolini, L., Le Clercq, F., & Kapoen, L. (2005). Sustainable accessibility: a conceptual framework to integrate transport and land use plan-making. Two test-applications in the Netherlands and a reflection on the way forward. *Transport policy*, 12(3), 207-220.
- Cowen, D. J. (1988). GIS versus CAD versus DBMS: What are the differences?. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 54(11), 1551-1555.
- Dalvi, M. Q., & Martin, K. M. (1976). The measurement of accessibility: some preliminary results. *Transportation*, 5(1), 17-42.
- de Smith, M. J., M. F. Goodchild & P. A. Longley (2009). Geospatial Analysis. A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools. Leicester, Matador.
- Dony, C. C., Delmelle, E. M., & Delmelle, E. C. (2015). Re-conceptualizing accessibility to parks in multi-modal cities: A Variable-width Floating Catchment Area (VFCA) method. *Landscape and Urban Planning*, 143, 90-99.
- Ermagun, A., Levinson, D. (2015). *Accessibility and transit performance*. Nexus Working Papers. Available at: <http://conservancy.umn.edu/handle/11299/179832>
- European Commission (2016). Horizon 2020. Work Programme 2016 – 2017. Smart, green and integrated transport. Available at: [https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2016\\_2017/main/h2020-wp1617-transport\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2016_2017/main/h2020-wp1617-transport_en.pdf)
- Farber, S., Morang, M. Z., & Widener, M. J. (2014). Temporal variability in transit-based accessibility to supermarkets. *Applied Geography*, 53, 149-159.

- 
- Farrington, J. H. (2007). The new narrative of accessibility: its potential contribution to discourses in (transport) geography. *Journal of Transport Geography*, 15(5), 319-330.
- Fistola, R., Costa, P. (Eds.) (2016). GIS: Teoria ed applicazioni per la pianificazione la gestione e la protezione della città. Gangemi Editore.
- Fransen, K., Neutens, T., De Maeyer, P., & Deruyter, G. (2015). A commuter-based two-step floating catchment area method for measuring spatial accessibility of daycare centers. *Health & Place*, 32, 65-73.
- Freeman, L. C. (1978). Centrality in social networks. Conceptual clarification. *Social networks*, 1(3), 215-239.
- Geertman, S. (2006). Potentials for planning support: a planning-conceptual approach. *Environment and planning B: Planning and Design*, 33(6), 863-880.
- Geertman, S. (2008). Planning support systems: A planner's perspective. In Brail, R. (Ed.). *Planning support systems for cities and regions* (pp. 213–230). Cambridge MA: Lincoln Institute for Land Policy.
- Geertman, S., & Stillwell, J. (Eds.). (2012). *Planning support systems in practice*. Springer Science & Business Media.
- Geurs, K. T., de Bok, M., & Zondag, B. (2012). Accessibility benefits of integrated land use and public transport policy plans in the Netherlands. *Accessibility analysis and transport planning: Challenges for Europe and North America*, 135.
- Geurs, K. T., Montis, A., & Reggiani, A. (2015). Recent advances and applications in accessibility modelling. *Computers, environment and urban systems*, 49, 82-85.
- Geurs, K. T., & Van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport geography*, 12(2), 127-140.
- Gil, J. A. (2016). *Urban Modality: Modelling and evaluating the sustainable mobility of urban areas in the city-region*. (Doctoral dissertation, TU Delft, Delft University of Technology).
- Goodchild, M. F. (2007). Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal*, 69(4), 211-221.

- 
- Gould (1969). *Spatial diffusion: Commission on College Geography*. Association of American Geographers.
- Gonzalez-Feliu, J., Salanova Grau, J. M., & Beziat, A. (2014). A location-based accessibility analysis to estimate the suitability of urban consolidation facilities. *International Journal of Urban Sciences*, 18(2), 166-185.
- Gutiérrez, J., Condeço-Melhorado, A., & Martín, J. C. (2010). Using accessibility indicators and GIS to assess spatial spillovers of transport infrastructure investment. *Journal of Transport Geography*, 18(1), 141-152.
- Hägerstrand, T. (1970). What about people in regional science?. *Papers in regional science*, 24(1), 7-24.
- Hansen, W. G. (1959). How accessibility shapes land use. *Journal of the American Institute of planners*, 25(2), 73-76.
- Hillier, B., & Hanson, J. (1989). *The social logic of space*. Cambridge university press.
- Hull, A., Silva, C., & Bertolini, L. (Eds.). (2012). *Accessibility instruments for planning practice*. COST Office.
- Huxhold, W. E. (1991). An introduction to urban geographic information systems. OUP Catalogue.
- Ingram, D. R. (1971). The concept of accessibility: a search for an operational form. *Regional studies*, 5(2), 101-107.
- Joseph, A. E., & Bantock, P. R. (1982). Measuring potential physical accessibility to general practitioners in rural areas: a method and case study. *Social science & medicine*, 16(1), 85-90.
- Kawabata, M. (2009). Spatiotemporal dimensions of modal accessibility disparity in Boston and San Francisco. *Environment and Planning A*, 41(1), 183-198.
- Kwan, M. P. (1998). Space-time and integral measures of individual accessibility: a comparative analysis using a point-based framework. *Geographical analysis*, 30(3), 191-216.
- Langford, M., Higgs, G., & Fry, R. (2016). Multi-modal two-step floating catchment area analysis of primary health care accessibility. *Health & place*, 38, 70-81.

- 
- Langford, M., Fry, R., & Higgs, G. (2012). Measuring transit system accessibility using a modified two-step floating catchment technique. *International Journal of Geographical Information Science*, 26(2), 193-214.
- Las Casas, G., Lombardo, S., Murgante, B., Pontrandolfi, P., & Scorza, F. (2014). Open data for territorial specialization assessment. *Tema. Journal of Land Use, Mobility and Environment, INPUT 2014*, 591-595.
- Laurini, R. (2002). Information systems for urban planning: a hypermedia cooperative approach. CRC Press.
- Levine, J., Grengs, J., Shen, Q., & Shen, Q. (2012). Does accessibility require density or speed? A comparison of fast versus close in getting where you want to go in US metropolitan regions. *Journal of the American Planning Association*, 78(2), 157-172.
- Leonardi, G. (1978). Optimum facility location by accessibility maximizing. *Environment and Planning A*, 10(11), 1287-1305.
- Longley, M.F. Goodchild, D.J. Maguire, D.W. Rhind (2001). *Geographic information systems and science*. John Wiley & Sons
- Luo, W., & Wang, F. (2003). Measures of spatial accessibility to health care in a GIS environment: synthesis and a case study in the Chicago region. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30(6), 865-884.
- Luo, W., & Whippo, T. (2012). Variable catchment sizes for the two-step floating catchment area (2SFCA) method. *Health & place*, 18(4), 789-795.
- Miller, H. J. (1991). Modelling accessibility using space-time prism concepts within geographical information systems. *International Journal of Geographical Information System*, 5(3), 287-301.
- Miller, H. J. (1999). Measuring space-time accessibility benefits within transportation networks: basic theory and computational procedures. *Geographical analysis*, 31(1), 1-26.
- Murgante, B. (Ed.). (2008). L'informazione geografica a supporto della pianificazione territoriale. Franco Angeli.
- Murgante, B. (2011). Interoperabilità semantica e pianificazione territoriale. *Scienze Regionali*, 10 (3), 135-144.



- 
- Murgante, B., Borruso, G., & Lapucci, A. (2009). Geocomputation and urban planning. In B. Murgante, G. Borruso and A. Lapucci (Eds.) *Geocomputation and Urban Planning* (pp. 1-17). Springer Berlin Heidelberg.
- O'Rally, T (2009). What is Web 2.0?. In H. Donelan, K. Kear e M. Ramage (Eds.) *Online Communication and Collaboration: A Reader* (pp. 225-239). Routledge
- 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.
- Papa, R. (Ed.) (2009). Il governo delle trasformazioni urbane e territoriali. Metodi, tecniche e strumenti. Franco Angeli.
- Papa, E., & Bertolini, L. (2015). Accessibility and transit-oriented development in European metropolitan areas. *Journal of Transport Geography*, 47, 70-83.
- Papa, E., Coppola, P., Angiello, G., & Carpentieri, G. (2017). The learning process of accessibility instrument developers: Testing the tools in planning practice. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*.
- Papa, E., Silva, C., te Brömmelstroet, M., & Hull, A. (2014). Accessibility instruments for planning practice: A review of European experiences. *Journal of Transport and Land Use*, 9(3), 1-20
- Park, S. J. (2012). Measuring public library accessibility: A case study using GIS. *Library & Information Science Research*, 34(1), 13-21.
- Preston, J., & Rajé, F. (2007). Accessibility, mobility and transport-related social exclusion. *Journal of Transport Geography*, 15(3), 151-160.
- Reggiani, A. (2012). Accessibility, connectivity and resilience in complex networks. *Accessibility and transport planning. Edward Elgar, Cheltenham*, 15-36.
- Salas-Olmedo, M. H., García-Alonso, P., & Gutiérrez, J. (2016). Distance deterrence, trade barriers and accessibility. An analysis of market potential in the European Union. *EJTIR*, 16(2), 319-343.
- Silva, C., Bertolini, L., te Brömmelstroet, M., Milakis, D., & Papa, E. (2017). Accessibility instruments in planning practice: Bridging the implementation gap. *Transport Policy*, 53, 135-145.

- 
- Silva, C., & Pinho, P. (2010). The Structural Accessibility Layer (SAL): revealing how urban structure constrains travel choice. *Environment and Planning A*, 42(11), 2735-2752.
- Stiglitz, J. (2015). *The great divide*. Penguin UK.
- Stillwell, J., Geertman, S., & Openshaw, S. (Eds.). (1999). *Geographical Information and Planning*. Springer Science & Business Media.
- te Brömmelstroet, M., Curtis, C., Larsson, A., & Milakis, D. (2016). Strengths and weaknesses of accessibility instruments in planning practice: technological rules based on experiential workshops. *European Planning Studies*, 24(6), 1175-1196.
- te Brömmelstroet, M., and Schrijnen, P. M. (2010). From planning support systems to mediated planning support: a structured dialogue to overcome the implementation gap. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 37(1), 3-20.
- te Brömmelstroet, M. C. G., Silva, C., & Bertolini, L. (2014). *Assessing usability of accessibility instruments*. COST Office.
- Tenkanen, H., Saarsalmi, P., Järv, O., Salonen, M., & Toivonen, T. (2016). Health research needs more comprehensive accessibility measures: integrating time and transport modes from open data. *International Journal of Health Geographics*, 15(1), 23.
- van Wee, B. (2016). Accessible accessibility research challenges. *Journal of transport geography*, 51, 9-16.
- Vonk G. (2006) *Improving Planning Support: The Use of Planning Support Systems for Spatial Planning*. Nederlandse Geografische Studies.
- Vonk, G., & Geertman, S. (2008). Improving the adoption and use of planning support systems in practice. *Applied Spatial Analysis and Policy*, 1(3), 153-173.
- Wachs, M., & Kumagai, T. G. (1973). Physical accessibility as a social indicator. *Socio-Economic Planning Sciences*, 7(5), 437-456.

## ***Capitolo 2***

**Accessibilità ai servizi scolastici,  
scelta della scuola ed equità  
spaziale. Indicatori di accessibilità  
a supporto dell'organizzazione  
della rete scolastica**

---

## **Abstract**

### Background

In una società basata sulla conoscenza, garantire un accesso equo ed efficace all'istruzione è considerata un elemento fondamentale per ridurre le disuguaglianze sociali, sviluppare una forza lavoro qualificata ed incrementare la competitività dei territori. Negli ultimi anni il tema dell'accessibilità ai servizi scolastici ha suscitato un crescente interesse scientifico e diversi autori hanno utilizzato tale lente per esaminare la disparità di accesso ai servizi per l'istruzione tra diverse aree geografiche o gruppi sociali e valutare gli impatti delle politiche di intervento sulla rete scolastica.

### Problem statement

Gli studi presenti in letteratura hanno favorito l'utilizzo di indicatori di accessibilità relativamente "semplici" e legati essenzialmente al concetto di *prossimità*, quali la distanza o il tempo di spostamento tra il luogo di residenza e la scuola più vicina.

### Planning and formulating the approach

In contrasto con il focus sulla prossimità che ha caratterizzato gli studi più recenti, il presente capitolo propone un set di indicatori di accessibilità in grado di catturare diverse prospettive connesse all'accesso alle opportunità per l'istruzione e discute l'utilità di tali indicatori nel supportare l'organizzazione della rete scolastica. Gli indicatori proposti permettono di tenere in conto di diversi aspetti quali: i) le caratteristiche distributive e dimensionali dei plessi scolastici; ii) il bilanciamento locale tra domanda ed offerta di servizi; iii) l'attrattività di ciascun plesso scolastico iv) i meccanismi di scelta dell'istituzione scolastica e gli impatti di tali meccanismi sui livelli di accessibilità.

### Data acquisition and analysis

L'approccio formulato è applicato al caso studio dell'accessibilità pedonale alle scuole primarie nelle aree metropolitane di Napoli e Milano. L'applicazione è basata sull'integrazione di nuove fonti di dati aperti e tool geospaziali sviluppati ad hoc.

### Drawing conclusion

Il set di indicatori proposto contribuisce a strutturare una conoscenza adeguata del territorio di analisi, fornendo diverse prospettive sul fenomeno di accesso all'istruzione. La metodologia proposta risulta particolarmente utile per l'individuazione di carenze dimensionali e distributive e per tanto si caratterizza come un utile supporto alle pratiche di organizzazione della rete scolastica.

---

## 2.1 Background e obiettivi del lavoro

L'istruzione rappresenta un tema chiave dell'agenda politica europea (Commissione Europea, 2015). In una *società basata sulla conoscenza*, garantire un accesso equo ed efficace all'istruzione è considerata un elemento fondamentale per ridurre le diseguaglianze sociali, sviluppare una forza lavoro qualificata ed incrementare la competitività dei territori (Anyon, 2014; Ball et al., 2014; UNESCO, 2015; World Economic Forum, 2016). L'accesso all'istruzione è un fenomeno complesso che comprende una dimensione *spaziale*, legata alla distribuzione delle opportunità sul territorio ed una componente *non spaziale* legata a barriere sociali, economiche o linguistiche che possono in parte limitare l'accesso a tali opportunità (Williams e Wang 2014).

Il tema dell'*accessibilità spaziale* all'istruzione, oggetto del presente capitolo, ha suscitato un crescente interesse scientifico negli ultimi anni e diversi autori hanno utilizzato tale lente per: i) esaminare la disparità di accesso all'opportunità per l'istruzione tra diverse aree geografiche o gruppi sociali, ii) valutare gli impatti derivanti da politiche di razionalizzazione dell'offerta scolastica o ii) indagare il rapporto tra accessibilità e rendimento degli studenti.

Ricerche appartenenti al primo gruppo di lavori e condotte principalmente in Europa e negli Stati Uniti hanno più volte evidenziato una disparità di accesso all'istruzione tra aree urbane ed aree rurali (Burgess et al., 2011; Kucerová, e Kucera, 2012). Significative variazioni nei livelli di accessibilità sono state inoltre osservate tra diversi gruppi sociali (Turley, 2009; Williams e Wang, 2014), corroborando l'ipotesi di uno *spatial mismatch* (Wilson, 1987) tra la localizzazione di gruppi sociali vulnerabili e la localizzazione delle opportunità per il lavoro e l'istruzione. Una forte carenza nell'accesso alle opportunità per l'istruzione in alcune aree geografiche è stata inoltre recentemente definita con il termine *education desert* (Hillman, 2016), indicando con quest'ultimo una situazione particolarmente acuta in cui una scarsa accessibilità spaziale limita fortemente le scelte di istruzione degli individui con impatti negativi in termini di occupazione e di reddito.

---

Utilizzando una lente di indagine analoga, lavori appartenenti al secondo gruppo di ricerche hanno indagato gli impatti sull'accessibilità delle politiche di consolidamento dell'offerta scolastica che hanno investito diversi paesi occidentali (Muller, 2011; Dej e Guzik, 2011; Williams e Wang, 2014). Dopo un periodo di forte espansione della rete scolastica infatti diversi paesi occidentali hanno intrapreso un processo di razionalizzazione, ispirato a logiche di mercato e al principio dell'economia di scala (De Boer, 2010). Negli Stati Uniti, ad esempio, tale processo ha portato alla chiusura di circa il 70% delle scuole negli ultimi cinquanta anni, mentre le dimensioni medie degli edifici scolastici sono quadruplicate nello stesso periodo (Ewing e Green, 2003). La chiusura di istituti scolastici di dimensioni minori e la concentrazione dell'offerta formativa in istituti di grandi dimensioni, se pur motivata da un desiderio di razionalizzare l'offerta formative, ha di contro avuto conseguenze negative sull'accessibilità ai servizi scolastici in termini di incremento delle distanze medie percorse e dunque anche sulla possibilità di poter raggiungere i plessi scolastici con spostamenti pedonali (Dej & Guzik, 2011; Boussauw et al., 2014).

Un terzo ulteriore filone di ricerche ha indagato il rapporto tra accessibilità alle scuole e *students achievements*. Ricerche in tale direzione hanno dimostrato che uno scarso accesso ed una insufficiente dotazione di strutture per l'istruzione si traduce in livelli di competenza e apprendimento più bassi (Lin et al., 2014), maggior propensione all'abbandono scolastico e minori possibilità di carriera (De Witte e Van Klaveren, 2014).

L'accessibilità all'istruzione sembra inoltre giocare un ruolo chiave nella propensione degli studenti a raggiungere a piedi i plessi scolastici, come evidenziato, tra gli altri, da Muller et al., (2008) e Mitra et al. (2010). In tali studi tuttavia il concetto di accessibilità si sovrappone spesso al concetto di *walkability*, indicando con quest'ultima una misura della capacità dell'ambiente costruito di supportare la mobilità pedonale. Tale capacità ha importanti implicazioni sia per la salute umana che per la sostenibilità degli spostamenti in ambito urbano. Diverse ricerche hanno infatti messo in evidenza un legame diretto tra accessibilità, propensione agli spostamenti pedonali ed indice di massa corporea degli individui in età scolastica. Sulla base di tali evidenze, diverse autorità locali hanno messo a punto specifiche linee

---

guida per intervenire sull'ambiente costruito circostante le scuole e supportare in questo modo gli spostamenti pedonali (Ermagun e Samini, 2015).

Un ulteriore tema, ampiamente dibattuto in letteratura, riguarda infine la scelta della scuola e le implicazioni socio-spaziali dei meccanismi di scelta. Con il superamento dei bacini scolastici in gran parte dei paesi occidentali, la scelta della scuola è libera e ciascun plesso scolastico accoglie le domande ricevute sulla base di criteri generalmente legati alla prossimità tra la scuola ed il luogo di residenza (OCED, 2012). L'introduzione della libera scelta dell'istituto scolastico, che generalmente viene espressa mediante un elenco di preferenze tra due o più scuole, è basata sull'idea che, incentivando un meccanismo di competizione tra diverse scuole, gli istituti coinvolti siano spinti a creare programmi di insegnamento più attrattivi, migliorando ed indirizzando l'offerta didattica verso i bisogni e le esigenze delle famiglie che esprimono la domanda di istruzione (Hastings et al., 2008). All'opposto però, diversi autori hanno notato che l'introduzione del meccanismo di scelta della scuola e l'utilizzo di criteri di prossimità di fatto hanno un ruolo significativo nel riprodurre ed accentuare le disuguaglianze socio-spaziali nell'accesso alle opportunità per l'istruzione (Hamnett e Butler, 2011), confinando le scelte dei gruppi sociali più svantaggiati a pochi istituti scolastici meno attrattivi e meno prestigiosi. Tra i principali fattori che influenzano la scelta della scuola sono stati individuati: la qualità della scuola in termini di offerta didattica, la composizione socio-economica degli alunni della scuola, il rendimento degli studenti (spesso misurati attraverso prove standard nazionali), la distanza dal luogo di residenza (Burgess et al., 2014).

In definitiva, dall'analisi della letteratura emerge che l'accessibilità all'istruzione rappresenta una preziosa lente attraverso la quale analizzare le disparità di accesso all'opportunità per l'istruzione tra diverse aree geografiche o gruppi sociali. Una buona accessibilità all'istruzione inoltre contribuisce ad un generale incremento della qualità delle aree urbane, supporta comportamenti di mobilità sostenibili ed influenza le scelte di istruzione.

E' tuttavia rilevante osservare come gli studi presenti in letteratura e citati in questa introduzione hanno favorito l'utilizzo di indicatori di accessibilità relativamente "semplici" e legati essenzialmente al concetto di *prossimità*, quali la distanza o il

---

tempo di viaggio tra il luogo di residenza e la scuola più vicina (o le prime  $n$  scuole più vicine) o il numero di scuole che può essere raggiunto entro una certa distanza o soglia temporale. Lo studio di Williams e Wang (2014) costituisce un'eccezione rilevante ed è basato su un adattamento della tecnica "*enhanced two step floating catchment area*" (Luo e Qi, 2009) al caso dell'accessibilità all'istruzione. Tale tecnica è particolarmente rilevante per il presente lavoro poiché permette di tenere in conto non solo della *prossimità* tra servizi e utenti serviti, ma anche del *bilanciamento* tra domanda ed offerta di servizi scolastici e di come tale bilanciamento varia nello spazio.

A partire da tali premesse, il presente capitolo utilizza il concetto di accessibilità come una misura in grado di catturare l'intensità e la distribuzione spaziale dei benefici derivanti da una corretta organizzazione di spazi e servizi per l'istruzione e pone particolare enfasi sull'accessibilità pedonale alle scuole primarie, alla luce dell'importante ruolo di quest'ultima nel supportare scelte di mobilità dolce e favorire la qualità urbana. In contrasto con il focus sulla prossimità che ha caratterizzato gli studi più recenti, il presente lavoro propone un set di indicatori di accessibilità in grado di catturare diverse prospettive connesse all'accesso alle opportunità per l'istruzione quali le caratteristiche dimensionali dei plessi scolastici, il bilanciamento locale tra domanda ed offerta di dotazioni e l'influenza dei meccanismi di scelta della scuola sulle opportunità di accesso all'istruzione. In tale ottica, vengono formulati diversi indicatori di accessibilità ed i pro ed i contro di ciascun indicatore nel supportare l'organizzazione della rete di offerta scolastica vengono discussi. Gli indicatori proposti vengono implementati mediante un'applicazione a due casi di studio nelle aree metropolitane di Napoli e Milano ed i risultati ottenuti dall'applicazione di diverse strategie di misura vengono empiricamente comparati mediante tecniche di statistica multivariata. Infine, un indicatore di equità spaziale, basato su un adattamento del coefficiente di Gini al caso dell'accessibilità all'istruzione viene presentato.

A parte la presente introduzione, il lavoro è strutturato nel seguente modo. Nel paragrafo 2.2 vengono presentate le caratteristiche principali delle due aree di studio; nel paragrafo 2.3 viene descritto il processo di acquisizione e trattamento dei dati



---

utilizzati nella presente analisi. La metodologia proposta è dettagliata nel quarto paragrafo. Il paragrafo 2.5 discute i risultati dell'applicazione. Infine nei paragrafi 2.6 e 2.7 vengono presentate le principali conclusioni del lavoro, descritte le limitazioni del presente studio e forniti alcuni spunti per future linee di ricerca.

