

ACCESSIBILITÀ MULTIMODALE ALL'INTERNO DELLE AREE URBANE

Emanuele BABBINI, Sandra ALAGNA, Andrea BUFFONI e Massimiliano PETRI

Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Pisa  
Via Diotisalvi 9, 56126 Pisa

**SOMMARIO**

Recentemente il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ha emanato delle Linee Guida per la stesura dei P.U.M. – Piani Urbani della Mobilità. In essi si riconosce come il PUM debba essere un piano generale della mobilità integrata e si definiscono una serie di obiettivi a cui lo stesso deve rispondere. Fra questi viene dato particolarmente risalto al soddisfacimento dei fabbisogni di mobilità della popolazione, alla individuazione di soluzioni integrate del sistema di trasporti. Fra le componenti essenziali dei PUM vengono inoltre indicati alcuni indicatori di obiettivo fra i quali, relativamente al primo obiettivo citato, si riporta come elemento principale l'accessibilità. Il presente studio ha come scopo principale la costruzione di una metodologia chiara e semplice per analizzare l'accessibilità urbana mediante l'integrazione dei dati spazio-temporali sui trasporti multimodali, sulla domanda di mobilità e sulle attività ed i servizi localizzati nella città di Pisa.

## 1 INTRODUZIONE

Le Linee Guida per la stesura dei P.U.M. – Piani Urbani della Mobilità, emanate dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti riconoscono come il PUM stesso debba essere un piano generale della mobilità integrata e fra gli obiettivi a cui esso deve rispondere viene dato particolare risalto al soddisfacimento dei fabbisogni di mobilità della popolazione, alla individuazione di soluzioni integrate del sistema di trasporti. All'interno della descrizione delle componenti essenziali dei PUM vengono individuati alcuni indicatori di obiettivo fra i quali, relativamente al primo citato, si riporta come elemento principale l'accessibilità.

“*Il principio di accessibilità*” sta alla base dell'organizzazione dello spazio urbano e scaturisce dalla competizione fra le diverse attività economiche per assicurarsi le localizzazioni più vantaggiose. In genere “accessibilità” significa il superamento della barriera imposta dallo spazio al movimento di persone e cose e allo scambio di beni, servizi, informazioni. Quanto più alta è l'accessibilità, tanto maggiori sono le disponibilità di fattori produttivi e beni intermedi per l'impresa, di servizi per le persone, tanto minori sono i costi/tempi che si debbono sostenere per raggiungere tali beni e servizi.

Se tutte le imprese e le persone avessero le stesse necessità/possibilità di ottenere la massima accessibilità si avrebbe una loro maggiore concentrazione nelle aree centrali della città, dove l'accessibilità è superiore rispetto alle altre zone. In realtà imprese e persone percepiscono vantaggi diversificati da una migliore accessibilità e quindi hanno diverse localizzazioni.

L'accessibilità di una zona può essere *attiva*, nel qual caso misura la facilità con cui i soggetti (in genere i cittadini) che si trovano in quella zona possono raggiungere le funzioni presenti nei diversi punti del territorio, oppure *passiva* nel qual caso misura la facilità con cui le funzioni produttive (in genere le attività commerciali) presenti in una certa zona possono essere raggiunte dagli utenti localizzati in diversi punti del territorio (Cascetta, 1998).



Figura 1 – Il concetto di accessibilità attiva

In pratica l'accessibilità attiva risulta utile nel supporto decisionale della pubblica amministrazione per individuare per esempio quali zone della città denotino scarsa raggiungibilità così da pianificare variazioni ai sistemi di trasporto in modo da rendere più centrali tali zone, oppure per individuare quali variazioni di traffico migliorino o peggiorino la situazione della mobilità attuale; l'accessibilità passiva invece ha uno scopo contrario, ovvero supportare nell'individuare la miglior localizzazione in cui insediare una attività produttiva essendo quella località molto accessibile, oppure per migliorare l'accessibilità ad una determinata zona mediante nuove infrastrutture che la colleghino con la domanda di servizi (vedi figura 2).

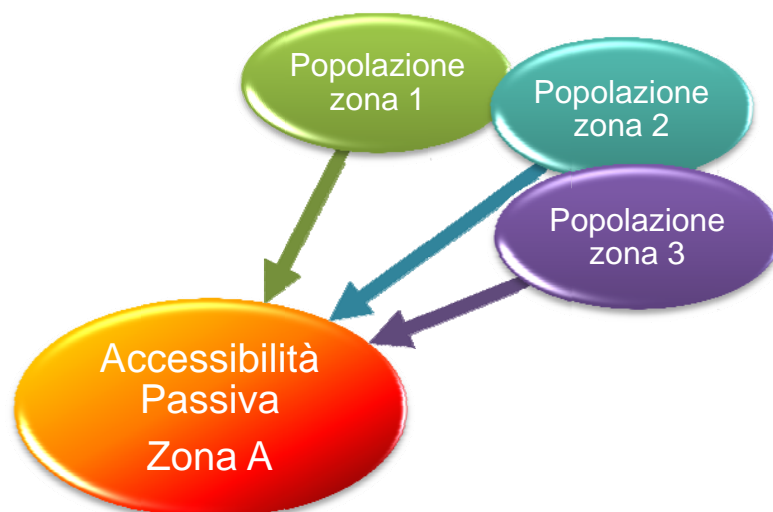


Figura 2 – Il concetto di accessibilità passiva

Quindi il calcolo dell'accessibilità risulta particolarmente importante per la pianificazione urbanistica, sia per la ricostruzione del quadro conoscitivo che per supportare la stesura del quadro progettuale di piano, ed indispensabile per la realizzazione dei P.U.M. (Piani Urbani della Mobilità), per i quali le linee guida della L. 340/2000 art. 22 la inseriscono come primo indicatore esplicito di obiettivo da calcolarsi, sia allo stato attuale sia in seguito agli interventi previsti nei PUM, con dati derivanti da fonti, indagini o simulazioni.

Purtroppo però tale indicazione viene sistematicamente elusa; per esempio nel PUM di Bergamo(2002) l'accessibilità non viene neppure citata, nel PUM di Genova (2004) l'accessibilità non è presente negli obbiettivi di piano, mentre per il PUM di Cagliari (2005) nonostante una delle criticità sia il soddisfacimento della domanda di trasporto soprattutto su area vasta, non si trovano riferimenti concreti agli indici utilizzati per il calcolo dell'accessibilità.

Infine lo studio dell'accessibilità è importante anche nella redazione dei PEBA (Piani per l'Eliminazione delle Barriere Architettoniche) in quanto questi strumenti urbanistici dovrebbero anche analizzare i problemi di accessibilità per particolari fasce di popolazione (per esempio portatori di handicap ed anziani). Spesso infatti l'inaccessibilità dovuta alla assenza di fermate o servizi di trasporto pubblico provoca l'isolamento della popolazione ed un peggioramento del livello di qualità della vita. Creando, invece, dei percorsi urbani ben definiti, visibili e realmente alla portata della effettiva domanda di spostamenti è possibile migliorare l'accessibilità da parte di questi soggetti deboli (Regione Veneto, 2003).

## **2 OBIETTIVO**

L'obiettivo del presente lavoro è quello di rispondere a molti degli interrogativi sulla fruibilità degli spazi urbani che i cittadini si pongono e costruire una metodologia chiara, semplice e flessibile per analizzare tutti i problemi di accessibilità urbana mediante l'integrazione dei dati spazio-temporali sui trasporti multimodali, sulla domanda di mobilità e sulle attività ed i servizi localizzati.

La metodologia costruita è destinata sia alla pubblica amministrazione per supportarne le decisioni urbanistiche e logistiche, sia al privato per rispondere a problemi di localizzazione

della propria attività, in modo da renderla più facilmente raggiungibile dai cittadini (D.C. Rich 1980, Dae-Sik Kim et al ASCE 2003).

Nel presente lavoro questa analisi è stata svolta all'interno della città di Pisa di cui è stato ricostruito il quadro ambientale e conoscitivo attuale.