## **2.2 Area di studio e contesto**

Il presente lavoro propone una applicazione degli indicatori dettagliati al par 2.4 nelle aree metropolitane di Napoli e Milano. La perimetrazione dell'area di studio costituisce una questione rilevante per le analisi di accessibilità e può influenzare i risultati ottenuti. Le città infatti sono, per definizione, sistemi spaziali aperti (Papa, 2009) in grado di stabilire relazioni con l'ambiente esterno. Tali relazioni si manifestano, tra l'altro, sotto forma di flussi di spostamento tra la città ed il suo ambiente esterno. Nel caso dell'accessibilità alle scuole, la definizione di un perimetro arbitrario implica l'impossibilità per chi risiede al suo interno di poter usufruire delle dotazioni esterne a tale cordone e, all'opposto, implica un flusso nullo nella direzione inversa. Per tale motivo nel presente studio è adottata la perimetrazione proposta dall' Ufficio Statistico dell'Unione Europea, basata sulla definizione di aree urbane funzionali, definite sulla base delle matrici di pendolarismo per il motivo casa-lavoro (Eurostat, 2006). Tale scelta coincide con la volontà di individuare un'area funzionale omogenea rispetto alla quale gli scambi con l'ambiente esterno risultino essere sostanzialmente limitati. Le due aree così definite si estendono rispettivamente su una superficie di 580 e 950 Km<sup>2</sup>. In esse risiede una popolazione in età scolastica (scuole primarie) di circa 127.000 e 122.000 unità.

In Italia, l'accesso all'istruzione è gratuito ed universale e, con il superamento dei bacini di utenza, l'iscrizione alle scuole è effettuata dal genitore che esprime un massimo di tre preferenze per le istituzioni scolastiche di interesse. Le domande di iscrizione sono accolte da ciascuna istituzione scolastica entro il limite massimo dei posti complessivamente disponibili, definito sulla base delle risorse di organico e dei piani di utilizzo degli edifici scolastici predisposti dagli Enti Locali competenti. In previsione di richieste di iscrizione in eccedenza, le singole istituzioni procedono alla definizione dei criteri di precedenza nell'ammissione. Seppur nel rispetto

dell'autonomia delle istituzioni scolastiche, i criteri di precedenza deliberati da ogni singolo istituto debbono rispondere a principi di ragionevolezza ed in primo luogo a quello della viciniorietà della residenza dell'alunno alla scuola di interesse (MIUR, 2016).

### 2.3 Acquisizione e trattamento dei dati

La presente ricerca è basata sull'utilizzo di dati aperti quali le banche date ISTAT, le banche dati del Ministero dell'Istruzione, l'Università e la Ricerca (MIUR) e le mappe a contenuto libero del progetto OpenStreetMap (OSM). Tali dati sono disponibili per l'intero territorio nazionale, rendendo la metodologia proposta replicabile in diversi contesti urbani e permettendo inoltre di condurre studi comparativi tra diverse aree geografiche. Il presente paragrafo descrive l'acquisizione ed il trattamento dei dati utilizzati per modellare l'accessibilità all'istruzione primaria nell'area metropolitana di Napoli e Milano. La tabella 2.1 ne dettaglia le fonti e la tipologia di dati.

| <i>Dati</i>   | <i>Formato</i> | <i>Fonti</i>                            |
|---|----------------|---|
| Indirizzi dei plessi scolastici                           | Tabelle        | Anagrafe delle Scuole Italiane (MIUR)   |
| Storico degli alunni e delle classi per plesso scolastico | Tabelle        | Anagrafe degli Studenti (MIUR)          |
| Esiti nelle prove nazionali                               | Tabelle        | Database Esiti ed Esami di Stato (MIUR) |
| Offerta didattica e ambiente di apprendimento             | Tabelle        | Rapporto di Autovalutazione (MIUR)      |
| Rete dei percorsi pedonali (o ad uso misto)               | shape file     | OpenStreetMap                           |
| Popolazione residente in età scolastica                   | shape file     | Istituto Nazionale di Statistica        |

Tabella 2.1 Dati, formato e fonti

Un'importante fonte di dati per il presente studio è costituito dalle banche dati del MIUR che, con il progetto *Scuola in Chiaro* (<http://cercalatuascuola.istruzione.it>), ha recentemente reso disponibile il proprio patrimonio informativo, condividendo i dati

---

a propria disposizione con i cittadini, al fine di favorire la trasparenza amministrativa. I dati utilizzati per caratterizzare l'offerta di spazi e servizi scolastici in particolare fanno riferimento a quattro differenti banche dati: l'Anagrafe delle Scuole Italiane (ASI), l'Anagrafe degli Studenti (AS), il database Esiti ed Esami di Stato (EES), i Rapporti di Autovalutazione (RAV) di ciascun istituto scolastico. L'ASI riporta gli indirizzi dei singoli plessi scolastici ed il comune di appartenenza. Utilizzando l'API *Geocoding* di Google Maps e mediante l'implementazione di opportune query è stato possibile ottenere le coordinate relative alla localizzazione dei diversi plessi nelle due aree di studio, successivamente importate in GIS e trasformate in una collezione di *feature* puntuali. L'AS è stata utilizzata per definire la capacità di ciascuna scuola, intesa come il numero massimo di posti-alunno disponibili. L'individuazione della capacità di ciascuna scuola, che dipende dalle caratteristiche dimensionali dei singoli plessi scolastici e dal personale organico, è basata su di una procedura analoga a quella implementata dagli Enti Locali preposti (ovvero i Comuni nel caso delle scuole primarie) per la redazione dei Piani di Utilizzo degli Edifici Scolastici, che tiene in conto dell'andamento nel tempo del numero di iscritti per classe di età. Infine, a ciascuna scuola sono associate le informazioni contenute nel database EES, nonché gli attributi relativi all'offerta di spazi e servizi reperibili sui RAV dei singoli plessi scolastici.

I dati ISTAT sono relativi al censimento della Popolazione e delle Abitazioni del 2011 e sono stati utilizzati per ottenere una misura della localizzazione e dell'intensità della domanda di servizi. I dati, in formato shape file, contengono per ciascuna sezione di censimento la popolazione totale e la popolazione suddivisa per fasce di età. In particolare la popolazione in età compresa tra i 5 ed i 10 anni è stata utilizzata come *proxy* della domanda di istruzione per la scuola primaria.

La superficie di tali sezioni varia da un minimo di 20 ad un massimo di circa 7 milioni di metri quadrati (media = 72.154 mq; dev.standard = 348.533 mq). L'elevata eterogeneità nella dimensione delle sezioni pone il problema della “*unità areale modificabile*” che può costituire un *bias* nei risultati delle analisi (Apparicio et al., 2008; Kuan 2012). Per tanto, in analogia con precedenti studi (e.g. Luo & Qi, 2009) e al fine di limitare gli errori statistici connessi al suddetto problema, i dati sono stati

---

ri-localizzati su di una griglia regolare di dimensioni 100x100 metri, utilizzando la seguente proporzione:

$$P_i : P_s = A_i : A_s \rightarrow P_i = P_s \cdot \frac{A_i}{A_s}$$

In cui  $P_i$  e  $P_s$  sono rispettivamente la popolazione della cella  $i$  e della sezione  $s$  e  $A_i$  e  $A_s$  sono l'area della cella  $i$  e della sezione  $s$ . I risultati di tale operazione sono riportati in forma di mappe tematiche (figure 2.1. e 2.2). Le quattro soglie utilizzate per contraddistinguere le diverse gradazioni di colore, corrispondenti ad altrettanti livelli di domanda, sono quantili 1/5, 2/5, 3/5 e 4/5 della distribuzione dei valori ottenuti. L'utilizzo di questa rappresentazione basata su celle regolari di 100x100 metri risulta particolarmente utile anche perché il risultato ottenuto, espresso in popolazione in età scolastica per ettaro, può essere letto come una densità di domanda, ovvero come una misura locale del carico potenziale sulla rete di attrezzature per l'istruzione.

Per rappresentare la separazione spaziale tra la domanda e l'offerta di spazi e servizi è stato infine costruito un *network dataset* dei percorsi pedonali dai luoghi di residenza alle scuole primarie. In assenza di dati ufficiali, il network è stato costruito a partire dalle mappe a contenuto libero del sito OpenStreetMap ([www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org)), scaricate in formato shape file. OpenStreetMap (OSM) è un progetto collaborativo fondato nel luglio 2004 da Steve Coast e finalizzato a creare mappe a contenuto libero ed è portato avanti da una rete di "mappatori" globale che, individualmente e su base volontaria, contribuiscono alla mappatura e all'aggiornamento delle informazioni. Le mappe così prodotte possono essere scaricate gratuitamente e sono rilasciate con licenza Open Database License. Tali mappe possono essere utilizzate liberamente per qualsiasi scopo, con il solo vincolo di citarne la fonte. Alcune ricerche hanno dimostrato come i dati prodotti dalla comunità OSM risultino essere talvolta più accurati degli *authoritative data*, ovvero dei dati prodotti (e spesso non apertamente distribuiti) dagli Enti Locali (Zielstra & Hochmair, 2011). Tuttavia la qualità del dato dipende anche dal numero di mappatori (Mondzech & Sester, 2014) e, per operazioni di *routing* come quelle sviluppate nel presente lavoro, si è ritenuto necessario





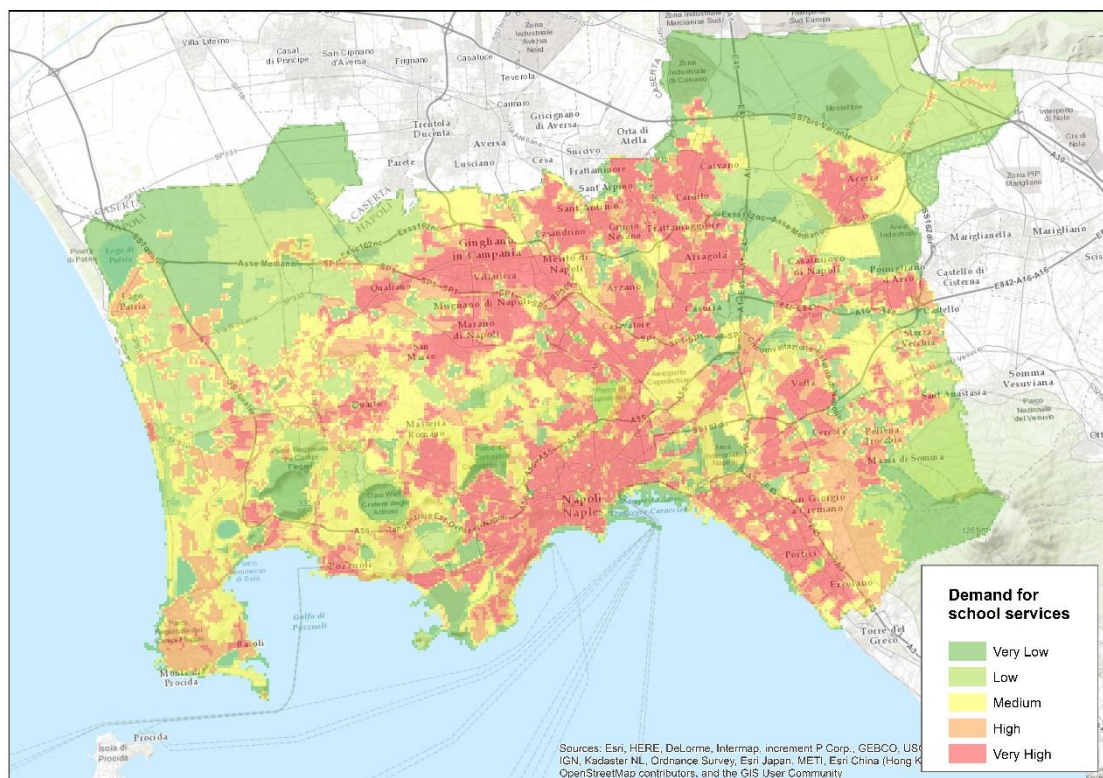


Figure 2.2 Domanda di servizi scolastici nell'area metropolitana di Napoli

## 2.4 Metodologia

Il presente studio argomenta che, per essere rilevante per le pratiche di pianificazione della rete scolastica, le analisi di accessibilità devono contribuire a strutturare una conoscenza adeguata del territorio di analisi, fornire diverse prospettive sul fenomeno di accesso all'istruzione e comunicare in maniera efficace i risultati ottenuti. Tale argomentazione è supportata da recenti studi basati su workshop strutturati tra ricercatori e *practitioners* finalizzati ad individuare le caratteristiche desiderate dai potenziali *users* al fine di massimizzare l'applicabilità dei modelli di accessibilità nelle pratiche di pianificazione (te Brömmelstroet e Bertolini, 2008; Pelzer et., 2014; Papa et al., 2017).

Nei paragrafi a seguire vengono pertanto presentati diversi indicatori di accessibilità in grado di fornire diverse prospettive sul fenomeno di accesso spaziale all'istruzione. Inizialmente viene introdotta una misura di accessibilità che fa riferimento alla prossimità tra residenze ed istituti scolastici. Il secondo indicatore pone invece l'accento sulla capacità dei singoli plessi e sui benefici derivanti dalla possibilità di

---

poter accedere, in una distanza ragionevole, ad una molteplicità di plessi scolastici caratterizzati da diversa capacità. La terza formulazione proposta introduce il tema del bilanciamento spaziale tra domanda ed offerta di servizi, mentre il quarto indicatore pone l'accento sull'attrattività dei plessi scolastici e sugli impatti delle scelte delle famiglie sull'accesso agli istituti scolastici. Infine viene introdotto un indicatore per valutare l'equità nella distribuzione spaziale dei plessi scolastici basato su tecniche di analisi statistiche (analisi delle componenti principali e indici di concentrazione). Gli indicatori di seguito descritti sono implementati in ambienti GIS mediante la messa a punto di tool di analisi ad hoc, sviluppati con il linguaggio di programmazione visuale *Model Builder*.

#### **2.4.1 Prossimità**

Il concetto di prossimità costituisce un aspetto fondamentale nelle analisi di accessibilità. Il ben noto postulato di Tobler (1970) afferma infatti che *“everything is related to everything else, but near things are more related than distant things”*. Trasferendo tale concetto all'accessibilità ai servizi scolastici è possibile affermare che l'intensità delle relazioni tra domanda ed offerta per l'istruzione è tanto maggiore quanto maggiore è la prossimità tra residenze ed istituzioni scolastiche. La prossimità tra queste due componenti può essere misurata in diversi modi e la distanza su rete dalla scuola più vicina può costituire un esempio di indicatore di prossimità da utilizzare nel caso in cui si voglia ad esempio verificare che la distanza tra ciascuna abitazione e la scuola elementare più vicina non superi un certo valore o che ciascun residente possa accedere in un tempo massimo (ad esempio venti minuti andando a piedi) alla scuola più vicina alla propria abitazione. Di contro un tale tipo di approccio, comunemente utilizzato in letteratura (e.g. Muller, 2011; Boussauwet al., 2015) non tiene conto degli effetti cumulati derivanti dalla presenza di più scuole localizzate in prossimità del luogo di residenza, né della non linearità della relazione tra distanza casa-scuola e potenziale di interazione. Per tenere in conto di questi due aspetti, nel presente lavoro si propone di misurare la prossimità tra domanda e offerta scolastica come:

$$A_i = \sum_{j=1}^n f(d_{ij})$$

dove  $A_i$  è l'accessibilità della zona  $i$  alle scuole  $j$  e  $f(d_{ij})$  è una funzione di decadimento che esprime la relazione non lineare tra il beneficio derivante dalla possibilità di accedere alla scuola  $j$  ed il tempo o la distanza  $d_{ij}$  dal luogo di residenza  $i$  e la scuola  $j$ . La scelta della funzione di decadimento risulta particolarmente rilevante e diversi tipi di funzione possono essere utilizzati tra cui la potenziale negativa, l'esponenziale negativa e la Gaussiana (Vale e Perreira, 2016), che assumono rispettivamente le seguenti forme funzionali:

$$f(d_{ij}) = d_{ij}^{-\beta} \quad \text{Potenziale negativa}$$

$$f(d_{ij}) = e^{-\beta d_{ij}} \quad \text{Esponenziale negativa}$$

$$f(d_{ij}) = e^{-d_{ij}^2/\beta} \quad \text{Gaussiana}$$

Idealmente il parametro  $\beta$  della funzione di decadimento dovrebbe essere stimato sulla base di indagini empiriche, utilizzando nella misura di accessibilità la forma funzionale che presenta il miglior *fitting* tra valori osservati e valori simulati. Tuttavia tale circostanza è spesso disattesa ed il numero di studi che ha empiricamente calibrato la funzione di impedenza nel caso di accessibilità pedonale risulta essere relativamente limitato. Iacono et al. (2010) individuano diverse cause di tale omissione tra le quali: i) la mancanza di indagini strutturate sui comportamenti di mobilità pedonale (in contrasto con l'abbondanza di indagini sulla mobilità veicolare); ii) la mancanza di dati ad alta risoluzione sugli usi del suolo e iii) l'inadeguatezza delle unità statistiche minime di riferimento nelle indagini censuarie. La forma funzionale dipende dalla modalità di spostamento (in auto, a piedi o con il trasporto pubblico) e, per una data modalità, dal motivo stesso dello spostamento (istruzione, lavoro, tempo libero, etc.). Nel caso dell'accessibilità pedonale alle scuole è logico aspettarsi per l'accessibilità pedonale un decadimento pronunciato che porta  $f(d_{ij})$  a



---

valori prossimi allo zero quando  $d_{ij}$  si approssima ad una “soglia di tolleranza” (Vale e Perreira, 2006) pedonale (ad esempio 2 km). Per tale motivo, diversi studiosi (e.g. Iacono, 2010, Signorino, 2011, Yang, 2012) suggeriscono l’uso della funzione esponenziale negativa per le analisi accessibilità pedonale e per tanto nel presente studio si è deciso di utilizzare tale funzione.

In accordo con Wang (2007) è possibile fissare un valore soglia  $d_{ij}^{max}$  oltre il quale si ritiene che la disponibilità a spostarsi a piedi per raggiungere una certa destinazione sia pressoché nulla ( $f(d_{ij}) = 0,01$ ). Fissato tale valore, è possibile calcolare  $\beta$  come:

$$\beta = - \frac{\log(0,01)}{d_{ij}^{max}}$$

Nel presente lavoro diversi valori di  $d_{ij}^{max}$  sono stati considerati: 2; 2,5 e 3km.

L’indicatore così ottenuto, in definitiva, permette di caratterizzare in maniera realistica la vicinorietà tra offerta di sevizi ed utenti serviti, consentendo di evidenziare quelle aree in cui una particolare distribuzione di abitazioni e plessi scolastici determina la presenza di carenze localizzative.

#### **2.4.2 Capacità cumulata**

Mentre l’indicatore descritto nel precedente paragrafo fornisce utili informazioni sulla vicinorietà delle residenze alle scuole, esso dice poco o nulla sulle caratteristiche dimensionali delle singole istituzioni scolastiche. Ciascuna scuola infatti si caratterizza per un numero massimo di posti complessivamente disponibili che è funzione delle caratteristiche dimensionali e delle risorse di organico disponibili. Al fine di integrare gli aspetti di prossimità e quelli di capacità è possibile utilizzare un indicatore di accessibilità di tipo gravitazionale in cui l’accessibilità della zona  $i$  alle opportunità per l’istruzione  $j$  aumenta all’aumentare della capacità  $Cap_j$  dei plessi  $j$ , localizzati vicino casa e diminuisce con la distanza o il tempo pedonale  $d_{ij}$  necessario per raggiungerli. Tale indicatore può essere formalmente espresso come:

---

$$A_i = \sum_{j=1}^n Cap_j * f(d_{ij})$$

e può essere interpretato come la capacità cumulata degli istituti scolastici localizzati entro una certa distanza dalla residenza, mediata sulla distanza necessaria per raggiungerli. Esso risulta per tanto particolarmente utile per rappresentare le variazioni spaziali dell'offerta di spazi adattati per l'istruzione ed individuare localmente aree caratterizzate da carenze dimensionali.

### **2.4.3 Bilanciamento locale tra domanda offerta**

Un indicatore di tipo gravitazionale offre utili informazioni circa le variazioni spaziali dell'offerta di spazi per l'istruzione, le dimensioni dei medesi, nonché le distanze e/o i tempi necessari per raggiungerli. Tuttavia tale indicatore non tiene in conto dell'interazione tra domanda e offerta di istruzione. Essendo infatti i posti-alunni limitati e definiti per ciascuna scuole, la prossimità a plessi di grande dimensione non garantisce automaticamente una buona accessibilità se la domanda eccede localmente l'offerta. Tenere in conto del solo aspetto dell'offerta può essere considerato (in linea di principio) opportuno soltanto se almeno una delle seguenti condizioni risultano verificate: i) la domanda di opportunità disponibili è distribuita uniformemente nello spazio; ii) le dotazioni sono sovra-dimensionate rispetto alla domanda potenziale. E' immediato osservare che tali condizioni rappresentano più un caso ipotetico che una opzione reale. La prima condizione è infatti raramente soddisfatta in quanto le città sono generalmente caratterizzate da un irregolare distribuzione spaziale della popolazione (e dunque della domanda di attività) dovuta ai diversi usi del suolo. Parimenti, la seconda condizione può essere soddisfatta nella (remota) circostanze in cui l'offerta di dotazioni è talmente ampia da prevenire l'insorgere di meccanismi di competizione per le opportunità. Una strategia per tenere opportunamente in conto di tale fenomeno consiste nell'adattamento della tecnica *enhanced two step floating catchment area* al caso delle dotazioni scolastiche, utilizzando come misura dell'offerta di servizi la capacità dei singoli plessi scolastici, espressa in termini di posti/alunno.

---

Come il nome suggerisce, la tecnica in questione è implementata in due step successivi. Nel primo step, per ciascuna scuola  $j$ , viene calcolato il bacino potenziale di utenza, ovvero la popolazione residente in età scolastica,  $Pop_i$ , localizzata ad una distanza ragionevole dalla dotazione in questione. A questo punto per ciascuna scuola  $j$  è possibile calcolare il rapporto  $R_j$  tra il numero di posti alunno offerti ed il carico potenziale che gravita su ciascuna scuola  $j$  come:

$$R_j = \frac{Cap_j}{\sum_i Pop_i \cdot f(d_{ij})}$$

Utilizzando nella precedente formulazione la funzione di decadimento introdotta al par.2.4.1 si assume, ragionevolmente, che il carico esercitato dai residenti localizzati a margine del bacino potenziale di utenza sia minore del corrispettivo carico esercitato da chi risiede nelle immediate vicinanze della scuola e avrà che per tanto maggiore interesse nel poter iscrivere i propri figli presso tale istituzione.

Nel secondo step, per ciascuna zona  $i$  viene effettuata la sommatoria dei rapporti  $R_j$  delle scuole localizzate in prossimità di  $i$ :

$$Acc_i = \sum_j R_j \cdot f(d_{ij}) = \sum_j f(d_{ij}) \cdot \frac{Cap_j}{\sum_i Pop_i \cdot f(d_{ij})}$$

Concettualmente tale operazione è analoga a quanto descritto nel paragrafo precedente con la differenza però che i benefici derivanti dalla possibilità di accedere a diverse scuole sono mediati oltre che dalla distanza tra scuola e luogo di residenza, anche dal carico che agisce su ciascuna scuola.

L'indicatore così ottenuto presenta il vantaggio di esprimere l'accessibilità in termini di rapporto tra posti alunno/ utenti potenziali e per tanto ben si conforma all'individuazione di quelle aree in cui la domanda eccede localmente l'offerta.

---

#### 2.4.4 Attrattività e scelta della scuola

In questo paragrafo si introduce il tema dell'attrattività e della scelta della scuola. Questo indicatore è sviluppato per tenere in conto di come il servizio è erogato e “consumato” dagli utenti e consiste in una ridefinizione dell'indicatore precedente introdotto mediante una più realistica valutazione del carico potenziale che gravita su ciascun plesso scolastico. Come evidenziato in precedenza infatti i singoli plessi scolastici sono caratterizzati da capacità limitata e accolgono le domande di iscrizione in un numero massimo pari alla disponibilità di posti- alunno, utilizzando, in caso di eccedenza della domanda, il principio della viciniorietà tra la scuola e la residenza dell'applicante. Al contempo le famiglie, con l'introduzione della libera scelta, possono valutare la possibilità di far domanda presso diverse scuole in base alle loro preferenze. In Italia, in particolare, è prevista la possibilità di indicare tre preferenze, mentre le famiglie sono supportate nella scelta della scuola dai RAV disponibili online presso il sito dell'iniziativa *Scuola in Chiaro*, scegliendo le tre scuole che ritengono più “attrattive” (MIUR, 2016).

In questo lavoro, l'attrattività delle scuole è definita a partire dalle caratteristiche fisico funzionali degli spazi e dalla prossimità tra scuole e residenze, mentre la scelta della scuola viene descritta mediante un modello di Huff. Il modello di Huff (Huff,1963) rappresenta una particolare tipologia di modello gravitazionale, sviluppata originariamente per descrivere il processo di scelta dei consumatori tra una serie di punti vendita alternativi circa l'acquisto di un determinato bene o servizio. A distanza di oltre cinquanta anni dalla sua formulazione, il modello di Huff risulta essere ancora rilevante come testimoniato da recenti applicazioni in differenti contesti e finalizzate ad individuare, ad esempio, la localizzazione ottimale di supermercati (Liu, 2012), le aree di influenza di parcheggi park and ride (Lin et al., 2016) o l'attrattività di diversi porti merci (Moura et al., 2016). Adattando tale approccio al presente lavoro, il modello di Huff può essere espresso come:

$$P_{ij} = \frac{Att_j \cdot f(d_{ij})}{\sum_k Att_{jk} \cdot f(d_{ik})}$$

---

dove :

- $P_{ij}$  è la probabilità che gli utenti localizzati in  $i$  scelgano la scuola  $j$  tra le scuole più vicine;
- $Att_j$  rappresenta l'attrattività della scuola  $j$ ;
- $f(d_{ij})$  è la funzione di decadimento precedentemente descritta.

Tale modello afferma che la probabilità di scegliere la scuola  $j$  tra le  $n$  scuole appartenenti all'insieme di scelta  $S$  è direttamente proporzionale all'attrattività di ciascuna istituzione scolastica  $i$  ed inversamente proporzionale alla distanza o al tempo necessario per raggiungerla. Nello stesso spirito di Lin (2016), l'attrattività di  $j$  è espressa come combinazione lineare in  $\omega$  di attributi specifici  $a$  di  $j$ :

$$Att_j = \omega_1 \cdot a_1 + \dots + \omega_m \cdot a_m$$

Sulla base della letteratura scientifica, in particolare l'attrattività di ciascuna istituzione scolastica è definita in funzione dei seguenti attributi: i) risultati nelle prove standardizzate nazionale, ii) curriculum offerto, iii) ambiente di apprendimento. Il modello di Huff è di seguito integrato nella formulazione proposta nel paragrafo 2.3.3 per ridistribuire la domanda potenziale di ciascuna cella sulle diverse attrezzature scolastiche:

$$R_j = \frac{Cap_j}{\sum_i P_{ij} \cdot Pop_i}$$

Ed infine l'accessibilità calcolata come:

$$Acc_i = \sum_j R_j \cdot f(d_{ij}) = \sum_j f(d_{ij}) \cdot \frac{Cap_j}{\sum_i P_{ij} \cdot Pop_i}$$

Il modello proposto dunque ridefinisce l'equilibrio locale tra domanda ed offerta sulla base dell'attrattività dei singoli plessi e dei meccanismi di scelta dell'istituzione scolastica. Al contempo, a parità di capacità cumulata, assegna una maggiore

---

accessibilità alle zone prossime a scuole che offrono un curriculum più attrattivo, un ambiente di apprendimento di qualità o che hanno migliori performance nelle prove standardizzate nazionali.

#### **2.4.5 Aggregazione dei risultati**

Gli indicatori appena descritti permettono di calcolare l'accessibilità per ciascuna cella regolare  $i$  e per ciascuna prospettiva  $p$  ( $Acc_i^p$ ). Le celle regolari hanno un'estensione di un ettaro e permettono di calcolare e rappresentare attraverso mappe tematiche i pattern di accessibilità ad un livello di dettaglio difficilmente raggiunto in precedenti analisi. Tale circostanza, che costituisce certamente una importante innovazione rispetto a precedenti analisi, offre anche un contributo ai problemi connessi all'analisi dell'accessibilità pedonale evidenziati da Iacono et al. (2010). Tipicamente infatti l'accessibilità viene stimata utilizzando come unità minima di riferimento grandi aggregazioni territoriali. Per un pedone, ed in particolar modo per un bambino che deve raggiungere il plesso scolastico presso il quale è iscritto anche 100 o 200 metri in più di distanza tra il luogo di residenza e la scuola frequentata costituiscono una importante limitazione per gli spostamenti pedonali (Mitra et al., 2010). In tal senso, l'utilizzo di tecniche di mappatura della domanda potenziale come quelle proposte nel presente capitolo, il calcolo delle distanze per diversi milioni di coppie residenza-scuola e le conseguenti rappresentazioni dei risultati per griglie regolari di 100 metri di lato permettono una accuratezza nella rappresentazione del fenomeno certamente necessaria per questo tipo di analisi. Al contempo i valori ottenuti possono essere aggregati per interi quartieri o ambiti urbani più estesi. Tale aggregazione può essere ottenuta pesando l'accessibilità ai servizi sulla popolazione servita, ottenendo così un indicatore sintetico della capacità di un certo quartiere o ambito territoriale  $S$  di rispondere alla domanda di spazi e servizi per l'istruzione:

$$Acc^S = \frac{\sum_i^n Acc_i \cdot Pop_i}{\sum_i^n Pop}$$

Tale aggregazione permette infine semplici ed intuibili comparazioni tra diversi ambiti urbani o tra diverse aree di studio.

### 2.4.6 Equità spaziale

L'attuale organizzazione spaziale della rete scolastica o localizzazione di nuove scuole determina il verificarsi di benefici che inevitabilmente si distribuiscono in maniera non uniforme nello spazio, avvantaggiando alcune zone o gruppi sociali. Nell'analisi di scenari di intervento alternativi sulla rete scolastica è per tanto opportuno tenere in conto non solo degli incrementi di accessibilità derivanti da ipotesi di modifica dell'assetto urbano, ma anche analizzare la distribuzione spaziale dell'accessibilità per verificare se tali incrementi siano distribuiti più o meno equamente tra gli utenti potenziali.

Il concetto di equità si presta a diverse interpretazioni. Una distinzione importante è tra equità verticale ed equità orizzontale. In questo lavoro si fa riferimento alla concettualizzazione di equità nella sua accezione di "equità orizzontale" (*fairness or egalitarianism*), che può essere interpretata come "fornire eguali risorse ad individui o gruppi di individui con le stesse abilità" (Litman, 2007). In tal senso un intervento sarà tanto più equo quanto i benefici da esso derivante si distribuiranno in maniera uniforme tra la popolazione beneficiaria. Uno dei metodi più interessanti per misurare il grado di (dis)eguaglianza della distribuzione di un certo beneficio è costituito dalla cosiddetta curva di Lorenz, tradizionalmente impiegata per valutare la disuguaglianza nella distribuzione dei redditi e rappresentata in figura 2.3.

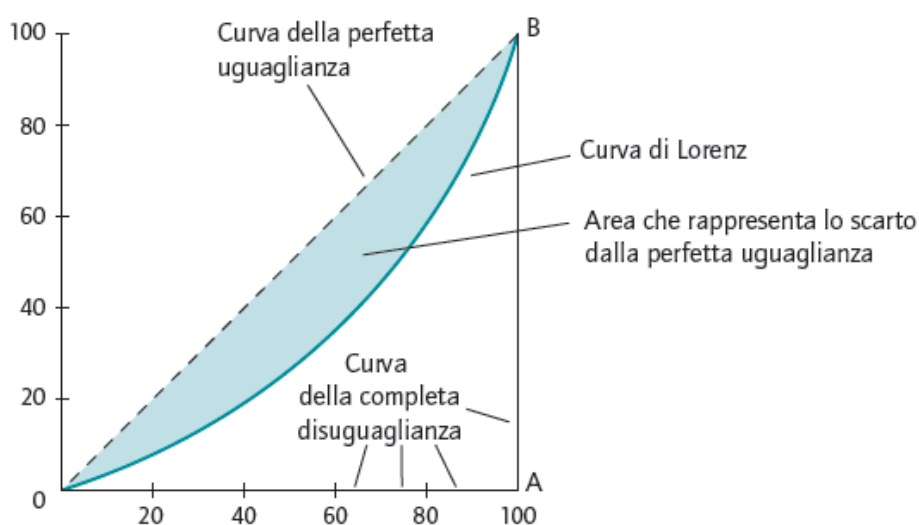


Figura 2.3 - Curva di Lorenz

---

Il segmento 0B rappresenta la curva di perfetta uguaglianza. Lo scarto della curva di Lorenz dalla curva della perfetta uguaglianza è indicato dall'area ombreggiata, che costituisce una misura del grado di disuguaglianza nella distribuzione del beneficio. Quanto più è ampia quest'area, tanto maggiore è la distanza della distribuzione effettiva dalla perfetta uniformità. Nel caso di completa disuguaglianza, l'area coinciderebbe con il triangolo 0AB. È possibile fornire un indice sintetico della disuguaglianza, che è dato dal rapporto tra l'area compresa tra la curva di uguaglianza perfetta e la curva di Lorenz e l'area del triangolo 0AB. Tale indice, definito coefficiente di Gini, assume un valore compreso tra 0 (per l'uguaglianza perfetta) e 1 (per la massima disuguaglianza).

Con riferimento all'analisi di equità spaziale degli interventi sul sistema della rete di scuole (o dell'equità nella distribuzione attuale delle medesime) è possibile porre sull'asse delle ascisse la percentuale cumulata della popolazione in età scolastica e sull'asse delle ordinate la percentuale cumulata dell'incremento di accessibilità derivante da scelte localizzative (o la percentuale cumulata dell'accessibilità attuale, nel caso di valutazione dello stato di fatto). In termini applicativi, l'equità nella distribuzione delle scuole può essere calcolata utilizzando la seguente formulazione:

$$G = 1 - \sum_i (X_i^{pop} - X_{i-1}^{pop}) * (X_i^{acc} - X_{i-1}^{acc})$$

dove  $X^{pop}$   $X^{acc}$  rappresentano rispettivamente la percentuale cumulata della popolazione residente in età scolastica e la percentuale cumulata dell'accessibilità alle scuole. A parità di beneficio totale, pertanto, un ipotesi di intervento sarà considerata tanto più equa e dunque più desiderabile quanto minore sarà il valore del coefficiente di Gini.

Il beneficio derivante dalla localizzazione di nuove scuole dovrebbe sintetizzare le diverse prospettive dell'accessibilità e verosimilmente l'applicazione della formula appena descritta ai diversi indicatori proposti può portare a risultati differenti. Per tale ragione, nel presente studio si propone di normalizzare gli indicatori di accessibilità definiti nei precedenti paragrafi ed effettuare una analisi delle componenti principali.



---

Per la normalizzazione è possibile utilizzare diverse formule. In questo lavoro si è scelto di utilizzare la normalizzazione *min-max*:

$$acc_i^p = \frac{Acc_i^p}{[Max(Acc_i^p) - Min(Acc_i^p)]} \cdot 100$$

dove  $Acc_i^p$  rappresenta il valore di accessibilità per la cella  $i$ , e per la prospettiva  $p$  ed  $acc_i^p$  il suo valore normalizzato in un intervallo tra 0 e 100.

L'analisi delle componenti principali, invece, è una tecnica utilizzata nell'ambito della statistica multivariata per la semplificazione dei dati d'origine. Lo scopo primario di questa tecnica è la riduzione di un numero più o meno elevato di variabili (rappresentanti altrettante caratteristiche del fenomeno analizzato) in alcune variabili latenti. Ciò avviene tramite una trasformazione lineare delle variabili che proietta quelle originarie in un nuovo sistema cartesiano nel quale le variabili vengono ordinate in ordine decrescente di varianza spiegata; pertanto, la variabile con maggiore varianza viene proiettata sul primo asse, la seconda sul secondo asse e così via. Nel presente lavoro la varianza spiegata viene utilizzata come peso per aggregare le diverse prospettive. Il valore così ottenuto viene utilizzato come  $X^{acc}$  nella formula del calcolo del coefficiente di Gini, mentre viene utilizzata la popolazione residente in età scolastica come  $X^{pop}$ .

## **2.5 Analisi dei risultati**

### **2.5.1 Indicatori di accessibilità**

Nella serie di mappe in coda al presente paragrafo sono riportati i risultati dell'applicazione dei quattro differenti indicatori di accessibilità, descritti nei precedenti paragrafi per le due aree metropolitane oggetto di indagine. Le mappe presentano una gradazione di colori che va dal rosso acceso (accessibilità elevata) al verde scuro (scarsa accessibilità). Per uniformare i risultati, i valori di accessibilità in ogni cella e per ciascun indicatore sono normalizzati tra zero e cento. Le quattro soglie utilizzate per contraddistinguere i livelli di accessibilità delle diverse aree sono i

---

quantili 1/5, 2/5, 3/5 e 4/5 della distribuzione dei valori. Si analizza dapprima il caso studio dell'area metropolitana di Milano e successivamente quello di Napoli.

Con riferimento al caso di studio dell'area Metropolitana di Milano, l'analisi complessiva delle quattro mappe evidenzia una generale degradazione dei livelli di accessibilità dal centro del capoluogo lombardo verso i comuni più distanti da esso. Tuttavia significative differenze emergono analizzando le singole mappe ed, in alcuni casi, anche aree interne al comune di Milano presentano livelli di accessibilità relativamente bassi. La figura 2.4.a mostra la prossimità tra le scuole ed i luoghi di residenza ed in essa l'intero capoluogo lombardo presenta valori più elevati della media in virtù di una elevata concentrazione di edifici scolastici. Tuttavia se si tiene anche in conto delle caratteristiche dimensionali degli edifici scolastici, risulta che alcune aree relativamente periferiche mostrano livelli di accessibilità più elevati delle aree centrali come conseguenza della presenza in tali aree di plessi scolastici più recenti e di maggiori dimensioni (figura 2.4.b). La mappa 2.4.c mostra invece il bilanciamento locale tra domanda ed offerta di plessi. In questo caso i pattern di accessibilità si discostano dalle precedenti due mappe ed anche le aree appartenenti ai comuni più esterni dell'area metropolitana presentano un'elevata accessibilità. All'opposto l'elevata concentrazione della domanda nelle zone centrali dell'area di studio determina una riduzione dei livelli di accessibilità e segnala la presenza di uno squilibrio tra domanda ed offerta di dotazioni. Infine la mappa 2.4.d presenta pattern di accessibilità simili alla figura 2.4.a. La presenza di istituzioni scolastiche caratterizzate da elevata attrattività determina infatti un incremento dell'accessibilità ai servizi che però è controbilanciato da una maggiore carico sugli stessi. Per tanto gli effetti positivi della presenza di scuole di pregio sono in larga parte compensati da un maggiore carico ed emergono esclusivamente nel caso in cui scuole particolarmente attrattive sono localizzate in aree urbane con una domanda relativamente contenuta. Nell'area metropolitana di Napoli i pattern di accessibilità si manifestano in maniera più articolata e, seppure sia possibile osservare elevati valori di accessibilità nella città di Napoli, le variazioni dei livelli di accessibilità non seguono le direzioni radiali osservate per l'area metropolitana di Milano. La mappa 2.5.a mostra la prossimità tra le residenze e i plessi scolastici ed elevati valori di accessibilità si manifestano in

maniera grossomodo uniforme nell'intera area di studio, ad eccezione dei comuni di Pozzuoli e Giugliano. La presenza di plessi di elevate dimensioni determina un incremento di tali valori nelle aree a nord del capoluogo campano (figura 2.5.b). Quando la dimensione e la prossimità dei plessi scolastici vengono però comparati localmente con la domanda di dotazioni è possibile osservare un generale decadimento dei livelli di accessibilità nelle aree densamente abitate ed in particolar modo nelle aree centrali del comune di Napoli (figura 2.5.c). La presenza di uno squilibrio domanda-offerta implica che in tali aree parte della popolazione residente dovrà ricorrere a dotazioni localizzate in aree limitrofe o far riferimento all'offerta di scuole private. Infine, in analogia con quanto visto per il precedente caso studio, la mappa 2.5.d mostra livelli di accessibilità simili alla figura 2.5.a. In questo caso gli effetti positivi della presenza di scuole più attrattive si manifesta principalmente nelle aree centrali e meno in quelle periferiche.

Per quanto concerne l'equità nella distribuzione dei plessi scolastici, la tabella 2.3 riporta i valori ottenuti per il calcolo del coefficiente di Gini per le due aree metropolitane e per le sole città di Napoli e Milano. In primo luogo è possibile osservare che per entrambi i casi il valore del coefficiente è minore quando si considera solo la città capoluogo, anche se questa differenza risulta attenuata nel caso studio di Milano. In entrambi i casi quindi la distribuzione delle dotazioni risulta essere sia più efficiente (livelli di accessibilità maggiore) sia più equamente distribuita (coefficiente di Gini minore) nelle città capoluogo. Il confronto tra le due città inoltre dimostra che i benefici derivanti dalla presenza di dotazioni scolastiche si distribuiscono in maniera più equa nella città (e nell'area Metropolitana) di Milano rispetto a quella di Napoli. Probabilmente tale circostanza, oltre a derivare dall'accumularsi di scelte localizzative nel tempo è dovuto anche alla diversa struttura urbana delle due aree di analisi.

| <i>Area</i>               | <i>Coefficiente di Gini</i> |
|---------------------------|-----------------------------|
| Milano                    | 0,65                        |
| Milano Area metropolitana | 0,67                        |
| Napoli                    | 0,79                        |
| Napoli Area Metropolitana | 0,83                        |