### 3 METODOLOGIA

La metodologia parte da una semplice constatazione: l'accessibilità misura quanta domanda di svolgere attività e offerta di servizi ed attività, siano collegate e/o distribuite attraverso la viabilità urbana in modo efficiente (vedi figura 1).

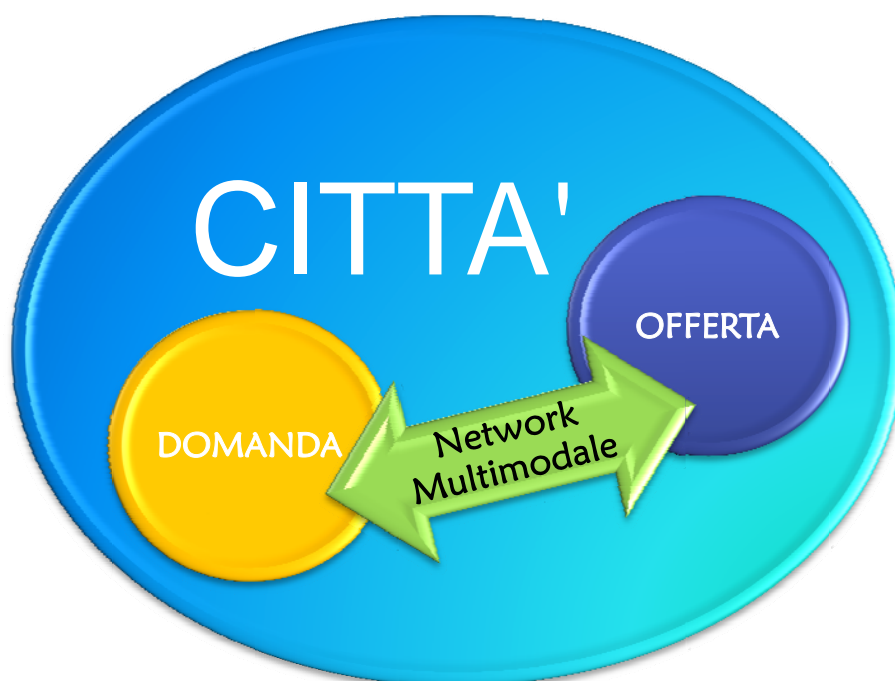


Figura 3 – Schema del concetto di accessibilità

Quindi risulta necessario ricostruire lo stato attuale della domanda, dell'offerta e del network viario.

In figura 4 sono illustrati le singole fasi che hanno portato alla implementazione del sistema di supporto decisionale finale.

Siamo partiti dalla delimitazione dell'area di studio e dalla ricostruzione dei dati relativi all'offerta di servizi, per poi passare alla localizzazione della domanda, ed infine alla caratterizzazione e modellazione del grafo viario per ottenere l'indice di accessibilità (vedi figura 4).



Figura 4 – La struttura metodologica adottata

### *3.1 Ricostruzione della domanda*

Per il lavoro in esame abbiamo scelto come area di studio l'area urbana e peri-urbana di Pisa, eliminando le parti periferiche della città con scarsa popolazione insediata oppure assenza di attività economiche.

Inoltre l'area di studio è stata scelta in modo tale che non ci fossero delle barriere semplicemente amministrative ma bensì vincoli e delimitazioni geografiche in modo da analizzare un sistema economicamente delimitato. Infatti l'area è racchiusa a nord-est da aree

agricole, a sud è delimitata dall'aeroporto militare mentre a ovest è presente il Parco Nazionale di S.Rossore.

L'unità spaziale di riferimento è la Sezione di Censimento, ovvero l'unità minima per la quale abbiamo informazioni sulla popolazione che ci permette un'analisi dettagliata alla scala urbana. Nella figura 5 sono illustrate la densità edilizia (a), il *Bilancio di Specializzazione*<sup>1</sup> relativo al numero di addetti nel commercio (b), nell'industria (c) e nei servizi (d).

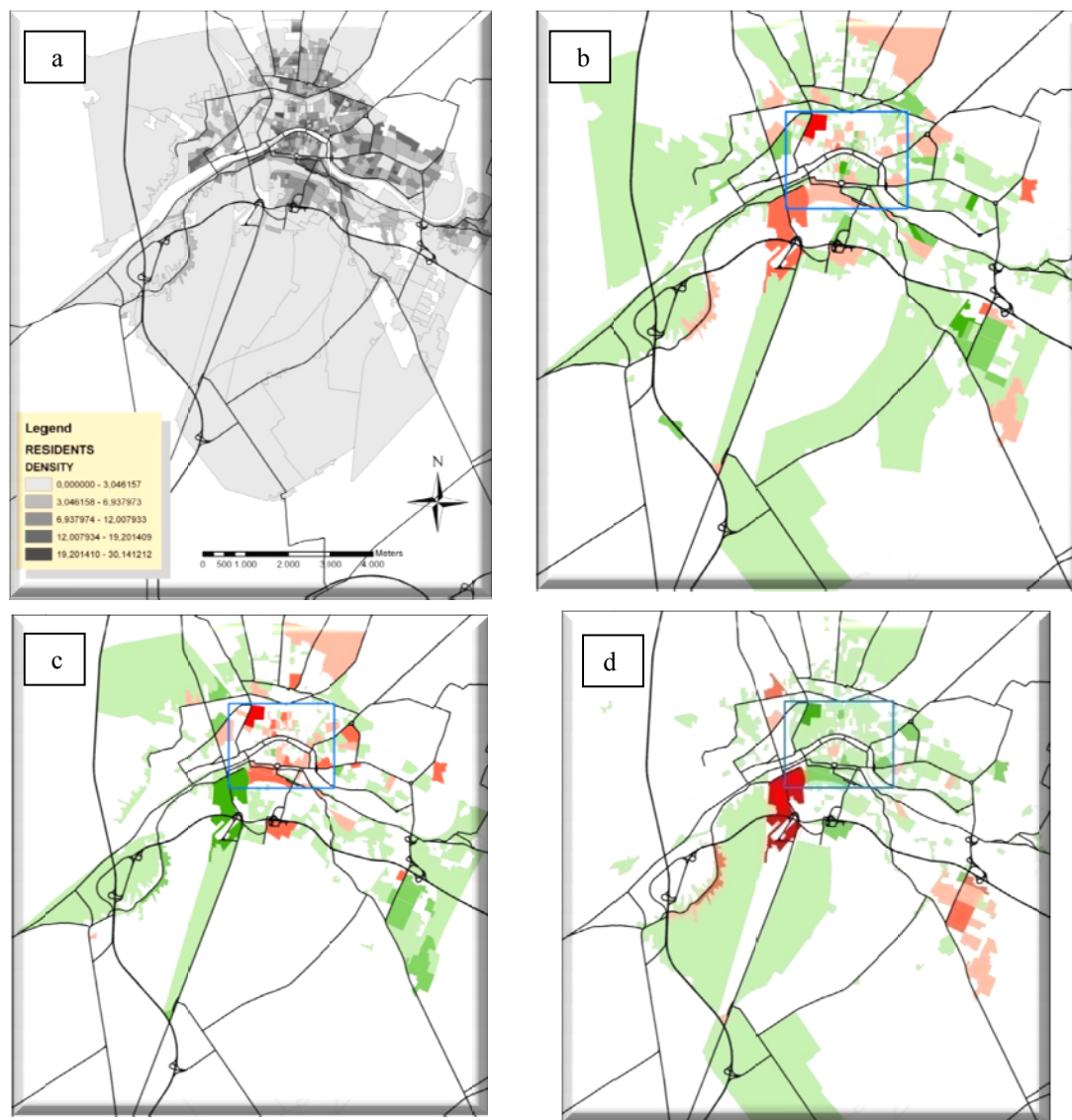


Figura 5 – Alcune mappe tematiche relative alle sezioni di censimento dell'area di studio (in rosso le zone sotto-specializzate, in verde le zone sovra-specializzate)

<sup>1</sup> Il Bilancio di Specializzazione è un indice che serve a confrontare, all'interno dell'area di studio, la presenza di addetti o altre raggruppamenti di individui rispetto ad una massa totale, solitamente la popolazione; esso è dato, per esempio per gli addetti, relativamente alla popolazione totale (massa) da:

$$BS_i = (Add_{ai} / Add_a) - (Add_{tot} / Add_{tot})$$

dove

i = sezione i-esima

a = settore a-esimo degli addetti

Addtot = addetti totali

Come risulta chiaro dalla precedente figura la maggior concentrazione di popolazione si trova nella zona nord-orientale dell'area di studio, le zone commerciali risultano distribuite abbastanza omogeneamente mentre lo sviluppo industriale si è concentrato nella fascia peri-urbana ed i servizi sono logicamente concentrati nell'area più strettamente urbana.