*Tabella 2.3 Equità nella distribuzione delle dotazioni*

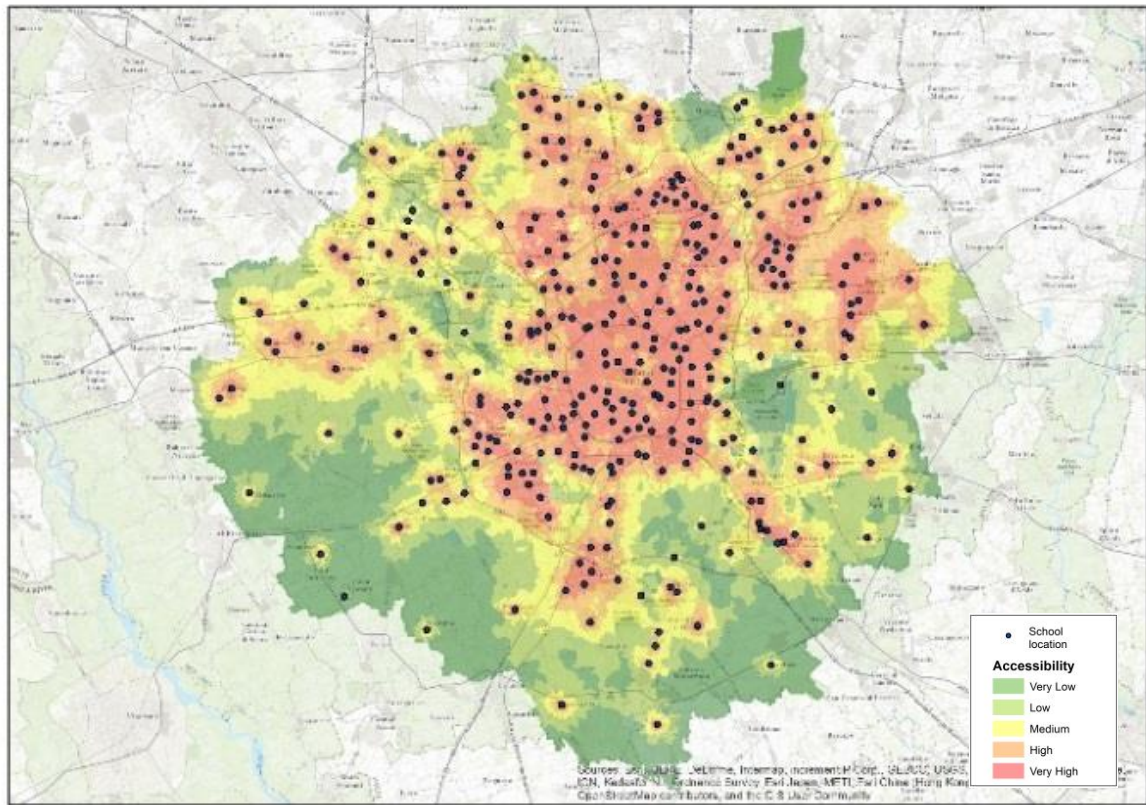


Figure 2.4.a Prossimità - Area metropolitana di Milano

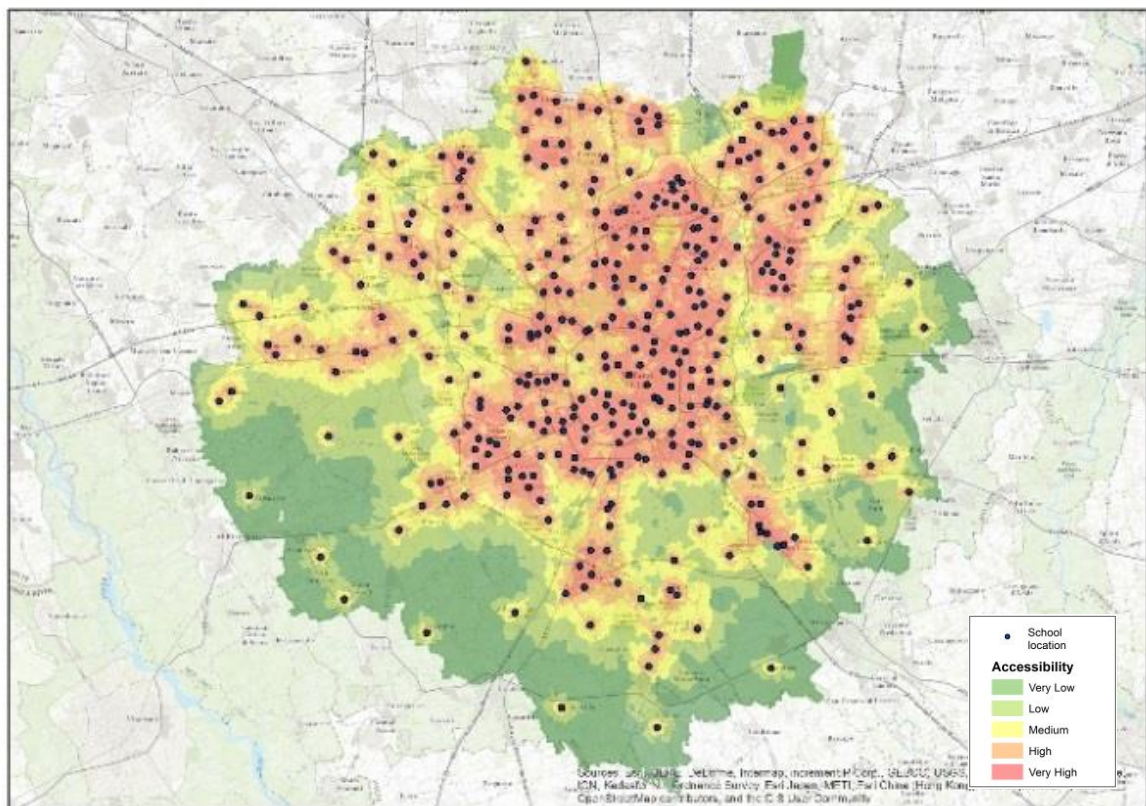


Figura 2.4.b Capacità cumulata - Area metropolitana di Milano









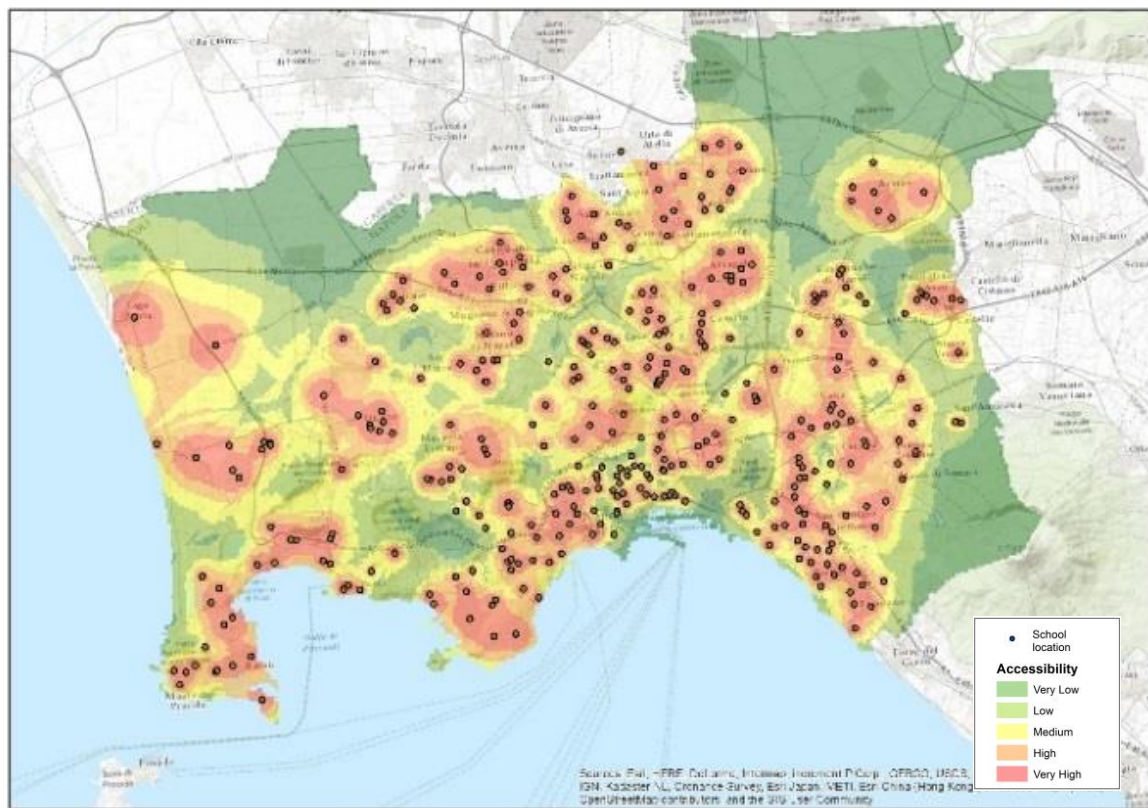


Figura 2.5.c Bilanciamento domanda offerta - Area metropolitana di Napoli

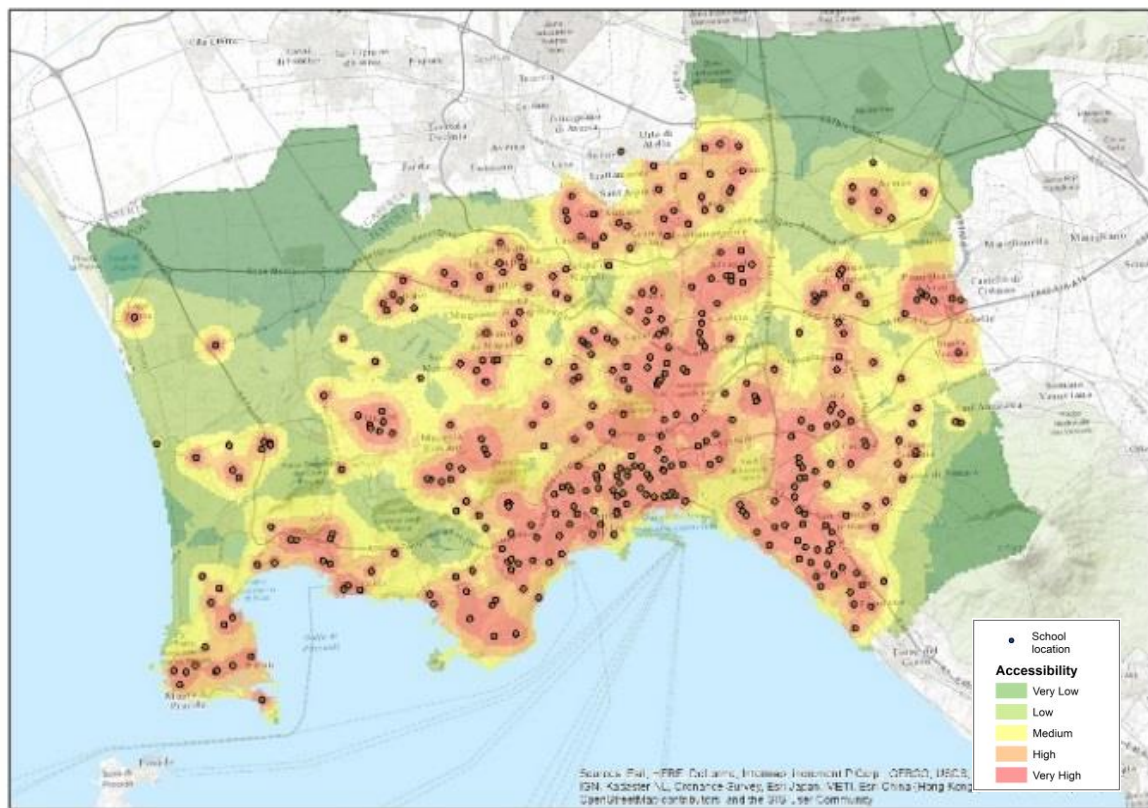


Figura 2.5.d Attrattività e scelta della scuola - Area metropolitana di Napoli



## 2.5.2 Comparazione statistica degli indicatori

Gli indicatori di accessibilità proposti si caratterizzano per diversi gradi di operabilità (necessità di dati, complessità delle analisi etc.), facilità di comunicazione e capacità di tenere in conto di diversi aspetti connessi al fenomeno dell'accesso. Una analisi comparativa dei risultati di ciascuna applicazione risulta essere pertanto particolarmente utile per le pratiche di pianificazione poiché rappresenta un'utile guida nella scelta degli indicatori più appropriati per valutare diverse ipotesi di intervento sull'assetto urbano. Nel presente studio la comparazione dei risultati dell'applicazione di diversi indicatori è svolta mediante il calcolo del coefficiente di correlazione di Pearson tra ciascuna coppia di indicatori proposti. I risultati di tale analisi sono riportati nelle tabelle 2.4.e 2.5

L'analisi delle tabelle dimostra in primo luogo che i coefficienti di correlazione sono grossomodo simili nelle due applicazioni. I risultati ottenuti evidenziano una elevata correlazione tra indicatori di prossimità ed indicatori gravitazionali- Tale risultato dipende in parte dalla varianza relativamente limitata nella distribuzione della dimensione dei plessi scolastici. All'opposto però le analisi svolte evidenziano una sostanziale differenza nei risultati nel momento in cui nel calcolo dei livelli di accessibilità si tiene anche in conto dei fenomeni di competizione che si innescano quando domanda ed offerta non sono distribuite in maniera uniforme sul territorio.

|                                  | <i>Prossimità</i> | <i>Capacità<br/>cumulata</i> | <i>Bilanciamento<br/>domanda offerta</i> | <i>Attrattività e<br/>scelta</i> |
|----------------------------------|-------------------|------------------------------|--|----------------------------------|
| Prossimità                       | 0                 | 0,87                         | 0,48                                     | 0,73                             |
| Capacità<br>cumulata             | 0,87              | 0                            | 0,51                                     | 0,67                             |
| Bilanciamento<br>domanda offerta | 0,48              | 0,51                         | 0  | 0,54                             |
| Attrattività e<br>scelta         | 0,73              | 0,67                         | 0,54                                     | 0                                |

Tabella 2.4. Analisi di correlazione – Milano



|                                  | <i>Prossimità</i> | <i>Capacità<br/>cumulata</i> | <i>Bilanciamento<br/>domanda offerta</i> | <i>Attrattività e<br/>scelta</i> |
|----------------------------------|-------------------|------------------------------|--|----------------------------------|
| Prossimità                       | 0                 | 0,86                         | 0,48                                     | 0,71                             |
| Capacità<br>cumulata             | 0,86              | 0                            | 0,49                                     | 0,67                             |
| Bilanciamento<br>domanda offerta | 0,48              | 0,49                         | 0  | 0,54                             |
| Attrattività e<br>scelta         | 0,71              | 0,67                         | 0,54                                     | 0                                |

*Tabella 2.5 Analisi di correlazione - Napoli*

A sua volta differenze esistono se nell'analisi dei meccanismi di competizione si tiene in conto o meno dell'attrattività dei plessi e dell'impatto della scelta della scuola sull'accessibilità. Tali risultati sottolineano la necessità di analisi di accessibilità in grado di fornire diverse prospettive sul fenomeno di accesso alle opportunità distribuite sul territorio e mostrano un generale trade-off tra indicatori caratterizzati da una maggiore complessità di implementazione (in termini di dati richiesti e di processi) ed indicatori relativamente più semplici da calcolare e comunicare.

## **2.6 Conclusioni**

Garantire un accesso equo ed efficace alle opportunità per l'istruzione rappresenta una questione di primaria importanza per decisori pubblici e policy makers. Una buona accessibilità ai servizi scolastici infatti contribuisce ad un generale incremento della qualità delle aree urbane, supporta comportamenti di mobilità sostenibili ed ha impatti positivi sul rendimento degli studenti. L'accessibilità alle scuole rappresenta inoltre un utile framework per valutare e comparare diverse politiche di intervento sull'organizzazione della rete scolastica. Tuttavia gli indicatori presenti in letteratura hanno tradizionalmente interpretato l'accessibilità alle scuole come una misura della prossimità tra la localizzazione degli utenti e la localizzazione dei plessi scolastici. Il presente lavoro offre un approccio pratico per una più approfondita analisi

---

dell'accessibilità ai servizi scolastici, basato sull'implementazione di un set di indicatori in grado di fornire una conoscenza utile e dettagliata dell'area di studio. Tali indicatori consentono di identificare le zone caratterizzate da carenze distributive e/o dimensionali e di valutare gli impatti associati ad interventi sulla rete scolastica. Gli indicatori proposti sono applicati in due casi di studio e mostrano, per la prima volta, i pattern di accessibilità ai servizi scolastici nelle aree metropolitane di Napoli e Milano, evidenziando significative differenze tra diversi comuni e tra quartieri all'interno degli stessi comuni. La comparazione statistica tra i diverse indicatori offre inoltre risultati interessanti che sottolineano la necessità per le analisi di accessibilità di tenere opportunamente in conto delle diverse componenti che caratterizzano il fenomeno di accesso alle opportunità distribuite sul territorio.

## **2.7 Limitazioni e sviluppi futuri**

Il presente lavoro presenta infine delle limitazioni, principalmente connesse all'applicazione della metodologia proposta. In primo luogo, la misura dei livelli di accessibilità potrebbe beneficiare di una stima del coefficiente  $\beta$  della funzione di decadimento sulla base dell'effettive iscrizioni alle scuole. Tuttavia al momento questi dati non sono disponibili ed inoltre il loro utilizzo può generare serie preoccupazioni per la privacy (Harris e Johnston, 2011). Inoltre il presente lavoro analizza l'accessibilità alle scuole pubbliche per le sole scuole pubbliche primarie. A tal proposito, possibili estensioni del lavoro includono l'applicazione della metodologia proposta anche alle scuole paritarie (che tuttavia nei due casi studio analizzati costituiscono circa il 10% del totale delle scuole). Tale analisi permetterebbe di evidenziare il contributo offerto dalle scuole paritarie al raggiungimento di livelli minimi di accessibilità. Infine risulterebbe altrettanto interessante estendere l'applicazione del framework proposto anche alle scuole secondarie di primo e secondo grado al fine di comparare i livelli di accessibilità per diverse tipologie di scuole.

---

## Bibliografia

- Anyon, J. (2014). *Radical possibilities: Public policy, urban education, and a new social movement*. Routledge.
- Apparicio, P., Abdelmajid, M., Riva, M., & Shearmur, R. (2008). Comparing alternative approaches to measuring the geographical accessibility of urban health services: Distance types and aggregation-error issues. *International journal of health geographics*, 7(1), 7-19.
- Boussauw, K., van Meeteren, M., & Witlox, F. (2014). Short trips and central places: The home-school distances in the Flemish primary education system (Belgium). *Applied Geography*, 53, 311-322.
- Burgess, S., Greaves, E., Vignoles, A., & Wilson, D. (2011). Parental choice of primary school in England: what types of school do different types of family really have available to them?. *Policy Studies*, 32(5), 531-547.
- Burgess, S., Greaves, E., Vignoles, A., & Wilson, D. (2015). What parents want: School preferences and school choice. *The Economic Journal*, 125(587), 1262-1289.
- Ball, S., Maguire, M., & Goodson, I. (Eds.). (2014). *Education, capitalism and the global crisis*. Routledge.
- Condeço-Melhorado, A., Gutiérrez Puebla, J., & García Palomares, J. C. (2013). Influence of distance decay on the measurement of spillover effects of transport infrastructure: a sensitivity analysis. *GeoFocus* (1), 22-47.
- Dej M., & Guzik R. (2011). The rural challenge: Spatial accessibility to secondary education in Poland within the transformation period. In Á. Eröss, D. Karácsonyi, (Eds.), *Geography in Visegrad and neighbour countries: Regional socio-economic processes in Central and Eastern Europe - 20 years in transition and 2 years in global economic crisis* (pp. 65-74). Budapest, Hungary: Geographical Research Institute.
- De Boer, E. (2010). *School concentration and school travel* (PhD thesis). Delft University of Technology.

- 
- De Witte, K., & Van Klaveren, C. (2014). The influence of closing poor performing primary schools on the educational attainment of students. *Educational Research and Evaluation*, 20(4), 290-307.
- Ermagun, A., & Samimi, A. (2015). Promoting active transportation modes in school trips. *Transport policy*, 37, 203-211.
- Ewing, R., & Greene, W. (2003). *Travel and environmental implications of school siting*. Environmental Protection Agency.
- Hamnett, C., & Butler, T. (2011). 'Geography matters': the role distance plays in reproducing educational inequality in East London. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 36(4), 479-500.
- Hillman, N. W. (2016). Geography of college opportunity: The case of education deserts. *American Educational Research Journal*, 53(4), 987-1021.
- Commissione Europea (2015). *Education and training policy*. Available at: [http://ec.europa.eu/dgs/education\\_culture/repository/education/library/publications/monitor15\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/dgs/education_culture/repository/education/library/publications/monitor15_en.pdf)
- Harris, R., & Johnston, R. (2011). Comments on Singleton et al. Computers, Environment and Urban Systems 35, 2010 "Estimating Secondary School Catchment Areas and the Spatial Equity of Access". *Computers, Environment and Urban Systems*, 35(6), 493-494.
- Hastings, J. S., & Weinstein, J. M. (2008). Information, school choice, and academic achievement: Evidence from two experiments. *The Quarterly journal of economics*, 123(4), 1373-1414.
- Iacono, M., Krizek, K. J., & El-Geneidy, A. (2010). Measuring non-motorized accessibility: issues, alternatives, and execution. *Journal of Transport Geography*, 18(1), 133-140.
- Kucerová, S., & Kucera, Z. (2012). Changes in the spatial distribution of elementary schools and their impact on rural communities in Czechia in the second half of the 20th century. *Journal of Research in Rural Education (Online)*, 27(11), 1.
- Kwan, M. P. (2012). The uncertain geographic context problem. *Annals of the Association of American Geographers*, 102(5), 958-968.

- 
- Lin, J. J., Huang, Y. C., & Ho, C. L. (2014). School accessibility and academic achievement in a rural area of Taiwan. *Children's Geographies*, 12(2), 232-248.
- Lin, T. G., Xia, J. C., Robinson, T. P., Oлару, D., Smith, B., Taplin, J., & Cao, B. (2016). Enhanced Huff model for estimating Park and Ride (PnR) catchment areas in Perth, WA. *Journal of Transport Geography*, 54, 336-348.
- Litman (2007). Evaluating Transportation Equity: Guidance for Incorporating Distributional Impacts in Transportation Planning. Victoria Transport Policy Institute.
- Liu, T. (2012). Combining GIS and the Huff Model to Analyze Suitable Locations for a New Asian Supermarket in the Minneapolis and St. Paul, Minnesota USA. *Papers in Resource Analysis*, 14, 8-19.
- Luo, W., & Qi, Y. (2009). An enhanced two-step floating catchment area (E2SFCA) method for measuring spatial accessibility to primary care physicians. *Health & place*, 15(4), 1100-1107.
- MIUR (2016). Iscrizioni alle scuole dell'infanzia e alle scuole di ogni ordine e grado per l'anno scolastico 2017/2018. Available at: [http://www.istruzione.it/allegati/2016/CM\\_ISCRIZIONI\\_2017-18.pdf](http://www.istruzione.it/allegati/2016/CM_ISCRIZIONI_2017-18.pdf)
- Mitra, R., Buliung, R., & Roorda, M. (2010). Built environment and school travel mode choice in Toronto, Canada. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2156), 150-159.
- Mondzech, J., & Sester, M. (2011). Quality analysis of OpenStreetMap data based on application needs. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 46(2), 115-125.
- Müller, S. (2011). Assessment of school closures in urban areas by simple accessibility measures. *Erdkunde*, 65(4), 401e414.
- Müller, S., Tscharaktschiew, S., & Haase, K. (2008). Travel-to-school mode choice modelling and patterns of school choice in urban areas. *Journal of Transport Geography*, 16(5), 342-357.

- 
- Pelzer, P., Geertman, S., van der Heijden, R., & Rouwette, E. (2014). The added value of planning support systems: A practitioner's perspective. *Computers, Environment and Urban Systems*, 48, 16-27.
- OCED (2012). *School Choice and Equity. Current Policies in OECD Countries and a Literature Review*. Available at: [http://www.oecd-ilibrary.org/education/school-choice-and-equity\\_5k9fq23507vc-en](http://www.oecd-ilibrary.org/education/school-choice-and-equity_5k9fq23507vc-en)
- Signorino, G., Pasetto, R., Gatto, E., Mucciardi, M., La Rocca, M., & Mudu, P. (2011). Gravity models to classify commuting vs. resident workers. An application to the analysis of residential risk in a contaminated area. *International journal of health geographics*, 10(1), 11.
- te Brömmelstroet, M., & Bertolini, L. (2008). Developing land use and transport PSS: Meaningful information through a dialogue between modelers and planners. *Transport Policy*, 15(4), 251-259.
- te Brömmelstroet, M. T., & Schrijnen, P. M. (2010). From planning support systems to mediated planning support: a structured dialogue to overcome the implementation gap. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 37(1), 3-20.
- Tobler W., (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*, 46(2): 234-240.
- Turley, R. N. L. (2009). College proximity: Mapping access to opportunity. *Sociology of Education*, 82(2), 126-146.
- UNESCO (2015). Rethinking Education. Available at: <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002325/232555e.pdf>
- Vale, D. S., & Pereira, M. (2016). The influence of the impedance function on gravity-based pedestrian accessibility measures: A comparative analysis. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 0265813516641685.
- Wang, L. (2007). Immigration, ethnicity, and accessibility to culturally diverse family physicians. *Health & place*, 13(3), 656-671.
- Wang, X., Meng, Q., & Miao, L. (2016). Delimiting port hinterlands based on intermodal network flows: Model and algorithm. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 88, 32-51.

- 
- Williams, S., & Wang, F. (2014). Disparities in accessibility of public high schools, in metropolitan Baton Rouge, Louisiana 1990–2010. *Urban Geography*, 35(7), 1066-1083.
- World Economic Forum (2016). The Global Competitiveness Report 2016–2017. Available at: <https://www.weforum.org/reports/the-global-competitiveness-report-2016-2017-1>
- Wilson, W. J. (1987). *The Truly Disadvantaged: The Inner City, the Underclass, and Public Policy*. Chicago: University of Chicago Press.
- Yang, Y., & Diez-Roux, A. V. (2012). Walking distance by trip purpose and population subgroups. *American journal of preventive medicine*, 43(1), 11-19.
- Zandbergen, P. A., & Ignizio, D. A. (2010). Comparison of dasymetric mapping techniques for small-area population estimates. *Cartography and Geographic Information Science*, 37(3), 199-214.
- Zielstra, D., & Hochmair, H. (2011). Comparative study of pedestrian accessibility to transit stations using free and proprietary network data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2217), 145-152.

## ***Capitolo 3***

**Una metodologia di analisi dinamica  
dell'accessibilità ai servizi sanitari.  
Applicazione al caso studio di  
Madrid ed implicazioni per le  
pratiche di pianificazione**



---

## **Abstract**

### Background

Garantire una dotazione di spazi e servizi sanitari organizzati e rapportati per quantità e localizzazione alla intensità e alla distribuzione spaziale della domanda urbana rappresenta una delle più importanti sfide per le discipline che si occupano del governo delle trasformazioni territoriali. Negli ultimi anni il tema dell'accessibilità ai servizi sanitari ha suscitato un crescente interesse scientifico e diversi metodi sono stati messi a punto per supportare la pianificazione dei servizi sanitari basati sul concetto di accessibilità.

### Problem statement

I metodi proposti in letteratura non tengono adeguatamente in conto degli aspetti temporali connessi all'accesso e al funzionamento dei servizi sanitari, (i.e. orari di apertura al pubblico dei servizi, spostamenti degli utenti serviti nel corso della giornata e variazione delle performance delle reti di trasporto).