Infine sono state effettuate delle domande sulla preferenza nell'utilizzo delle varie modalità di trasporto e sull'accessibilità alle attività a diverse gruppi di popolazione suddivisi per fascia di età (0-14, 15-29, 30-59, >60), supponendo che l'età fosse un attributo proxy nella differenziazione del tipo di mezzo utilizzato nello spostamento. Le risposte di tipo quantitativo saranno utilizzate più avanti per la riaggregazione gerarchica insita nel processo di Analisi Multicriteri.

Per esempio alcune domande effettuate sono:

- 1) A quale categoria di attività tra le due proposte secondo te è più importante accedere facilmente rispetto all'altra?
- 2) Quale di questi mezzi usi maggiormente?
- 3) In quale fascia oraria ti sposti maggiormente durante la giornata?

	SANITA	ASS. CITTADINI	RISTORAZIONE	CULTURA	COMMERCIO	media geometrica	pesi	vettore k
SANITA	1	9	7	7	1	3,37977445	0,43614105	1,0454
ASS. CITTADINI	0,11111111	1	0,2	0,33333333	0,14285714	0,25404675	0,03278332	0,8196
RISTORAZIONE	0,14285714	5	1	0,33333333	0,2	0,54394644	0,07019326	1,1371
CULTURA	0,14285714	3	3	1	0,2	0,76214024	0,09834995	1,3441
COMMERCIO	1	7	5	5	1	2,80936139	0,36253243	0,9219

Tabella 1 – Il risultato delle interviste effettuate mediante il confronto a coppie (domanda 1) per popolazione superiore a 60 anni

	SANITA	ASS. CITTADINI	RISTORAZIONE	CULTURA	COMMERCIO	media geometrica	pesi	vettore k
SANITA	1	4	3	6	3	2,93015605	0,4491132	0,9357
ASS. CITTADINI	0,25	1	0,33333333	3	0,33333333	0,60836434	0,0932457	1,0568
RISTORAZIONE	0,33333333	3	1	3	3	1,55184557	0,23785571	1,1893
CULTURA	0,16666667	0,33333333	0,33333333	1	0,2	0,32638279	0,0500256	0,9005
COMMERCIO	0,33333333	3	0,33333333	5	1	1,10756634	0,16975979	1,2789

Tabella 2 – Il risultato delle interviste effettuate mediante il confronto a coppie (domanda 1) per popolazione compresa fra 30 e 60 anni



Solo da queste due tabelle di esempio risulta evidente la differenza nell'importanza data ad alcune attività; per esempio un uomo di mezza età assegna meno importanza alle attività di shopping e collegate al settore del commercio mentre reputa più importanti le attività ristorative che, per un anziano, rivestono non sono prioritarie.

### 3.2 Ricostruzione dell'offerta

Relativamente all'offerta si è ricostruito il quadro puntuale delle attività presenti nell'area di studio al fine di poter effettuare un'analisi che potesse essere più precisa rispetto ai dati già citati delle Sezioni di Censimento ISTAT.

In figura 6a e 6b sono illustrate le attività presenti raggruppate in attività commerciali (a), attività culturali, d'arte e di spettacolo (b), attività di ristorazione (c) e sanitarie (d). Oltre a queste sono state raggruppate anche le associazioni di cittadini.