### Planning and formulating the approach

Il presente capitolo propone una metodologia per l'analisi dinamica dell'accessibilità ai servizi sanitari in cui: i) la variabilità temporale nella posizione degli utenti potenziali è descritta mediante l'analisi delle tracce digitali disseminate dagli stessi in diversi luoghi della città; ii) le variazioni giornaliere delle reti di trasporto sono analizzate mediante la costruzione di un network dinamico e multimodale; iii) gli orari di apertura e chiusura dei centri di salute, unitamente ai metri quadri di superficie utile destinata ai servizi sanitari sono integrati in una nuova misura di accessibilità time-sensitive.

### Data acquisition and analysis

L'approccio formulato è applicato al caso studio dell'area urbana di Madrid. L'applicazione è basata sull'integrazione di nuove fonti di dati aperti e tool geospaziali sviluppati ad hoc. In particolare l'applicazione integra mappe a contenuto libero del portale OSM, dati in formato GTFS del Consorzio Regionale di Trasporto, dati geolocalizzati provenienti dal social network Twitter e dati catastali con tool sviluppati per valutare l'accessibilità in diversi istanti temporali e calcolare metriche sinottiche dei livelli di accessibilità su prefissati intervalli temporali.

### Drawing conclusion

La messa a punto di una metodologia di analisi dinamica permette di valutare le variazioni di accessibilità nello spazio e nel tempo e di supportare la definire strategie di intervento innovative e a costi contenuti quali ad esempio la modifica degli orari di apertura e chiusura delle strutture.

---

### 3.1 Background e obiettivi del lavoro

Garantire una dotazione di spazi e servizi sanitari organizzati e rapportati per quantità e localizzazione alla intensità e alla distribuzione spaziale della domanda urbana rappresenta una delle più importanti sfide per le discipline che si occupano del governo delle trasformazioni territoriali (Barton, e Tsourou, 2013). Tale sfida risulta essere ancora più pressante se analizzata alla luce dei recenti cambiamenti demografici, caratterizzati da un progressivo invecchiamento della popolazione urbana (United Nation, 2015) e da una crescente (ed in parte conseguente) domanda di prestazioni mediche (World Health Organization, 2015). Recenti ricerche hanno inoltre dimostrato che un scarso accesso ed una insufficiente dotazione di strutture sanitarie determina un minore utilizzo di queste ultime che a sua volta si traduce in minori cure e prevenzione e dunque maggiori rischi per la salute umana (Gage e Calixte, 2006; Hiscock et al., 2008; Dai, 2010; Jardin et al., 2014).

Negli ultimi anni il tema dell'accessibilità ai servizi sanitari ha suscitato un crescente interesse scientifico e diversi metodi sono stati messi a punto per supportare la pianificazione dei servizi sanitari basati sul concetto di accessibilità. Tali metodi variano, per complessità, da semplici rapporti tra offerta di servizi e utenti servita a più complessi modelli gravitazionali che cercano un equilibrio tra l'intensità e/o la qualità dei servizi offerti ed il tempo necessario per raggiungerli (Neutens, 2015). La tabella 3.1 propone una sintesi della letteratura scientifica più recente sul tema ed evidenzia in che modo i diversi autori hanno rappresentato la domanda e l'offerta di spazi e servizi sanitari, la separazione spaziale tra utenti servitaie offerta di servizi e le principali innovazioni metodologiche. La tabella mostra come la recente letteratura scientifica si sia concentrata su diverse tipologie di dotazioni sanitarie quali ospedali, cliniche, studi medici e ambulatori. L'offerta di spazi e servizi è stata rappresentata in letteratura in funzione del numero di medici presso le strutture sanitarie o, nel caso degli ospedali, del numero di posti letto disponibili. La domanda di servizi è fatta coincidere, nella maggior parte dei casi, con la popolazione residente. In alcuni studi recenti, inoltre, la domanda è stata ulteriormente ridefinita sulla base delle caratteristiche socio-economiche della popolazione residenziale quali, ad esempio, l'età, il sesso o il reddito.

| <i>Autori<br/>(anno)</i>     | <i>Tipologia di dotazione e<br/>servizi offerti</i> |                                   | <i>Rappresentazione</i>                            |                              |   | <i>Indicatori di<br/>accessibilità e<br/>contributi<br/>metodologici</i>                          |
|------------------------------|---|-----------------------------------|--|------------------------------|---|---|
|                              | <i>Spazi</i>  | <i>Servizi</i>                    | <i>Domanda</i>                                     | <i>Offerta</i>               | <i>Separazione<br/>spaziale</i>                 |   |
| Fyer et al.<br>(1999)        | Studi medici  | Servizi sanitari di base          | Popolazione residente                              | Numero medici di base        | Distanza euclidea                               | Accessibilità come rapporto tra offerta di servizi e popolazione servita                          |
| Luo and Wang<br>(2003)       | Studi medici  | Servizi sanitari di base          | Popolazione residente                              | Numero medici di base        | Distanza su rete                                | Tecnica two step floating catchment area (2SFCA)  |
| Apparicio et al.<br>(2008)   | Ambulatori  | Servizi sanitari specialistici    | -  | Numero di facilities         | Distanza su rete, euclidea e "Manhattan"        | Impatto di diverse rappresentazioni della separazione spaziale sull'accessibilità                 |
| Luo e Qi<br>(2009)           | Studi medici  | Servizi sanitari di base          | Popolazione residente                              | Numero medici di base        | Tempo in auto                                   | Introduzione di una funzione di decadimento nella 2SFCA   |
| Bissonnette et al.<br>(2012) | Cliniche  | Servizi sanitari di specialistici | Popolazione residente + variabili socio-economiche | Numero medici di base        | Distanza su rete                                | Domanda di servizi ridefinita sulla base delle caratteristiche socio-economiche della popolazione |
| Mao e Nekorchuk<br>(2013)    | Ospedali  | Vari                              | Popolazione residente                              | Posti letto                  | Tempo in auto e tempo con il trasporto pubblico | Accessibilità multimodale   |
| Siegel et al. (2016)         | Poliambulatori                                      | Servizi sanitari specialistici    | Popolazione residente                              | Numero di medici specialisti | Tempi in auto                                   | Complementarietà dei servizi offerti ed accesso a diverse tipologie di servizi                    |

*Tabella 3.1 Sintesi della letteratura scientifica recente*

---

La separazione spaziale è misurata come una funzione della distanza euclidea o della distanza Manhattan nei primi studi; mentre in studi più recenti, e grazie alla disponibilità di nuovi dati sono state impiegate distanze su rete o tempi di spostamento in auto o, più raramente, con il trasporto pubblico. I metodi proposti in letteratura risultano particolarmente utili per comprendere la complessa rete di relazioni che esiste tra offerta di servizi, utenti serviti e reti di trasporto, identificare carenze localizzative e distributive ed allocare in maniera efficiente attrezzature e servizi. Tuttavia tali metodi sono caratterizzati da una visione “statica” dell’accessibilità in cui offerta di servizi, popolazione servita e performance delle reti di trasporto sono considerati costanti durante l’intero arco della giornata.

La localizzazione della popolazione servita può invece variare sensibilmente durante la giornata. Ad esempio un’elevata concentrazione di popolazione in aree urbane residenziali può essere osservata principalmente durante le prime ore del mattino o la sera, quando gran parte dei residenti rientra dal luogo di lavoro o di studio. Pattern opposti potranno invece essere osservati per le aree con destinazione d’uso prevalentemente direzionale, in cui la concentrazione di addetti si manifesta principalmente nelle ore centrali della giornata. Infine, un comportamento ancora diverso sarà osservabile in aree commerciali o in aree caratterizzate da un’elevata presenza di attività per il tempo libero e lo svago (Becker et al., 2011; Calabrese et al., 2011). L’offerta di servizi sanitari, d’altro canto, può anch’essa variare durante la giornata. Gli orari di apertura e chiusura delle attività sanitarie determinano infatti che la possibilità di interazione tra domanda ed offerta di servizi si realizzi soltanto in alcuni momenti della giornata, mentre i turni di lavoro del personale possono determinare una maggiore o minore intensità dei servizi offerti. Infine, i tempi di spostamento necessari per raggiungere le strutture dove tali servizi vengono erogati sono caratterizzati da fluttuazioni più o meno regolari che dipendono dai fenomeni di congestione stradale per gli utenti che decidono di raggiungere le strutture sanitarie con l’auto o da variazione dei tempi di attesa e di viaggio per gli utenti che invece utilizzano il trasporto pubblico. In definitiva, poiché le componenti dell’accessibilità ai servizi sanitari (domanda, offerta e separazione spaziale) variano durante il corso della giornata, l’accessibilità può essere studiata come un fenomeno dinamico.

---

Tuttavia i modelli presenti in letteratura hanno prevalentemente proposto una visione “statica”.

A partire da tali premesse, il presente capitolo mette a punto una nuova metodologia in grado di supportare la pianificazione dei servizi sanitari e di tenere adeguatamente conto degli aspetti temporali connessi all’accesso e al funzionamento delle strutture sanitarie. In particolare modo il presente studio propone uno strumento di supporto alle decisioni sviluppato in ambiente GIS, ed in grado di stimare l’accessibilità in diversi istanti temporali e produrre metriche sinottiche dei livelli di accessibilità ai servizi sanitari su predefiniti archi temporali.

Il presente studio propone quindi tre importanti innovazioni metodologiche rispetto allo stato dell’arte attuale: i) la variabilità temporale nella posizione e nell’intensità della domanda potenziale è tenuta in conto e descritta mediante l’analisi delle tracce digitali disseminate dagli utenti urbani in diversi luoghi della città; ii) le fluttuazioni temporali nelle performance delle infrastrutture di trasporto ( ed in particolar modo di trasporto pubblico) sono opportunamente considerate mediante la costruzione di un network dinamico e multimodale in cui il tempo necessario per raggiungere le dotazioni urbane dislocate sul territorio è funzione dell’orario della giornata; iii) gli orari di apertura al pubblico dei servizi unitamente ai metri quadri di superficie utile destinati ad attività sanitarie sono integrati in una nuova misura di accessibilità.

L’utilità della metodologia proposta è testata mediante l’applicazione ad un caso studio nell’area urbana di Madrid. Le implicazioni per le pratiche di pianificazione sono discusse mediante lo sviluppo di diversi scenari di intervento sul sistema delle dotazioni attuali e mediante il confronto tra i risultati della metodologia proposta con quelli ottenuti utilizzando tecniche “tradizionali”.

A parte la presente introduzione, il lavoro è strutturato nel seguente modo. Nel paragrafo 3.2 vengono presentate le caratteristiche principali dell’area di studio. Nel terzo paragrafo viene descritto il processo di acquisizione e trattamento dei dati utilizzati nella presente analisi. La metodologia proposta è dettagliata nel quarto paragrafo. Il paragrafo 3.5 discute i risultati dell’applicazione della metodologia proposta al caso studio della città di Madrid. Nel sesto paragrafo è proposta una riflessione sulle implicazioni della metodologia proposta per le pratiche di

---

pianificazione. Infine nel paragrafo 3.7 vengono presentate le principali conclusioni del lavoro, descritte le limitazioni del presente studio e forniti alcuni spunti per future ricerche.

### **3.2 Area di studio**

L'area di studio coincide con l'area urbana di Madrid, in Spagna, che comprende una popolazione residente di 2.896.530 abitanti, distribuita su di una superficie di circa 256 km quadrati e delimitata dall'anello circolare dell'autostrada M40. Tale delimitazione, utilizzata anche in altri precedenti lavori (e.g. Martin et al., 2010; Di Ciommo & Lucas, 2014) risulta essere particolarmente utile poiché l'anello autostradale separa di fatto il territorio densamente urbanizzato della capitale spagnola dall'area extra urbana, caratterizzata da ampie porzioni di territorio poco o del tutto non urbanizzate. Circa il 65% della popolazione residente nell'area di studio risulta essere pendolare, impiegando mediamente 35 minuti per raggiungere il luogo di studio o di lavoro abituale (Gutiérrez-Domènech, 2008). In aggiunta al fenomeno del pendolarismo, la Spagna, ed in particolar modo la città di Madrid è caratterizzata da lunghe giornate lavorative e da una popolazione residente che impiega larga parte della giornata al di fuori del proprio luogo di residenza (EUROSTAT, 2011).

Con riferimento ai servizi sanitari, il Governo Regionale ha compreso tali dinamiche e, con una legge del 2009, ha sancito il superamento dei bacini di utenza, introducendo il principio di libera scelta e consentendo dunque ai residenti della regione di poter scegliere il centro medico presso il quale richiedere assistenza medica specialistica tra i diversi centri localizzati all'interno della Comunità di Madrid, in maniera indipendente dal luogo di residenza (Comunità di Madrid, 2009).

L'area di studio è servita da una fitta rete di trasporto pubblico che, con tredici linee di metro ed oltre trecento stazioni, fanno della rete metropolitana di Madrid la terza rete più estesa in Europa e tra le più estese al mondo (UITP, 2015). Ad esse si affiancano due linee di metro leggera ed otto linee di treni urbani, oltre a circa 170 linee di bus urbani o di collegamento con le città dell'area metropolitana (CRTM, 2015).

L'area di studio è stata suddivisa in una griglia regolare di 1587 quadrati di lato pari a 400 metri. La figura 3.1 mostra l'area di studio e le caratteristiche localizzative e dimensionali dei centri di salute.

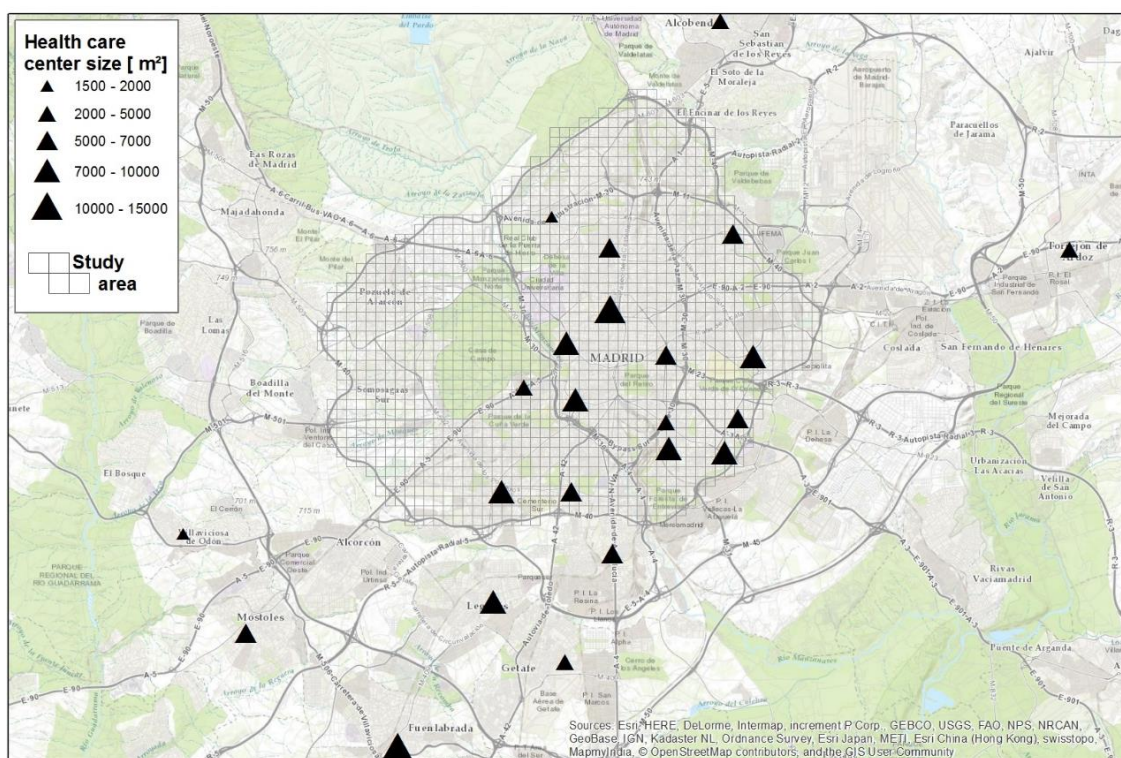


Figura 3.1 Area di studio e localizzazione dei centri di salute

### 3.3 Acquisizione e trattamento dei dati

La presente ricerca è basata sull'utilizzo di dati aperti, generalmente reperibili per qualsiasi città e che per tanto rendono la metodologia proposta replicabile in diversi contesti urbani, permettendo inoltre di condurre studi comparativi tra diverse aree urbane. Il presente paragrafo descrive l'acquisizione ed il trattamento dei dati utilizzati per modellare l'accessibilità dinamica ai centri di salute specialistici con il trasporto pubblico. La tabella 3.2 ne dettaglia le fonti e la tipologia di dati.

I centri di salute (*Centros de Especialidades*) forniscono assistenza medica specialistica ambulatoriale, ovvero quell'insieme “*di prestazioni mediche finalizzate alla prevenzione, alla diagnosi, alla cura e alla riabilitazione del paziente ed erogate da medici specialisti*” (Comunità di Madrid, 2009). Ventitré centri di salute sono stati

presi in considerazione in questo studio. Di essi sedici ricadono all'interno dell'area di studio, mentre i rimanenti sette sono ad essa esterni. La scelta di tenere in conto anche dei centri di salute esterni all'area di studio è finalizzata ad evitare gli “*effetti di bordo*” a cui possono essere soggette le analisi spaziali (ed in particolar modo le analisi di accessibilità), ovvero le distorsioni dei risultati delle analisi per le zone situate lungo il perimetro dell'area di studio (Luo & Wang 2003) per le quali, in assenza di tale precauzione, le analisi potrebbero condurre a livelli artificialmente più bassi.

| <i>Dati</i>   | <i>Formato</i> | <i>Fonti</i>                                  |
|---|----------------|---|
| Caratteristiche distributive e destinazione d'uso degli edifici | shape file     | Portale della Direzione Generale del Catasto  |
| Indirizzi dei centri sanitari ed orari di apertura al pubblico  | tabelle        | Portale della Salute della Comunità di Madrid |
| Percorsi, fermate e orari del trasporto pubblico                | GTFS           | Consorzio Regionale dei Trasporti di Madrid   |
| Rete dei percorsi pedonali (o ad uso misto)                     | shape file     | OpenStreetMap                                 |
| Popolazione residente   | shape file     | Istituto Nazionale di Statistica              |
| Tracce digitali della popolazione (tweet geolocalizzati)        | csv            | Twitter API                                   |

*Tabella 3.2 Dati, formato e fonti*

I dati relativi a tali centri sono stati reperiti attraverso il Portale della Salute della Comunità di Madrid ([www.madrid.org/sanidad](http://www.madrid.org/sanidad)) ed il Catasto degli Immobili del Portale del Ministero delle Finanze e della Pubblica Amministrazione ([www.catastro.meh.es](http://www.catastro.meh.es)). La prima fonte di dati, in formato tabellare, fa riferimento alle coordinate (latitudine e longitudine) dei ventitré centri analizzati ed agli orari di apertura e chiusura di ciascun centro medico; la seconda fonte, in formato shape file, contiene le informazioni catastali ed in particolare la superficie utile lorda (SUL) per le diverse destinazioni d'uso degli immobili all'interno della Comunità di Madrid. La tabelle contenente le coordinate di ciascun centro è stata importata in ambiente GIS e



trasformata in una *future class* di elementi puntuali, rappresentativi della localizzazione dei centri di salute. Un join spaziale tra gli elementi puntuali appena introdotti e gli elementi areali descrittivi della proiezione sul piano di campagna del volume degli immobili ha permesso di associare a ciascun elemento puntuale (localizzazione) la superficie utile lorda destinata ad attività sanitaria e gli orari di apertura e chiusura (attributi) del centro di salute corrispondente.

Gli orari dei centri, in formato data (hh:mm:ss), sono stati convertiti in numero intero. Al valore 00:00:00 è stato associato l'intero 0. Ad ogni orario  $m$  successivo il valore:

$$m = hh * 60 + mm + intero \left( \frac{ss}{60} \right)$$

Tale conversione è stata necessaria per poter operare le query logiche descritte nel paragrafo successivo. A seguire è riportato un esempio della tabella degli attributi associati allo shapefile dei centri di salute così ottenuto.

| <i>ID</i> | <i>Nome</i>  | <i>t open</i> | <i>t close</i> | <i>t' open</i> | <i>t' close</i> | <i>SUL</i> |
|-----------|--|---------------|----------------|----------------|-----------------|------------|
| 1         | Centro de Especialidades Moratalaz                     | 09:00         | 19:00          | 540            | 1140            | 5340       |
| 2         | Centro de Especialidades Peña Prieta - Hermanos Sangr6 | 08:00         | 21:00          | 480            | 1260            | 4686       |
| 3         | Centro de Especialidades Vicente Soldevilla            | 08:00         | 21:00          | 480            | 1,260           | 7199       |

Tabella 3.3 Attributi dei centri di salute

L'accesso ai centri di salute è modellato mediante la costruzione di un network di trasporto pubblico dinamico e multimodale. Il network è stato costruito a partire da due basi dati: le mappe a contenuto libero del sito OpenStreetMap ([www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org)), scaricate in formato shape file, e i dati della rete di trasporto pubblico, in formato General Transit Feed Specification (GTFS), scaricati dal portale open data del Consorzio Regionale dei Trasporti di Madrid (CRTM) (<http://data.crtm.opendata.arcgis.com>). Il formato GTFS costituisce uno standard de facto per la rappresentazione delle reti di trasporto pubblico e delle informazioni geografiche ad esse associate ed è stato sviluppato da Google nel 2005 in partnership con TriMet, la società di trasporto pubblico della città di Portland (Rhodes, 2010). I

---

dati GTFS vengono utilizzati dalle piattaforme Google Maps e Google Transit per calcolare e visualizzare i percorsi ed i tempi di percorrenza con il trasporto pubblico tra due o più punti della superficie terrestre. Ad oggi circa 5.900 agenzie di trasporto pubblico locale hanno realizzato banche dati in questo formato e di queste, oltre mille (principalmente negli Stati Uniti) hanno deciso di rendere tali dati aperti e distribuirli con licenza Creative Commons Attribution 3.0 (Google,2016). L'apertura di tali dati al pubblico generale, fortemente sostenuta da organizzazioni non governative, enti pubblici ed associazioni per il dato aperto (Mc Hugh, 2013), ha determinato negli ultimi anni la possibilità di sviluppare numerose applicazioni commerciali. Recentemente, questi dati sono stati utilizzati anche nel settore della ricerca scientifica (e.g. Faber et al., 2014; Boisjoly e El-Geneidy, 2016), rappresentando di fatto una nuova e importante fonte di informazioni per la comunità scientifica internazionale. Il formato GTFS è costituito da una collezione di file csv, ciascuno dei quali contiene informazioni sulle fermate, sui percorsi, sugli orari e sulle frequenze del trasporto collettivo. Nel presente studio i file GTFS sono stati utilizzati per creare in ambiente GIS due collezioni di *feature*, una relativa alle fermate del trasporto collettivo ed una relativa ai percorsi. E' stato inoltre creato un database SQL con gli orari del trasporto pubblico. Le operazioni appena descritte sono state svolte utilizzando il tool *AddGTFSstoNetworkDataset* recentemente sviluppato da ESRI e disponibile su GitHub (sotto licenza Apache). I dati scaricati dal portale OSM sono stati invece utilizzati per creare la rete dei percorsi pedonali, utilizzando un procedimento basato su query e correzioni topologiche analoga a quanto descritto nel capitolo 2 per la costruzione dei network pedonali delle aree metropolitane di Napoli e Milano. Ciascun nodo rappresentativo delle fermate del trasporto pubblico è stato proiettato ortogonalmente sull'arco pedonale più vicino e connesso mediante un arco di salita/discesa alla rete pedonale. Un *network dataset* è stato creato utilizzando le cinque collezioni di *feature* (fermate, percorsi pedonali, percorsi del trasporto pubblico, archi connettori e nodi fittizi) e la tabella SQL precedentemente descritta. La figura 3.2 rappresenta il network multimodale appena descritto.