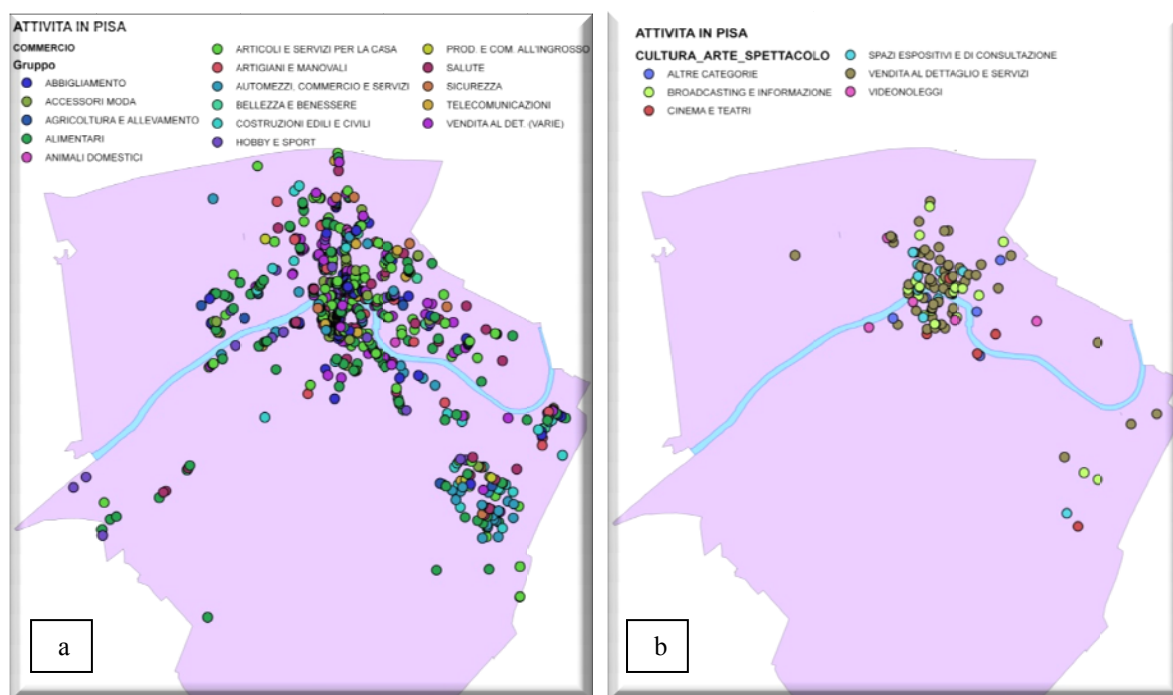


Figura 6a – Localizzazione di attività commerciali (a) e culturali (b)

Poiché dall'analisi di fattibilità iniziale si è evidenziata una differenziazione notevole nell'offerta del trasporto pubblico nel tempo, ed anche una variazione del numero di attività aperte molto alta, sono state ricavate delle *cronomappe* relative agli orari di apertura delle attività (vedi figura 7), attraverso i dati estrapolati dal Piano del Commercio comunale e dalle interviste ai commercianti appartenenti a ciascuna delle classi di attività.