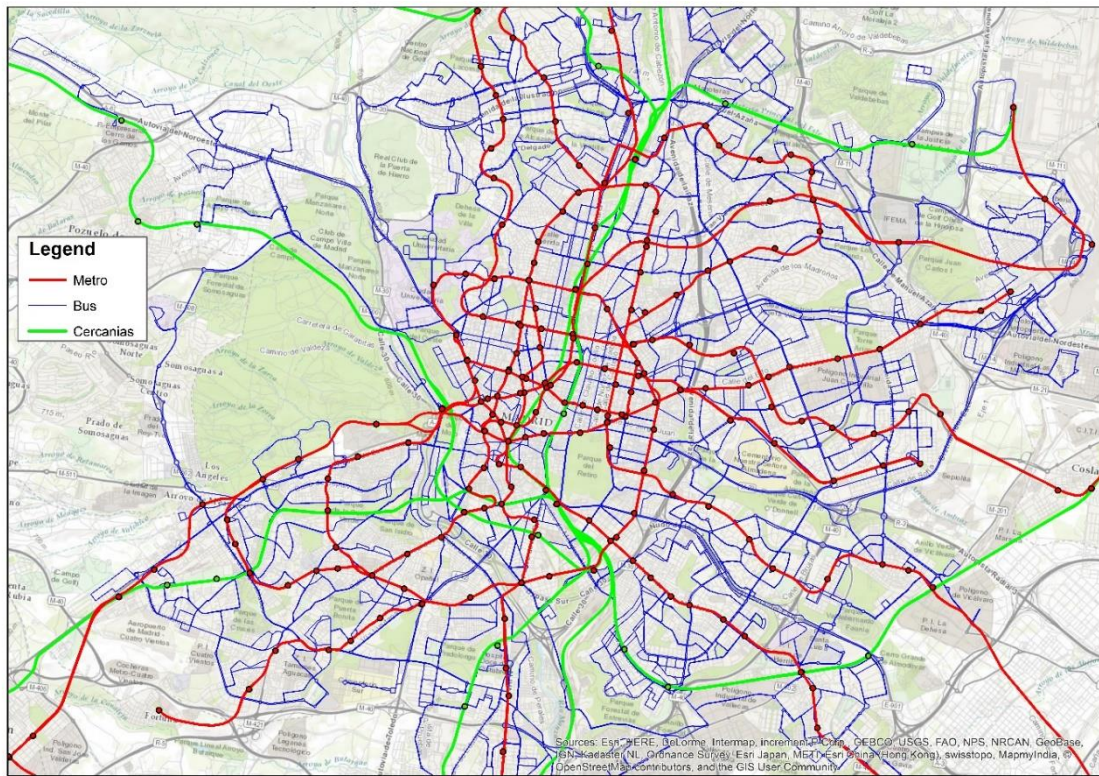


Figura 3.2 Rete di trasporto pubblico della città di Madrid

L'intensità e la posizione durante l'arco della giornata della domanda potenziale di servizi è descritta mediante l'analisi delle tracce digitali disseminate dagli utenti urbani in diversi luoghi della città durante undici mesi di osservazione nell'anno 2014. In particolare modo, è stato utilizzato un database in formato txt di *tweet* scaricati tramite l'API di Twitter (<https://dev.twitter.com/index>) e relativi al periodo 01/01/2014 – 01/12/2014. Il database in questione è composto da circa sette milioni di *tweet*, ciascuno dei quali contiene diverse informazioni, incluso un identificativo unico del profilo Twitter (user id), le coordinate (latitudine e longitudine) associate a ciascun *tweet* e la data e l'ora in cui l'utente ha *twittato*.

Verosimilmente una parte di queste tracce digitali è lasciata da turisti o utenti temporali della città che, oltre a costituire un rumore di fondo, si ritiene possano creare un bias nella rappresentazione dell'intensità della domanda (potenziale) di dotazioni. Per identificare dunque la popolazione di turisti, una query sul database ha permesso di eliminare i record associati agli utenti che hanno *twittato* durante un solo mese o in date a cavallo tra due mesi successivi (Palomares et al., 2015) corrispondenti a circa



un decimo del totale dei record presenti nel database. La tabella così ottenuta è stata importata in ambiente GIS e trasformata in una *future class* di elementi puntuali rappresentativi della posizione di ciascun utente alle diverse ore della giornata. Il risultato di tale operazione è riportato in figura 3.3. I punti così ottenuti sono stati successivamente aggregati per user id e per intervalli temporali di quindici minuti ed associati a ciascuna delle 1587 celle regolari in cui è stata suddivisa l'area di studio. L'orario di ciascun tweet in formato data è stato convertito un numero intero in maniera analoga a quanto descritto in precedenza per gli orari di apertura e chiusura del centri di salute.

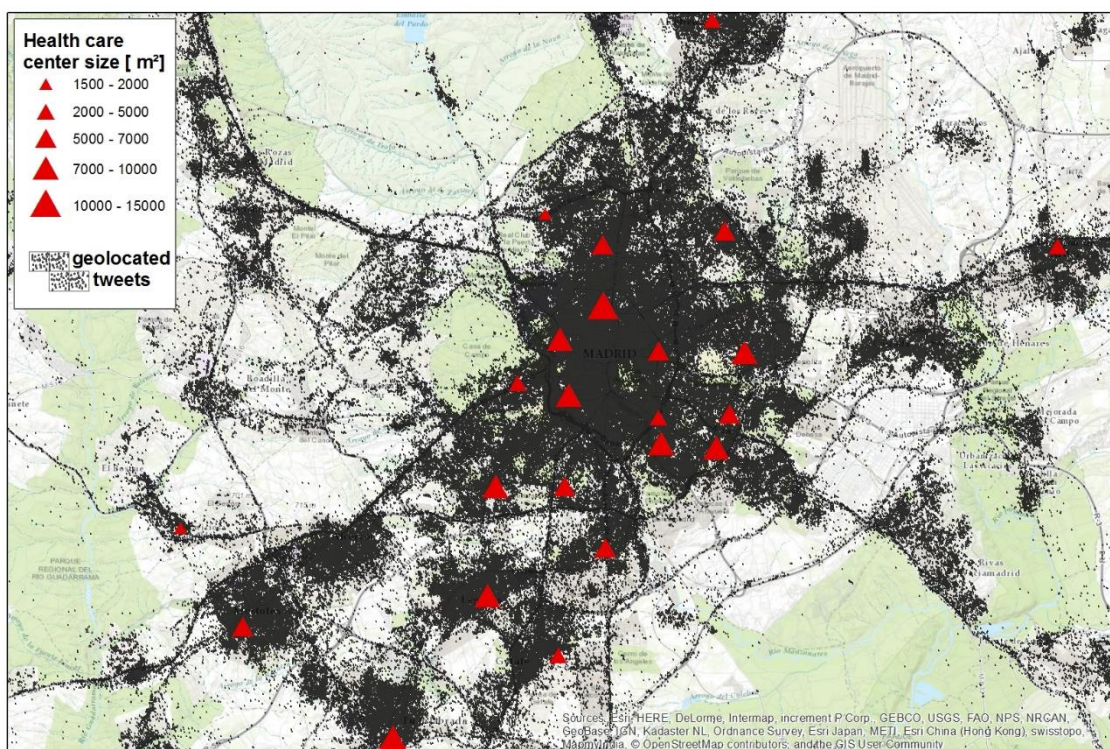


Figura 3.3 Geolocalizzazione delle tracce digitali

La validità dell'utilizzo di tracce digitali come *proxy* della localizzazione e dell'intensità della domanda di spazi e servizi è stata valutata mediante una analisi di correlazione tra la popolazione residente in ciascuna cella regolare e il numero di utenti che hanno *twittato* nella medesima cella tra le ore 22:00 e le ore 08:00 del giorno feriale medio. La popolazione residente è stata reperita dal portale dell'Istituto Spagnolo di Statistica (<http://www.ine.es>) in formato shape file e successivamente redistribuita sui poligoni della maglia regolare, mediante una procedura di *dasymetric*

*mapping* analoga a quanto descritto al capitolo 2 e che però utilizza la superficie utile lorda residenziale come informazione ancillare per redistribuire la popolazione residente. I risultati delle analisi di correlazione sono riportati in figura 3.4 e mostrano una correlazione elevata tra le due variabili analizzate ( $r = 0,82$ ) e che, se pur con le imitazioni discusse nel paragrafo 2.7, ci permette di affermare che, nel presente caso studio, le tracce digitali rappresentano una valida approssimazione della localizzazione degli utenti urbani e che esse inoltre permettono di cogliere degli aspetti legati alla dinamicità delle città che non sono apprezzabili utilizzando fonti di dati “tradizionali”.

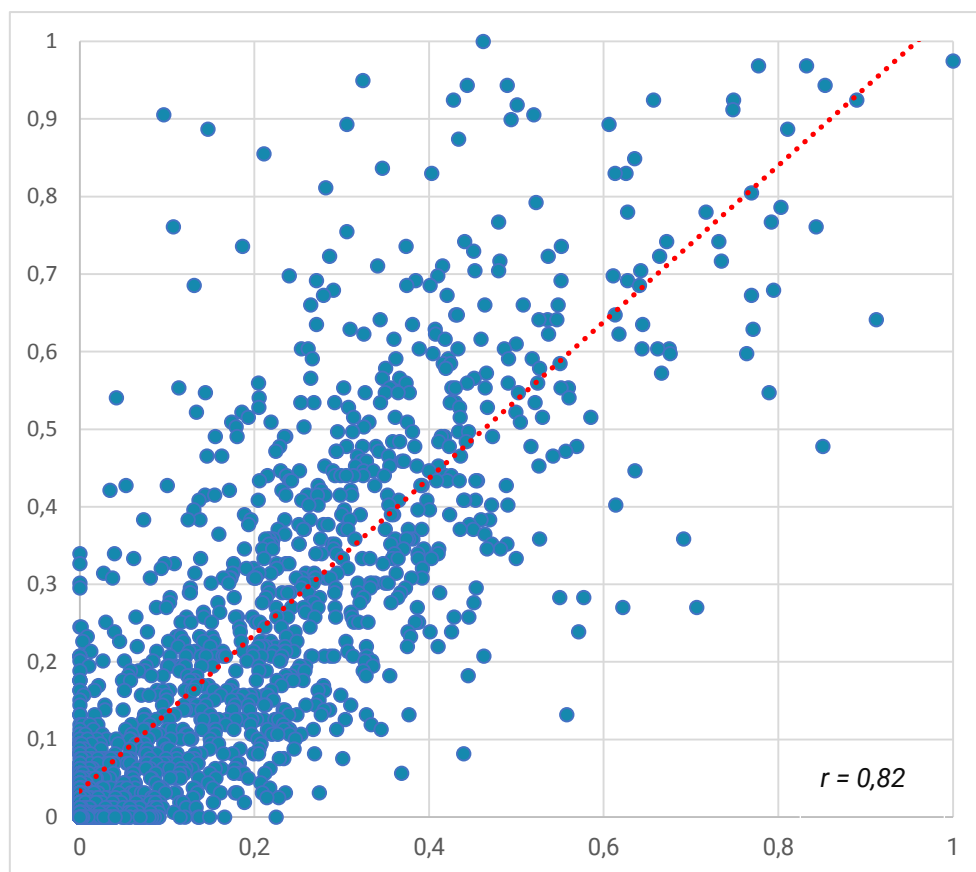


Figura 3.4 Scatter plot Popolazione residente (asse x) vs utenti Twitter (asse y)

### 3.4 Metodologia

Il presente paragrafo descrive la metodologia messa a punto per l'analisi dell'accessibilità dinamica ai centri di salute nell'area urbana di Madrid. Inizialmente

---

viene descritta la procedura per la stima dei tempi di spostamento con il trasporto pubblico, utilizzando il *network dataset* presentato nel paragrafo precedente. Successivamente viene introdotta una formulazione “statica” di accessibilità, corrispondente alle misure comunemente utilizzate in letteratura (e.g. Apparico, 2008; Dewulf, 2013) e descritte nel paragrafo 3.1, in cui l’accessibilità è funzione delle caratteristiche distributive e dimensionali delle dotazioni sanitarie presenti sul territorio e di un tempo di spostamento considerato costante durante l’intero arco della giornata. Nella parte successiva del paragrafo viene introdotta una nuova formulazione definita “dinamica”, in cui l’accessibilità è una funzione, oltre che delle precedenti caratteristiche, anche degli orari di apertura e chiusura dei centri di salute, della variazione temporale delle performance della rete del trasporto pubblico e delle variazioni nell’intensità e distribuzione spaziale della domanda urbana. Per descrivere la formulazione proposta è opportuno introdurre alcune notazioni. In particolare, si definisce:

- $P_i$  la popolazione residente della cella  $i$ ;
- $O_j$  la superficie utile lorda destinata ad attività sanitarie specialistiche del centro di salute  $j$ ;
- $t_j^{open}$  e  $t_j^{close}$  rispettivamente gli orari di apertura e chiusura del centro di salute  $j$ ;

Inoltre è opportuno considerare la domanda di dotazioni, l’accessibilità ai servizi ed il tempo di spostamento come variabili continue nel tempo. Tali grandezze hanno in tale accezione un valore “istantaneo” (ovvero al tempo  $m$ ) ed un valore medio (ed una varianza) calcolate in un intervallo temporale  $T$ . Ciò premesso, si definisce:

- $t_{ij}^m$  il tempo di spostamento piedi/trasporto pubblico tra il centroide della cella  $i$  e la localizzazione del  $j$  –esimo centro di salute, all’istante (orario di partenza)  $m$ ;
- $t_{ij}^T$  il valore medio di  $t_{ij}^m$  calcolato nell’intervallo temporale  $T$ ;
- $t_{ij}^{m,arrivo}$  l’istante in cui l’utente proveniente da  $i$ , partito all’orario  $m$ , ha raggiunto la dotazione  $j$ ;

- $D_i^m$  una proxy dell'intensità della domanda di dotazioni per la cella  $i$  all'istante  $m$ ;
- $D_i^T$  il valore medio di  $D_i^m$  calcolato nell'intervallo temporale  $T$ ;
- $Acc_i^m$  l'accessibilità ai servizi di salute della cella  $i$  all'istante  $m$ ;
- $Acc_i^T$  l'accessibilità ai servizi di salute della cella  $i$  calcolata nell'intervallo temporale  $T$ .

### 3.4.1 Calcolo dei tempi di spostamento

Il presente lavoro è basato su una efficiente stima dei tempi di spostamento  $t_{ij}^m$  tra una grande quantità di coppie  $i-j$  in diversi istanti temporali  $m$ . In particolare  $t_{ij}^m$  è stato calcolato per ciascuna cella  $i$  e per i primi cinque centri di salute  $j$  ad intervalli temporali di 5 minuti a partire dalle ore 06:00:00 del mattino fino alle ore 22:00:00 della sera. La procedura è stata svolta in ambiente GIS, ed un tool ad hoc è stato sviluppato per iterare i processi di calcolo per diversi istanti temporali ed aggregare i risultati ottenuti in maniera coerente in un unico output. Il risultato di tale operazione è infatti una matrice di 1.587 origini  $i$  x 5 destinazioni  $j$  x 132 istanti temporali  $m$ , pari a 783.420 records  $t_{ij}^m$ . Per il calcolo di  $t_{ij}^m$  si è considerato una velocità pedonale di 6 km/h ed un tempo di accesso/egresso di 10 secondi per gli spostamenti in autobus e di 45 secondi per gli spostamenti in metro. Il tempo di attesa e di viaggio, funzione dell'orario  $m$ , è calcolato mediante uno script che esegue una query sul database SQL descritto in precedenza.

### 3.4.2 Accessibilità statica

La prima misura di accessibilità proposta è una misura “statica”, corrispondente alle misure comunemente utilizzate in letteratura (e.g. Apparico, 2008; Dewulf, 2013). In particolare è stata considerata una misura di tipo gravitazionale in cui l'accessibilità della zona  $i$  alle dotazioni sanitarie  $j$  presenti sul territorio è direttamente proporzionale alla superficie utile lorda di  $j$  ed inversamente proporzionale al tempo per raggiungere  $j$ . Formalmente essa può essere espressa come:

$$Acc_i = \sum_j O_j / t_{ij}^T$$

---

in cui  $t_{ij}^T$  è la media dei tempi per raggiungere  $i$  da  $j$  calcolata sull' intervallo di valori  $T$  che va dalle ore 06:00:00 del mattino fino alle ore 22:00:00 della sera.

Tale formula permette quindi di calcolare per ciascuna cella  $i$  il valore dell'accessibilità alle dotazioni  $j$  ed evidenziare le aree caratterizzate da carenze distributive o dimensionali, come di seguito illustrato nel paragrafo 3.5.1. Ad ogni singola cella  $i$  è inoltre associata una misura dell'intensità della domanda, che, nel caso dell'accessibilità “statica”, viene posta pari alla popolazione residente  $P_i$ .

Una volta associata a ciascuna cella  $i$  l'accessibilità  $A_i$  e la domanda  $D_i$  è inoltre possibile calcolare un indicatore sintetico di accessibilità, come media pesata sulla popolazione dell'accessibilità dell'intera area di studio:

$$Acc^S = \frac{\sum_i^n Acc_i \cdot D_i}{\sum_i^n D_i}$$

Tale indicatore fornisce una misura globale del soddisfacimento della domanda ed è tanto maggiore quanto maggiore è il numero di aree densamente popolate che godono di una buona accessibilità ai servizi sanitari e tanto minore quanto più è accentuato lo squilibrio tra accessibilità e popolazione servita.

### **3.4.3 Accessibilità dinamica**

La formulazione precedente fornisce una visione statica dell'accessibilità, trascurando che il tempo necessario a raggiungere le dotazioni sanitarie può variare sensibilmente durante l'arco della giornata a causa di variazione nelle frequenze e nei tempi di attesa del trasporto pubblico. Nello studio della dinamicità dell'accesso alle strutture sanitarie è inoltre opportuno considerare gli orari di apertura e chiusura dei singoli plessi che vincolano le interazioni spaziali a determinati momenti della giornata e la variazione dell'intensità e della localizzazione degli utenti urbani.

Per comprendere l'impatto degli orari di esercizio è possibile considerare il seguente esempio (Figura 3.5.a).



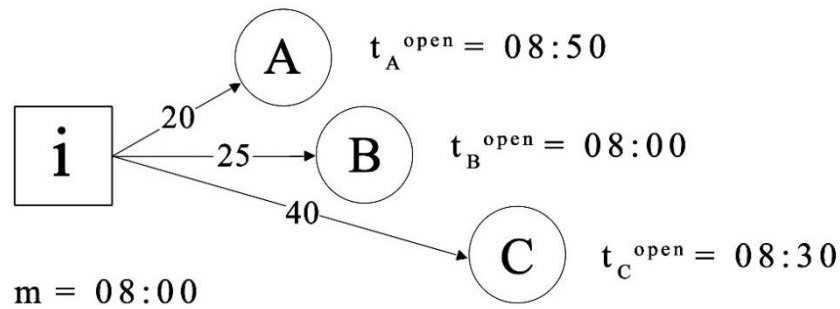


Figura 3.5.a Impatto degli orari di apertura sulla stima dei livelli di accessibilità

L'utente localizzato al tempo  $m$  nella zona  $i$  potrà accedere alla struttura  $A$  con un tempo di accesso di 20 minuti ed attenderne 30 aspettando l'apertura. Potrà inoltre accedere alla struttura  $B$ , leggermente più lontana (tempo di accesso 25 minuti) ma non dover attenderne l'apertura ed infine potrà accedere alla struttura  $C$  con un tempo di accesso di 40 minuti. Ipotizzando per le strutture  $A$ ,  $B$  e  $C$  una superficie utile lorda rispettivamente pari a 10.000, 15.000 e 20.000 metri quadri, l'accessibilità della zona  $i$  al tempo  $m$  sarà pari a:

$$Acc_i^{08:00} = \frac{10.000}{(20+30)} + \frac{15.000}{25} + \frac{20.000}{40} = 1.300$$

Nel secondo esempio (Figura 3.5.b) invece l'utente in  $i$  al tempo  $m$  potrà accedere alla sola struttura  $A$  poiché giunto in  $B$  ed in  $C$  troverà le due strutture chiuse rispettivamente da 10 e 25 minuti. Per cui:  $Acc_i^{18:45} = \frac{10.000}{20} = 500$

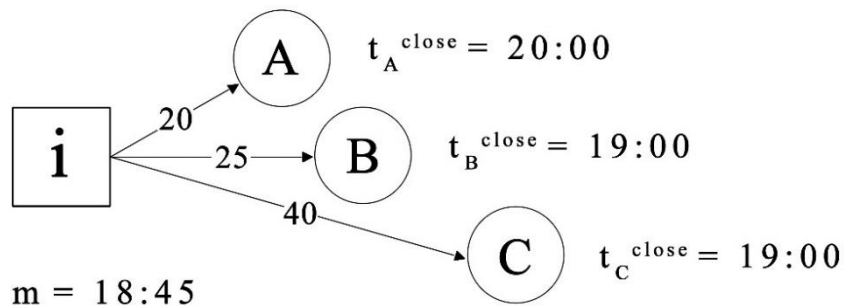


Figura 3.5.b Impatto degli orari di chiusura sulla stima dei livelli di accessibilità

---

In maniera analoga a quanto visto al paragrafo 3.2 è possibile calcolare un indicatore globale di accessibilità per l'intera area di studio attraverso la media pesata dell'accessibilità, utilizzando però questa volta come *proxy* della domanda, il numero di utenti twitter nella cella  $i$  durante l'intervallo  $T$ . Introducendo la variabilità temporale della localizzazione della popolazione servita, la formula può essere riscritta mediando il valore dell'accessibilità nel tempo  $T$  e nello spazio  $S$ :

$$Acc^{S,T} = \frac{\sum_{t=1}^m \sum_i^n Acc_i^m \cdot D_i^m}{\sum_{t=1}^m \sum_i^n D_i^m}$$

#### 3.4.4 Scenari

La metodologia proposta permette di valutare la capacità del sistema urbano di rispondere ad una certa domanda di servizi in diverse ore della giornata. Essa inoltre consente non solo di valutare tale capacità nella configurazione attuale del sistema, ma anche di valutare l'intensità e la distribuzione spaziale dei benefici derivanti da ipotesi alternative di intervento sull'offerta di spazi e servizi sanitari. Per dimostrare l'utilità del metodo, vengono per tanto sviluppati differenti scenari, corrispondenti a diverse ipotesi di intervento sull'offerta di servizi sanitari (tabella 3.5).