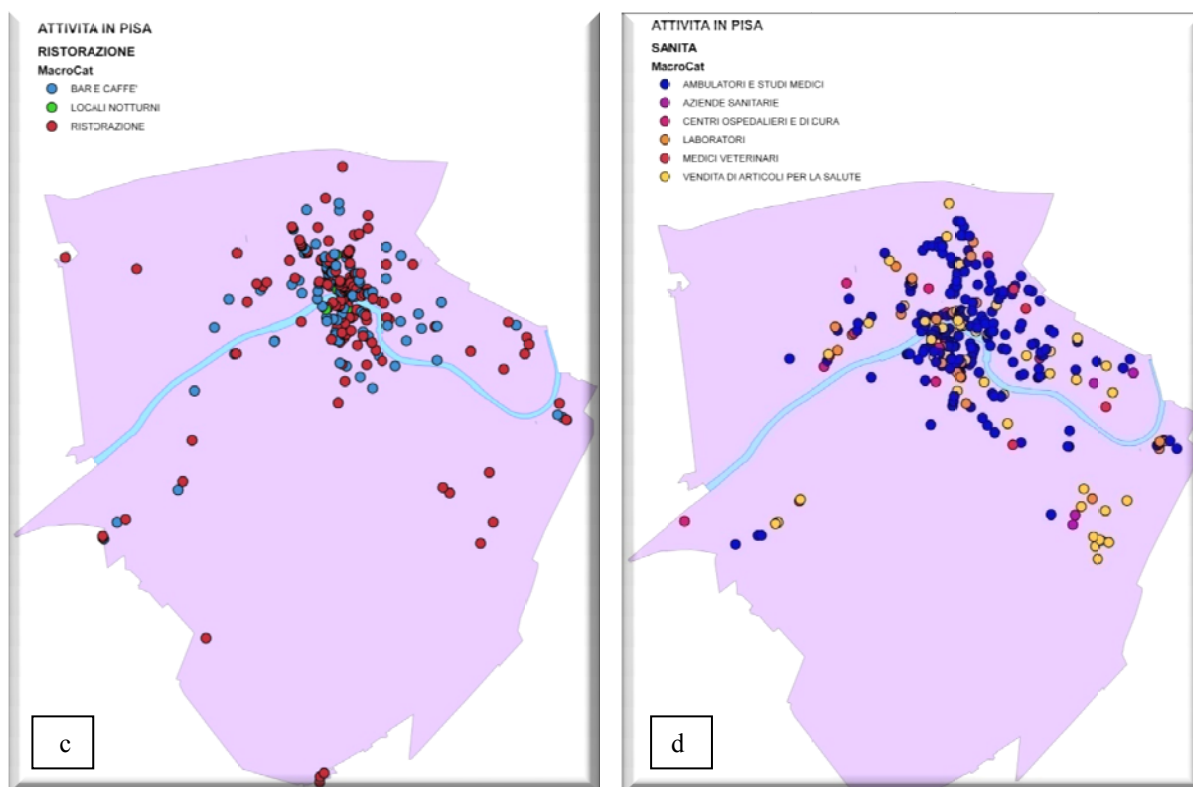


Figura 6b – Localizzazione di attività di ristorazione (c) e sanitarie (d)



Figura 7 – Cronomappe relative alle attività aperte (da sinistra: mattino, pranzo, pomeriggio e sera)

A ciascuna attività è stato assegnato un peso relativo al numero probabile di addetti, quest'ultimo determinato dall'integrazione fra le attività puntuali localizzate in ogni sezione e gli addetti totali derivanti dai dati ISTAT.

### 3.3 Ricostruzione del network viario multimodale

L'accessibilità è stata intesa come accessibilità multimodale e quindi calcolata per le tre modalità di trasporto più utilizzate in Pisa: automobile, autobus e bicicletta.

Per ogni modalità di trasporto è stata calcolata sia l'accessibilità attiva che quella passiva (vedi paragrafo 3.4) per le varie fasce orarie della giornata, al fine di effettuare una stratificazione temporale dei servizi offerti, poter studiare la variazione nello spazio e nel tempo del rapporto fra cittadini e città e per fornire un supporto alle decisioni sia delle pubbliche amministrazioni che del cittadino.

#### Il network della viabilità privata

Dopo una prima fase di rilevamento “on-site” e aggiornamento delle infrastrutture viarie presenti, individuando nuovi tratti stradali, nuove intersezioni, rotonde, manovre di svolta non ammesse, sovrappassi, sottopassi e nuovi sensi unici, è stato modellato il grafo multimodale, all'interno di un software GIS, differenziando i modi di trasporto ciclabile, pedonale/pubblico (vedi figura 8) e privato.