Il primo scenario preso in considerazione è quello relativo alle condizioni attuali e serve come scenario base per la comparazione di due alternative ipotesi di intervento.

Il secondo scenario (scenario D1) consiste in un'estensione degli orari di apertura del *Centro de Especialidades Modesto Lafuente*, situato in un'area centrale della città e che, allo stato attuale, è aperto dalle ore 08:30 alle 19:00. In tale scenario si ipotizza di estendere l'orario di chiusura alle ore 21:00. Il terzo scenario (Scenario D2) invece consiste nell'estendere di tre ore, e fino alle 17:00, l'orario di apertura al pubblico del *Centro de Especialidades Bravo Murillo* e nell'estendere di due ore, e fino alle 20:00, l'orario di apertura del *Centro de Especialidades Avenida de Portugal*.

La definizione degli scenari non è casuale, ma deriva da un ragionamento sui costi determinati dall'estensione degli orari di servizio. Assumendo infatti un costo unitario dell'offerta di prestazioni sanitarie ragionevolmente proporzionale alla superficie utile lorda, i costi stimati delle due diverse ipotesi di intervento risultano essere all'incirca

della stessa entità, come esplicitato in tabella 3.5. I due interventi però rispondono a due logiche di tipo diverso. Il primo prevede un investimento concentrato su uno dei principali (per estensione) centri di salute urbana, localizzato in un'area centrale della città; il secondo propone una tipologia di intervento di tipo “diffuso” in cui si agisce su due zone relativamente periferiche dell'area di studio. Infine l'ultima applicazione, o se si vuole, il quarto scenario, consiste nel calcolare l'accessibilità statica ai centri di salute con la metodologia descritta al paragrafo 3.4.2. Tale scenario serve per comparare i risultati dell'applicazione di una metodologia “tradizionale” con la metodologia proposta nel presente studio.

|             | <i>SUL (mq)</i> | <i>Estensione (ore)</i> | <i>Costo</i> |
|-------------|-----------------|-------------------------|--------------|
| Scenario D1 | 15.922          | 2                       | 31.844       |
| Scenario D2 | 5.087           | 3                       | 32.187       |
|             | 8.463           | 2                       |              |

*Tabella 3.5 Scenari di intervento sull'offerta di servizi sanitari*

### **3.5 Analisi dei risultati**

#### **3.5.1 Accessibilità statica**

In figura 3.6 sono riportati i risultati dell'accessibilità statica, nello scenario attuale. La mappa in particolare descrive le variazioni spaziali dei livelli di accessibilità ai servizi sanitari per diverse aree della città come risultato delle caratteristiche localizzative e distributive della rete di attrezzature presenti sul territorio e delle performance della rete di trasporto che connette la popolazione residente con le diverse facilities dislocate sul territorio. Elevati valori di accessibilità si realizzano, come era lecito aspettarsi, nelle aree circostanti le grandi attrezzature urbane, la cui influenza sui livelli di accessibilità è tanto maggiore quanto maggiori sono le dimensioni delle dotazioni considerate. Le dimensioni maggiori di alcuni plessi permettono infatti di estendere i benefici derivanti dalla loro presenza anche ad aree più lontane poiché la disutilità percepita dall'utente nel percorrere una maggiore distanza è in parte compensata da una maggiore offerta di servizi in destinazione. Aree che godono di una buona accessibilità sono inoltre le aree collocate in posizione

centrale rispetto a più attrezzature, anche se di minori dimensioni, in quanto tali aree godono dei benefici cumulati derivanti da una maggiore libertà di scelta e dalla possibilità di accedere in tempi ridotti a diverse attrezzature. Grazie all'effetto combinato di una rete di attrezzature capillari e di un sistema di trasporto pubblico tra i più estesi d'Europa, le aree caratterizzate da carenze localizzative o distributive risultano essere relativamente limitate. Considerando come valore soglia, ad esempio, un valore inferiore al 75% del valore medio, è possibile stimare la popolazione residente che ha una accessibilità relativamente ridotta e che risponde a circa 123.000 unità, localizzate principalmente nella parte nord e sud ovest dell'area di studio.

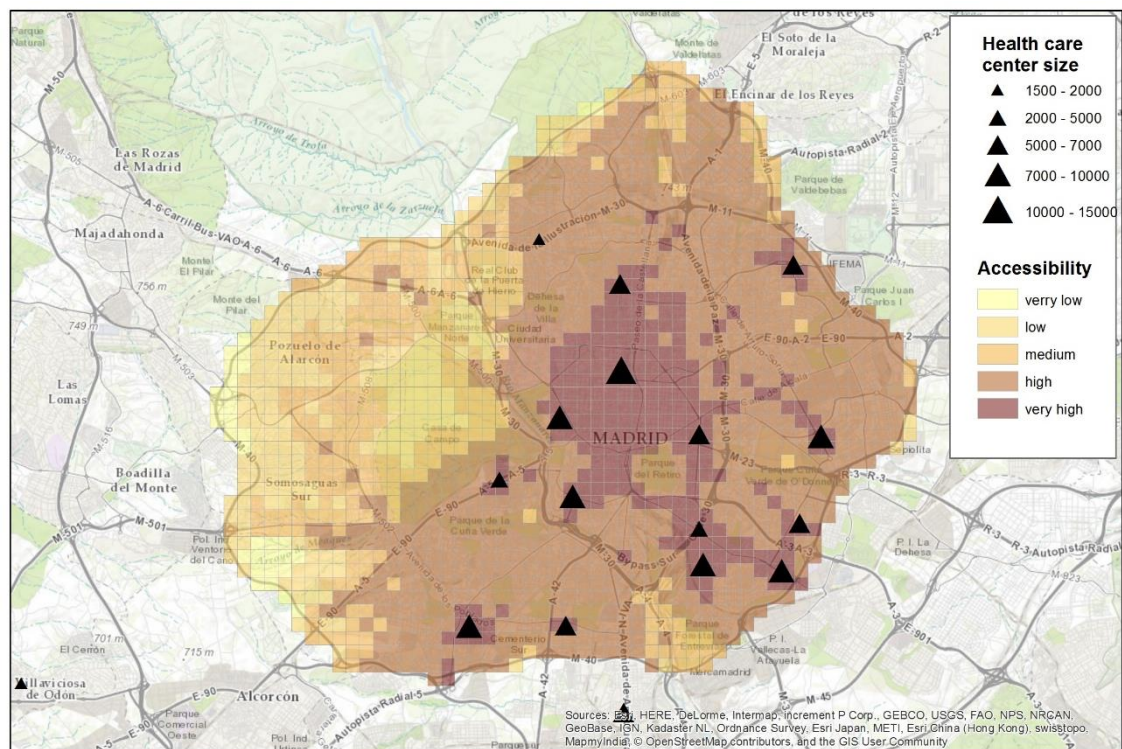


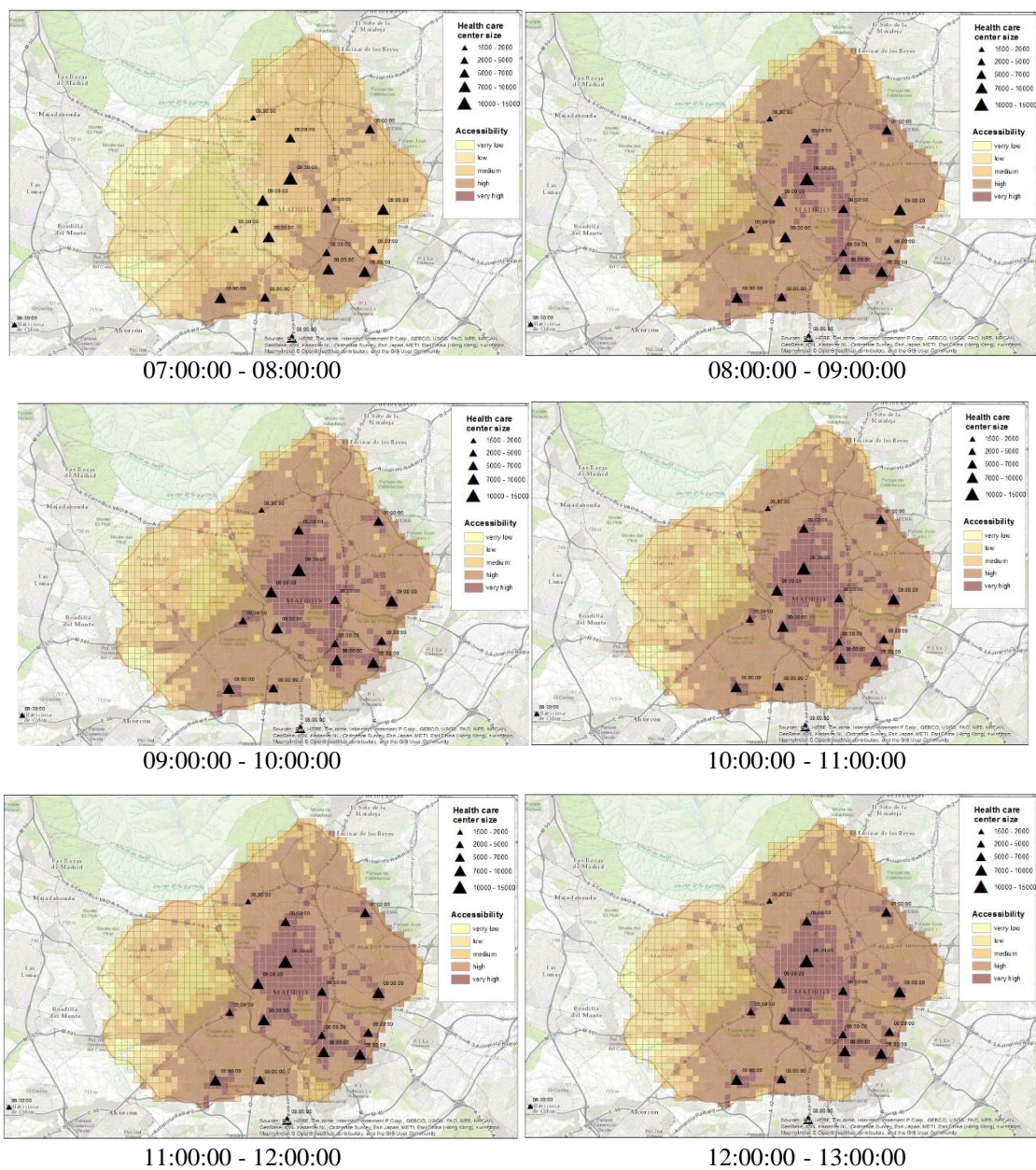
Figura 3.6 Accessibilità statica ai servizi sanitari

### 3.5.2 Accessibilità dinamica

Nella serie di mappe a seguire vengono riportati i risultati relativi all'analisi di accessibilità dinamica nello scenario attuale. Le mappe descrivono il valore medio dell'accessibilità ai servizi sanitari per ciascuna cella  $i$ , in diversi intervalli temporali  $T$  di un'ora, dalle ore 07:00 alle ore 21:00 e permettono di cogliere le variazioni temporali del fenomeno. Dalle ore 7:00 alle ore 8:00, quando la maggior parte dei



centri di salute sono chiusi, l'accessibilità ha un valore minimo con alcuni picchi concentrati nell'intorno dei centri che aprono alle 07:30. Dalle ore 08:00 alle ore 10:00 l'accessibilità aumenta a mano a mano che aprono le diverse attrezzature e, alle 10:00, quando tutte le attrezzature sono aperte, assume il suo valore massimo. E' interessante notare che nell'ora successiva, se pur si mantiene costante il numero di facilities aperte, si registra un lieve e generalizzato calo dell'accessibilità che dipende da una riduzione delle frequenze del trasporto pubblico, nel passaggio tra l'orario di punta e l'orario di morbida.





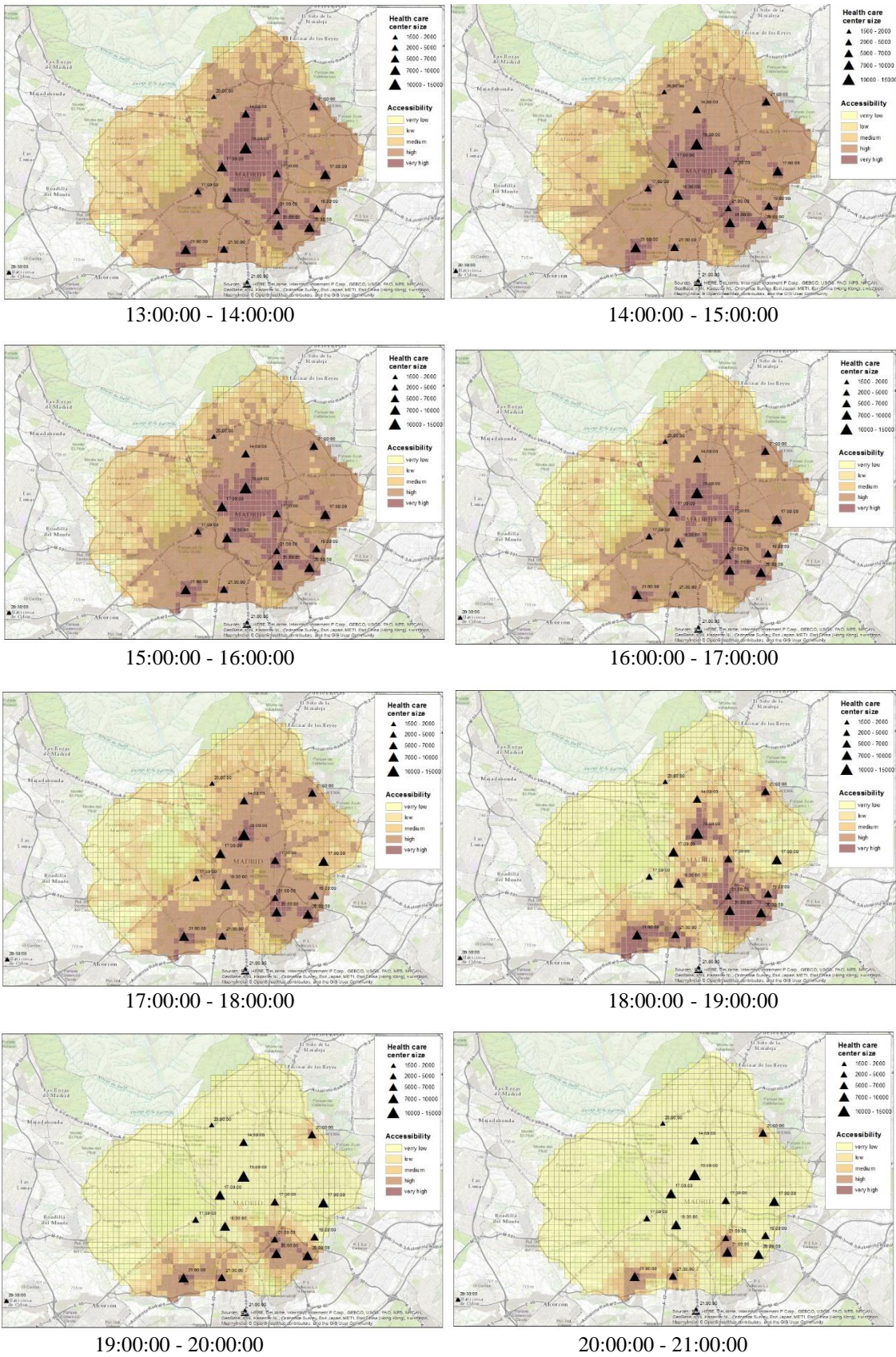


Figura 3.7 Accessibilità dinamica ai servizi sanitari

L'accessibilità si mantiene successivamente costante fino alle ore 14:00 ed inizia a calare con la chiusura del primo centro di salute che avviene alle ore 15:00. Dalle 15:00 in poi si registra un calo progressivo fino alle 19:00 a seguito della chiusura in serie di diversi servizi. Anche l'incremento nell'ora di punta del tardo pomeriggio delle frequenze del trasporto pubblico non è in grado di compensare la riduzione dell'offerta di spazi e servizi pubblici. Dalle 18:00 in poi in particolare, valori superiori alla media si registrano solo nella zone sud dell'area di studio dove alcuni centri restano aperti fino alle 21:30.

### 3.5.3 Comparazione degli scenari

La comparazione degli scenari viene effettuata mediante l'ausilio della tabella 3.6. La tabella riporta i valori medi di accessibilità nello scenario attuale e nelle due ipotesi di intervento sul sistema dell'offerta descritte al par. 3.4.4. In tutti e tre gli scenari, tali valori sono calcolati utilizzando l'approccio dinamico. I valori riportati in tabella sono calcolati negli intervalli di tempo [07:00; 21:00] e [14:00; 17:00]. L'ultima riga della tabella riporta infine il valore medio dell'accessibilità calcolato con un approccio statico (par. 3.4.2). In primo luogo, è possibile osservare che incrementi di accessibilità possono essere ottenuti estendendo gli orari di apertura dei servizi. Tali incrementi si manifestano, come era lecito aspettarsi, in maniera più marcata nell'intervallo [14:00; 17:00] poiché è in esso che si concentrano gli interventi sul sistema dell'offerta ipotizzati. In generale lo scenario D1 (estensione degli orari di una grande attrezzatura in un'area centrale della città) offre un beneficio in proporzione maggiore rispetto alla seconda ipotesi di intervento.

| <i>Scenario</i>          | <i>07:00 /22:00</i> | <i>14:00/ 17:00</i> |
|--------------------------|---------------------|---------------------|
| Dinamico Attuale (DA)    | 3.601               | 4.982               |
| Dinamico Scenario 1 (D1) | 3.722               | 5.046               |
| Dinamico Scenario 2 (D2) | 3.655               | 5.019               |
| Statico Attuale (SA)     | 5.942               |                     |

*Tabella 3.6 Comparazione degli scenari*

---

Il confronto tra lo scenario *DA* ed *SA* (statico vs dinamico nella configurazione attuale) mostra una sistematica sovrastima dei livelli di accessibilità nell'approccio statico. Tale sovrastima è dovuta a due ordini di fattori. In primo luogo, l'adozione di un approccio statico equivale, implicitamente, ad assumere che i servizi siano sempre accessibili, indistintamente dall'orario della giornata. Se infatti il confronto statico vs dinamico è ripetuto per l'intervallo [14:00; 17:00], in cui quasi tutti i centri di salute risultano aperti, la differenza tra approccio statico e dinamico si riduce a causa di un aumento dei livelli di accessibilità nella modellazione dinamica. In secondo luogo, un approccio statico implica che l'accesso ai servizi avvenga in maniera esclusiva dal luogo di residenza. Tali assunzioni dell'approccio statico, che certamente non rispecchiano le modalità con cui il servizio è offerto e "consumato" dagli utenti, sottolineano la validità della metodologia proposta e l'importanza di approcci dinamici allo studio dell'accessibilità alle dotazioni.

### **3.6 Implicazioni per le pratiche di pianificazione**

Garantire un'accessibilità equa ed efficace ai servizi sanitari rappresenta una delle più pressanti sfide per le discipline che si occupano del governo delle trasformazioni territoriali e diversi modelli sono stati recentemente sviluppati in letteratura per supportare la localizzazione ed il dimensionamento degli spazi e dei servizi sanitari, basati sul concetto di accessibilità. Tali modelli variano per complessità da semplici rapporti tra offerta di servizi e utenti serviti a modelli più complessi basati su indicatori di accessibilità di tipo gravitazionale. Tuttavia tali modelli forniscono una visione statica dell'accessibilità, omettendo che essa può variare nel corso della giornata a seguito di variazioni nell'offerta e nella domanda di servizi o di fluttuazioni nelle performance dei sistemi di trasporto. Il presente capitolo descrive lo sviluppo e l'applicazione al caso studio di Madrid di una metodologia di analisi dinamica dell'accessibilità ai servizi sanitari. Il metodo proposto ha un'importante rilevanza per la pratica. Tradizionalmente infatti i servizi sanitari vengono dimensionati considerando come domanda potenziale la popolazione residente. I dati relativi alla popolazione residente sono raccolti con cadenza elevata (decennale ad esempio in Italia ed in Spagna). Tale intervallo di tempo risulta essere in primo luogo inadeguato



---

se si considera la dinamicità dei movimenti demografici nel corso di un decennio. In secondo luogo, gli abitanti di una città trascorrono solo una parte della giornata presso il proprio luogo di residenza e potrebbero trovare più conveniente usufruire di servizi prossimi al luogo di lavoro, di studio o di svago. Soprattutto per le aree con destinazione d'uso prevalentemente residenziale, l'utilizzo dei dati del censimento può costituire un grande bias che, a sua volta, può condurre a scelte di pianificazione poco aderenti alla realtà e che non tengono in conto dei ritmi e delle dinamiche urbane. In tal senso la metodologia proposta offre un contributo sia rispetto alla questione della vetustà dei dati, sia rispetto al tema delle variazioni temporali della popolazione nel corso della giornata, fornendo dunque a decisori e policy maker una descrizione più accurata della domanda e dell'offerta di servizi e del loro potenziale di interazione. La possibilità di poter integrare in un indicatore di accessibilità i tempi di apertura al pubblico del servizio risulta altrettanto rilevante per la pratica poiché permette di esaminare in maniera dinamica l'equilibrio (o lo squilibrio) tra domanda ed offerta di servizi. Tale tipo di analisi permette di mettere in campo politiche di *time planning* e di adattare dunque gli orari di apertura e la turnazione del personale alle variazioni della domanda di servizi nel corso della giornata al fine di allocare in maniera intelligente risorse dove esse risultano più necessarie. Come dimostrato nel presente studio l'implementazione di tali politiche può produrre significativi benefici a costi però certamente più contenuti se paragonati ad interventi "tradizionali" quali ad esempio la realizzazione di nuove dotazioni o l'ampliamento di quelle esistenti. Infine, come dimostrato nel paragrafo precedente, la metodologia proposta consente anche di comparare diverse ipotesi di intervento sull'offerta di spazi e servizi sanitari, rappresentando, in definitiva, un utile strumento di supporto alle decisioni.

### **3.7 Limitazioni e sviluppi futuri**

Il lavoro proposto presenta infine alcune limitazioni. In primo luogo, nel modello gravitazionale specificato nel quarto paragrafo è stato utilizzato per la funzione di decadimento un parametro unitario. Tuttavia l'attrattività di una certa destinazione, in genere, decresce in maniera non lineare con il tempo necessario a raggiungerla (Chen, 2015). Tale limitazione può essere superata stimando il parametro della funzione di

---

decadimento sulla base di indagini di mobilità ad hoc che, di contro, hanno però un costo relativamente elevato ed esulano dallo scopo del presente studio.

Dal punto di vista metodologico il presente studio considera l'accessibilità dinamica ai servizi sanitari a piedi e con il trasporto pubblico, ma non con l'automobile privata. Un possibile sviluppo futuro può essere per tanto quello di considerare anche l'accessibilità con l'auto e le fluttuazioni ad essa connesse, come ad esempio nel recente lavoro di Moya-Gómez e García-Palomares (2017). Tali analisi potrebbero essere integrate con quelle svolte in questo lavoro, mettendo a punto una metodologia di analisi dinamica e multimodale. A tal fine, i recenti studi di Mao e Nekorchuk (2013), Langford et al. (2015) e Dony et al. (2015), nel caso però di accessibilità multimodale statica, possono rappresentare un importante riferimento.

Infine, un ulteriore tema di riflessione, attualmente molto dibattuto in letteratura, riguarda l'utilizzo di dati dei social media come *proxy* della posizione degli utenti urbani. Alcuni autori hanno evidenziato che in genere i social media non vengono utilizzati allo stesso modo dalle diverse fasce di popolazione e ciò potrebbe causare un bias nelle analisi (Longley et al., 2015). La capacità di approssimazione dovrebbe essere in ogni caso verificata di volta in volta (Montasser e Kifer, 2017). Nel presente caso di studio l'utilizzo di tracce digitali ha rappresentato una valida fonte di dati per approssimare la variazione della localizzazione degli utenti urbani nello spazio, come dimostrato nell'analisi di correlazione presentata nel paragrafo 3.3. Tuttavia, l'accuratezza dell'applicazione del lavoro potrebbe beneficiare dell'utilizzo di altri dati quali, ad esempio, i dati di traffico telefonico, vista la maggiore e più omogenea diffusione della telefonia mobile tra i diversi segmenti della popolazione.

---

## Bibliografía

- Apparicio, P., Abdelmajid, M., Riva, M., & Shearmur, R. (2008). Comparing alternative approaches to measuring the geographical accessibility of urban health services: Distance types and aggregation-error issues. *International journal of health geographics*, 7(1), 7.
- Barton, H., & Tsourou, C. (2013). *Healthy urban planning*. Routledge.
- Becker, R. A., Caceres, R., Hanson, K., Loh, J. M., Urbanek, S., Varshavsky, A., & Volinsky, C. (2011). A tale of one city: Using cellular network data for urban planning. *IEEE Pervasive Computing*, 10(4), 18-26.
- Bissonnette, L., Wilson, K., Bell, S., & Shah, T. I. (2012). Neighbourhoods and potential access to health care: The role of spatial and aspatial factors. *Health & place*, 18(4), 841-853.
- Boisjoly, G., & El-Geneidy, A. (2016). Daily fluctuations in transit and job availability: A comparative assessment of time-sensitive accessibility measures. *Journal of transport geography*, 52, 73-81.
- Calabrese, F., Colonna, M., Lovisolo, P., Parata, D., & Ratti, C. (2011). Real-time urban monitoring using cell phones: A case study in Rome. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 12(1), 141-151.
- Comunità di Madrid (2009). Ley 6/2009, de 16 de noviembre, de Libertad de Elección en la Sanidad de la Comunidad de Madrid. Available at: [http://www.madrid.org/wleg\\_pub/secure/normativas/contenidoNormativa.jsf;jsessionid=B871F5063CD3BC24DCBD4132D000E4B2.p0313335?opcion=VerHtml&nmnorma=6101&cdestado=P#no-back-button](http://www.madrid.org/wleg_pub/secure/normativas/contenidoNormativa.jsf;jsessionid=B871F5063CD3BC24DCBD4132D000E4B2.p0313335?opcion=VerHtml&nmnorma=6101&cdestado=P#no-back-button)
- CRTM (2015). Planos de Transporte. Available at: <http://www.crtm.es/atencion-al-cliente/area-de-descargas/planos.aspx>
- Dai, D. (2010). Black residential segregation, disparities in spatial access to health care facilities, and late-stage breast cancer diagnosis in metropolitan Detroit. *Health & place*, 16(5), 1038-1052.
- Dewulf, B., Neutens, T., De Weerd, Y., & Van de Weghe, N. (2013). Accessibility to primary health care in Belgium: an evaluation of policies awarding financial assistance in shortage areas. *BMC family practice*, 14(1), 122-134.

- 
- Di Ciommo, F., & Lucas, K. (2014). Evaluating the equity effects of road-pricing in the European urban context—The Madrid Metropolitan Area. *Applied Geography, 54*, 74-82.
- Dony, C. C., Delmelle, E. M., & Delmelle, E. C. (2015). Re-conceptualizing accessibility to parks in multi-modal cities: A Variable-width Floating Catchment Area (VFCA) method. *Landscape and Urban Planning, 143*, 90-99.
- Farber, S., Morang, M. Z., & Widener, M. J. (2014). Temporal variability in transit-based accessibility to supermarkets. *Applied Geography, 53*, 149-159.
- Fyer, G. E., Drisko, J., Krugman, R. D., Vojir, C. P., Prochazka, A., Miyoshi, T. J., & Miller, M. E. (1999). Multi-method assessment of access to primary medical care in rural Colorado. *The Journal of rural health, 15*(1), 113-121.
- Gage, A. J., & Guirlène Calixte, M. (2006). Effects of the physical accessibility of maternal health services on their use in rural Haiti. *Population studies, 60*(3), 271-288.
- García-Palomares, J. C., Gutiérrez, J., & Mínguez, C. (2015). Identification of tourist hot spots based on social networks: A comparative analysis of European metropolises using photo-sharing services and GIS. *Applied Geography, 63*, 408-417.
- Google (2016). Overview of GTFS. Available at: <https://developers.google.com/transit/gtfs/reference/>
- Gutierrez-Domenech (2008). Cuanto cuesta ir al trabajo? El coste en tiempo y en dinero. Documentos de Economía "la Caixa", No. 11, Septiembre 2008. Available at: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers2.cfm?abstract\\_id=1204282](https://papers.ssrn.com/sol3/papers2.cfm?abstract_id=1204282)
- Hiscock, R., Pearce, J., Blakely, T., & Witten, K. (2008). Is neighborhood access to health care provision associated with individual-level utilization and satisfaction?. *Health services research, 43*(6), 2183-2200.
- Jardin, B. F., Cropsey, K. L., Wahlquist, A. E., Gray, K. M., Silvestri, G. A., Cummings, K. M., & Carpenter, M. J. (2014). Evaluating the effect of access to free medication to quit smoking: a clinical trial testing the role of motivation. *Nicotine & tobacco research, 25*, 169-182.

- 
- Langford, M., Higgs, G., & Fry, R. (2016). Multi-modal two-step floating catchment area analysis of primary health care accessibility. *Health & place*, 38, 70-81.
- Longley, P. A., Adnan, M., & Lansley, G. (2015). The geotemporal demographics of Twitter usage. *Environment and Planning A*, 47(2), 465-484.
- Luo, W., & Wang, F. (2003). Measures of spatial accessibility to health care in a GIS environment: synthesis and a case study in the Chicago region. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30(6), 865-884.
- Luo, W., & Qi, Y. (2009). An enhanced two-step floating catchment area (E2SFCA) method for measuring spatial accessibility to primary care physicians. *Health & place*, 15(4), 1100-1107.
- Mc Hugh, B. (2013). Pioneering Open Data Standards: The GTFS Story. Available at: <http://beyondtransparency.org/chapters/part-2/pioneering-open-data-standards-the-gtfs-story/>
- Mao, L., & Nekorchuk, D. (2013). Measuring spatial accessibility to healthcare for populations with multiple transportation modes. *Health & place*, 24, 115-122.
- Montasser, O., & Kifer, D. (2017). Predicting demographics of high-resolution geographies with geotagged Tweets. *arXiv preprint arXiv:1701.06225*.
- Moya-Gómez, B., & García-Palomares, J. C. (2015). Working with the daily variation in infrastructure performance on territorial accessibility. The cases of Madrid and Barcelona. *European Transport Research Review*, 7(2), 1-13.
- Neutens, T. (2015). Accessibility, equity and health care: review and research directions for transport geographers. *Journal of Transport Geography*, 43, 14-27.
- Rhodes, S. (2010). How Google and Portland's TriMet set the standard for Open Transit Data. Available at: <http://sf.streetsblog.org/2010/01/05/how-google-and-portlands-trimet-set-the-standard-for-open-transit-data/>
- Siegel, M., Koller, D., Vogt, V., & Sundmacher, L. (2016). Developing a composite index of spatial accessibility across different health care sectors: A German example. *Health Policy*, 120(2), 205-212
- UITP (2015). Public Transport Trend. Available at: <http://www.uitp.org/public-transport-trends>
-

---

United Nation (2015). *World population ageing*. Available at:  
[http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/  
WPA2015\\_Report.pdf](http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/WPA2015_Report.pdf)

World Health Organization (2015). *World report on ageing and health*. Available at:  
<http://www.who.int/ageing/events/world-report-2015-launch/en>

## ***Capitolo 4***

# **Principali contributi del lavoro di ricerca e sviluppi futuri**

---

## **4.1 Principali contributi del lavoro di ricerca**

Nella prima parte del lavoro di tesi viene proposta una analisi della letteratura scientifica più recente sul tema dell'accessibilità urbana. Sulla base di tali analisi vengono individuati dei research gap, corrispondenti a temi emergenti o che hanno ricevuto relativamente scarsa attenzione. Il presente paragrafo utilizza tale articolazione per descrivere i principali contributi del progetto di ricerca.

### **4.1.1 Indicatori di accessibilità time-sensitive**

Il presente lavoro propone una metodologia per l'analisi dinamica dell'accessibilità con una applicazione al caso studio dell'accessibilità ai servizi sanitari nella città di Madrid. Il metodo proposto permette di stimare l'accessibilità in diversi istanti temporali e produrre metriche sinottiche dei livelli di accessibilità su predefiniti archi temporali. Dall'analisi della letteratura emerge che il presente lavoro costituisce il primo sforzo di modellare l'accessibilità dinamica ai servizi sanitari. Altri studi hanno utilizzato tale concetto per diverse opportunità (e.g. supermercati – Faber et al., 2014; lavoro - Ding e Zhou, 2015). In tali studi la variabilità nei livelli di accessibilità dipende esclusivamente dalle prestazioni delle reti di trasporto. La città è tuttavia costituita da attività, spazi adattati, attori e reti di trasporto che connettono la domanda di servizi con la popolazione servita (Papa, 2009). Pertanto, una metodologia di analisi che affronti la questione dell'accessibilità dinamica in un'ottica sistemica costituisce certamente un contributo rilevante.

### **4.1.2 Equità ed effetti distributivi**

Il lavoro di tesi offre un approccio pratico per valutare l'equità spaziale nella distribuzione delle dotazioni urbane. In particolare il presente lavoro fa riferimento alla concettualizzazione di equità nella sua accezione di "equità orizzontale" (*fairness or egalitarianism*), che può essere interpretata come "fornire eguali risorse ad individui o gruppi di individui con le stesse abilità" (Litman, 2007). In contrasto con precedenti studi che hanno affrontato il tema (e.g. Taleai et al., 2014; Yao, 2016) il presente lavoro propone un approccio basato sull'analisi delle componenti principali che permette di sintetizzare differenti prospettive di accessibilità in un unico



---

indicatore di equità. L'impiego di tale approccio, che costituisce un elemento originale del lavoro di ricerca, può essere impiegato per valutare l'equità nella distribuzione delle dotazioni urbane nello stato attuale o per confrontare diverse ipotesi di intervento sull'assetto urbano. Come dimostrato, esso può essere applicata all'intera area di studio o a porzioni di essa permettendo comparazioni intuitive tra quartieri o città. La metodologia proposta infine sottolinea la necessità di includere l'analisi degli effetti distributivi nella comparazione di diverse ipotesi di intervento sull'assetto urbano.

#### **4.1.3 Sistemi informativi geografici e nuove fonti dati**

Il lavoro di tesi integra dati “tradizionali”, nuove fonti dati e tool geospaziali sviluppati ad hoc in ambiente GIS al fine di incrementare l'accuratezza delle analisi di accessibilità alle dotazioni urbane e strutturare una conoscenza approfondita della complessa rete di relazioni esistente tra offerta di servizi pubblici, utenti serviti e reti di trasporti. Il lavoro inoltre è basato sull'utilizzo esclusivo di dati aperti quali le mappe a contenuto libero di OpenStreetMap, dati GTFS, dati Twitter, banche dati censuarie, catastali o ministeriali che rende le metodologie proposte replicabili in diversi contesti urbani. Con riferimento ai dati di OpenStreetMap il lavoro proposto descrive una metodologia di correzione degli errori basata su regole topologiche che permette di utilizzare tali dati in operazioni di *routing*. Con riferimento ai dati di Twitter, il lavoro di tesi dimostra come tali dati possano essere utilizzati per approssimare le variazioni temporali nella localizzazione degli utenti urbani durante il corso della giornata. Infine, il lavoro dimostra come utilizzare dati in formato GTFS per implementare in ambiente GIS reti di trasporto dinamiche e multimodali, superando l'approccio statico alla modellizzazione delle reti di trasporto che caratterizza la letteratura scientifica recente.

#### **4.1.4 Comparazioni empiriche di diversi indicatori**

Il presente lavoro descrive l'implementazione di un set di indicatori di accessibilità e propone una analisi comparativa basata su tecniche di statistica multivariata. I risultati ottenuti dimostrano una elevata correlazione tra indicatori di prossimità ed indicatori gravitazionali. All'opposto però le analisi svolte evidenziano una sostanziale

---

differenza nei risultati nel momento in cui nel calcolo dei livelli di accessibilità si tiene anche in conto dei fenomeni di competizione che si innescano quando domanda ed offerta di servizi pubblici non sono distribuite in maniera uniforme sul territorio. Tali risultati sono rilevanti sia per la ricerca che per la pratica. Per la ricerca infatti essi corroborano precedenti lavori su affinità e divergenze dei diversi indicatori (Geurs e van Wee, 2004; Paez et al., 2012). Per la pratica essi rappresentano un utile guida per i decisori pubblici nella scelta degli indicatori più appropriati per valutare diverse ipotesi di intervento sull'assetto urbano e sottolineano la necessità di analisi di accessibilità in grado di fornire diverse prospettive sul fenomeno di accesso alle opportunità distribuite sul territorio. Tali risultati sottolineano inoltre la necessità di tenere opportunamente in conto dei fenomeni di competizione spaziale che si innescano allorquando la domanda di servizi caratterizzati da capacità limitata eccede localmente l'offerta.

## **4.2 Sviluppi futuri**

Il lavoro di ricerca può essere certamente ampliato ed alcuni spunti su possibili linee di ricerca future sono descritte nei paragrafi finali dei Capitoli 2 e 3. Tali indicazioni fanno specificamente riferimento ad estensioni delle applicazioni sviluppate nei suddetti capitoli. In questa sede, all'opposto, vengono forniti alcuni spunti di ricerca di carattere più generale.

### **4.2.1 Studi comparativi**

La creazione di banche dati comuni in Europa ed in Nord America, e la definizione di nuovi standard di dati, hanno dato un notevole impulso all'analisi ed alla comparazione dei pattern di accessibilità in diversi contesti urbani. Recenti studi in Nord America ad esempio hanno comparato l'accessibilità al lavoro con l'auto (Levine et al., 2012) ed il trasporto pubblico (Ermagun e Levinson, 2015) nelle principali metropoli americane. In Europa la ricerca risulta essere molto limitata, con alcune rilevanti eccezioni (Papa e Bertolini, 2015). Un possibile sviluppo futuro del lavoro di ricerca potrebbe pertanto includere l'estensione delle analisi svolte a diversi ambiti territoriali. A tal proposito, ad esempio, risulterebbe certamente interessante

---

analizzare i pattern di accessibilità alle dotazioni urbane nelle recentemente costituite città metropolitane italiane. Tale analisi risulterebbe rilevante sia perché ad oggi la conoscenza di tali fenomeni è assolutamente limitata, sia perché la legge che istituisce tali enti territoriali (D.L. 56/2014) prevede per essi specifiche attribuzioni in materia urbanistica tra cui la pianificazione dei servizi di rilevanza metropolitana.

#### **4.2.2 Interazione tra ricerca e pratica**

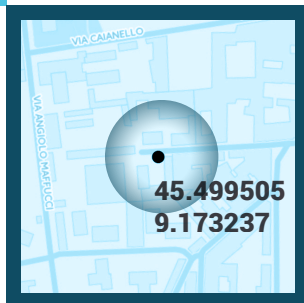
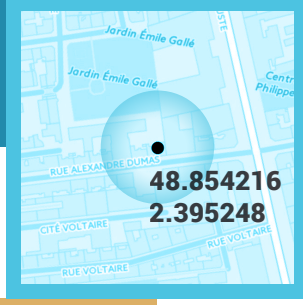
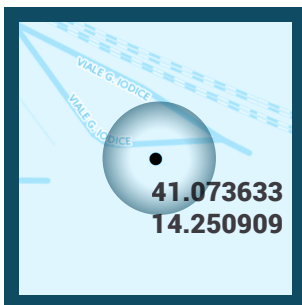
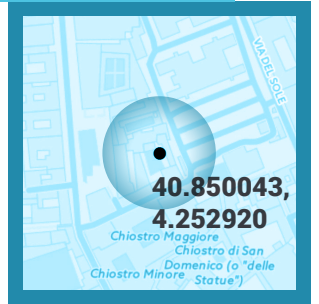
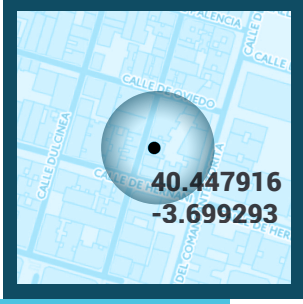
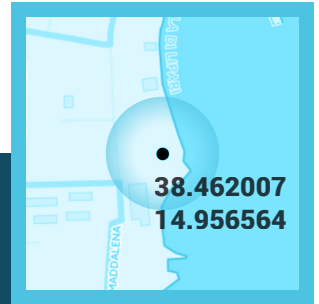
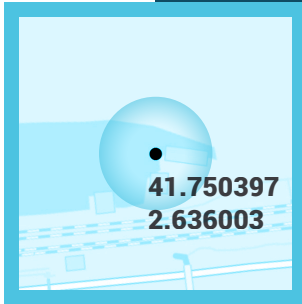
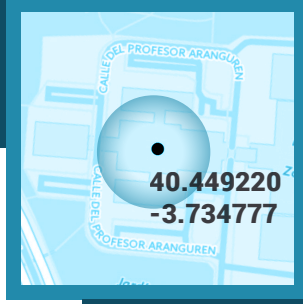
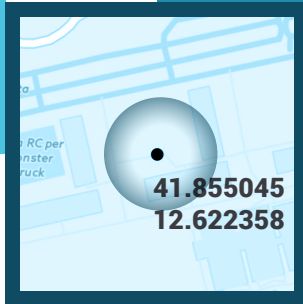
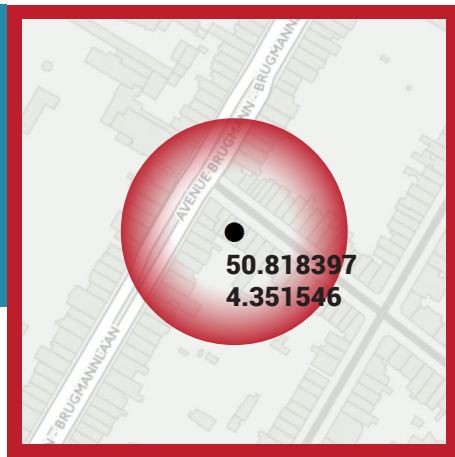
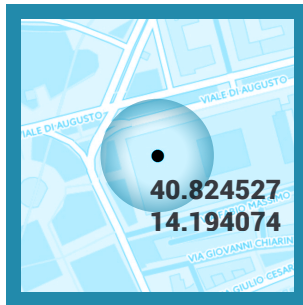
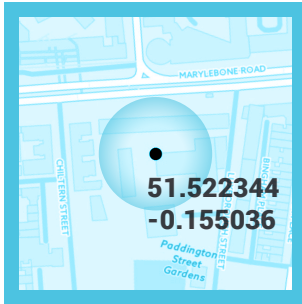
La storia degli strumenti di supporto alla pianificazione è caratterizzata da tempi di trasferimento elevati tra le conoscenze sviluppate dalla ricerca e le applicazioni nelle pratiche di pianificazione (Geeertman, 2017). Il lavoro di tesi mette a punto un set di indicatori di accessibilità a supporto delle strategie di governo del territorio, tenendo opportunamente in conto delle ricerche portate avanti, tra gli altri, da te Brömmelstroet e Bertolini (2008), Straatemeier et al. (2010) Pelzer (2014), Papa et al. (2017) e finalizzate ad individuare le caratteristiche desiderate dai potenziali users al fine di massimizzare l'applicabilità dei modelli proposti nella pratica. Tuttavia si ritiene che un'interazione con decisori pubblici e attori del governo delle trasformazioni urbane, basata su modelli di workshop semi-strutturati come quelli definiti dai suddetti autori, risulterebbe certamente positiva per il presente lavoro. I risultati di tali workshop infatti permetterebbero, da un lato, di disseminare i risultati del lavoro tra i potenziali users degli strumenti sviluppati, facendone conoscere le possibilità offerte; dall'altro permetterebbero una accurata valutazione della *usefulness* e *usability* (te Brömmelstroet, 2017) dei modelli proposti, adattando le conoscenze sviluppate in questo lavoro alle esigenze dettate dalla prassi.

---

## Bibliografia

- Ding, Y., Zhou, J., & Li, Y. (2015). Transit accessibility measures incorporating the temporal dimension. *Cities*, 46, 55- 66
- Ermagun, A., Levinson, D. (2015). Accessibility and transit performance. Nexus Working Papers. Available at: <http://conservancy.umn.edu/handle/11299/179832>
- Farber, S., Morang, M. Z., & Widener, M. J. (2014). Temporal variability in transit-based accessibility to supermarkets. *Applied Geography*, 53, 149-159.
- Geertman, S. (2017). PSS: Beyond the implementation gap. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*.
- Geurs, K. T., & Van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12(2), 127-140.
- Levine, J., Grengs, J., Shen, Q., & Shen, Q. (2012). Does accessibility require density or speed? A comparison of fast versus close in getting where you want to go in US metropolitan regions. *Journal of the American Planning Association*, 78(2), 157-172.
- Litman (2007). Evaluating Transportation Equity: Guidance for Incorporating Distributional Impacts in Transportation Planning. Victoria Transport Policy Institute (2007).
- Papa, E., & Bertolini, L. (2015). Accessibility and transit-oriented development in European metropolitan areas. *Journal of Transport Geography*, 47, 70-83.
- Papa, E., Coppola, P., Angiello, G., & Carpentieri, G. (2017). The learning process of accessibility instrument developers: Testing the tools in planning practice. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*.
- Papa, R. (Ed.) (2009). Il governo delle trasformazioni urbane e territoriali. Metodi, tecniche e strumenti. Franco Angeli.
- Pelzer, P., Geertman, S., van der Heijden, R., & Rouwette, E. (2014). The added value of planning support systems: A practitioner's perspective. *Computers, Environment and Urban Systems*, 48, 16-27.

- 
- Taleai, M., Sliuzas, R., & Flacke, J. (2014). An integrated framework to evaluate the equity of urban public facilities using spatial multi-criteria analysis. *Cities*, 40, 56-69.
- Straatemeier, T., Bertolini, L., te Brömmelstroet, M., & Hoetjes, P. (2010). An experiential approach to research in planning. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 37(4), 578-591.
- te Brömmelstroet, M., & Bertolini, L. (2008). Developing land use and transport PSS: Meaningful information through a dialogue between modelers and planners. *Transport Policy*, 15(4), 251-259.
- te Brömmelstroet, M. (2017). PSS are more user-friendly, but are they also increasingly useful?. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*.
- Yao, L., Liu, J., Wang, R., Yin, K., & Han, B. (2014). Effective green equivalent—A measure of public green spaces for cities. *Ecological Indicators*, 47, 123-127.



acknowledgement