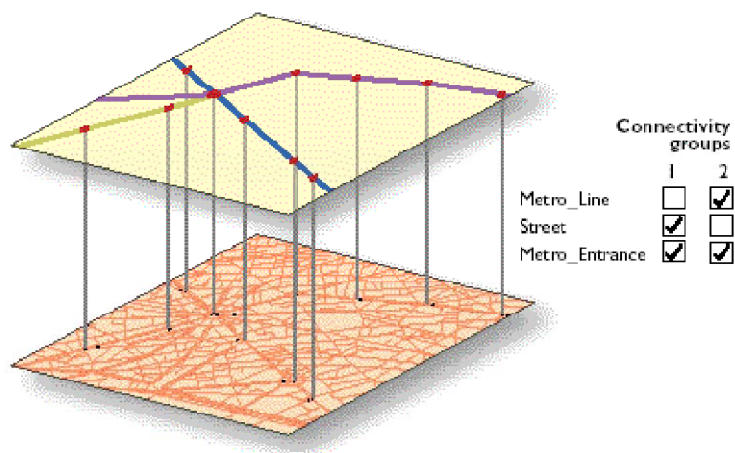


Figura 8 – Il collegamento fra il grafo pedonale ed un sistema di trasporto pubblico (ESRI)

Il rilievo “on site” è stato fatto manualmente su 208 mappe cartacee in formato A4 appositamente predisposte rappresentanti porzioni di territorio di 300 metri per 150 metri circa per poter poi eventualmente ricontrollare errori od altro.

Uno degli aspetti importanti per l'analisi di accessibilità ed assente nel grafo iniziale in nostro possesso era la Zona a Traffico Limitato (ZTL) che a Pisa è strutturata in modo particolare. Infatti la ztl è suddivisa in due parti distinte delimitate dal fiume Arno. In pratica i residenti che vivono all'interno della “ztl nord” vi possono transitare liberamente, ma non possono accedere alla “ztl sud” e viceversa, i residenti che vivono all'interno della “ztl sud” vi possono transitare liberamente, ma non possono accedere alla “ztl nord”, invece, chi vive fuori dalle

due ztl non può entrare in nessuna di esse. E' stato necessario quindi creare tre diversi grafi viari del trasporto privato, ovvero per i residenti nella zona nord, per i residenti nella zona sud e per i residenti esternamente alle due ztl. Il vincolo della ztl si è trasformato nell'obbligo di parcheggiare l'auto al suo esterno ed entrarvi a piedi che, escludendo gli spostamenti con destinazione interna alle ztl stesse, obbliga gli utenti a girare esternamente alle ztl senza attraversarle.

Il passo successivo è stato quindi quello di attribuire ad ogni arco un attributo di costo generalizzato che, come detto in precedenza, è un costo che prende in considerazione fattori che sarebbe molto complicato ed oneroso modellare (tempi di attesa alle intersezioni, reale capacità delle infrastrutture viarie ed altro).

Infatti nei pochi studi di accessibilità analizzati il tempo di percorrenza di un arco viario viene calcolato assegnando all'arco stesso il suo valore di velocità di progetto; questo modo di procedere però non tiene conto delle reali condizioni di traffico esistenti, dei tempi persi per le svolte a sinistra, dei semafori, dei restringimenti di carreggiata e di ogni sorta di ostacolo che rallenta i flussi di traffico cittadini. Abbiamo pensato quindi di adottare il metodo utilizzato nella ricerca fatta in Inghilterra per la creazione della ztl nel centro di Londra (Central London Congestion Charging Scheme, 2005).

In questo monitoraggio sono state calcolate le velocità medie del traffico in tutta Londra mediante l'effettuazione di percorsi prestabiliti e la misurazione dei tempi impiegati. Il risultato mostra che la percorrenza media a Londra in alte condizioni traffico è di 3,9 min/km mentre nelle ore notturne, a bassissimo traffico, scende a 1,9 min/km.

Nel nostro caso, poiché l'indice verrà calcolato in funzione della fascia oraria della giornata abbiamo assegnato un valore per il calcolo della velocità in funzione della 4 fasce orarie della giornata (mattino: 6.00-12.00, pranzo: 12.00-14.00, pomeriggio: 14.00-18.00 e sera: 18.00-21.00). I tempi misurati per i percorsi rappresentati in figura 9 sono illustrati nella tabella 1.

Come risulta chiaro i diversi percorsi hanno dimostrato differenze orarie minime, a sottolineare come la viabilità urbana pisana sia quasi sempre congestionata e quindi asintoticamente omogeneizzata. Come ultimo passo, a partire dalle misurazioni effettuate nei diversi percorsi, mediante un algoritmo di diffusione delle velocità rilevate, si sono calcolate le velocità in tutta la rete viaria.

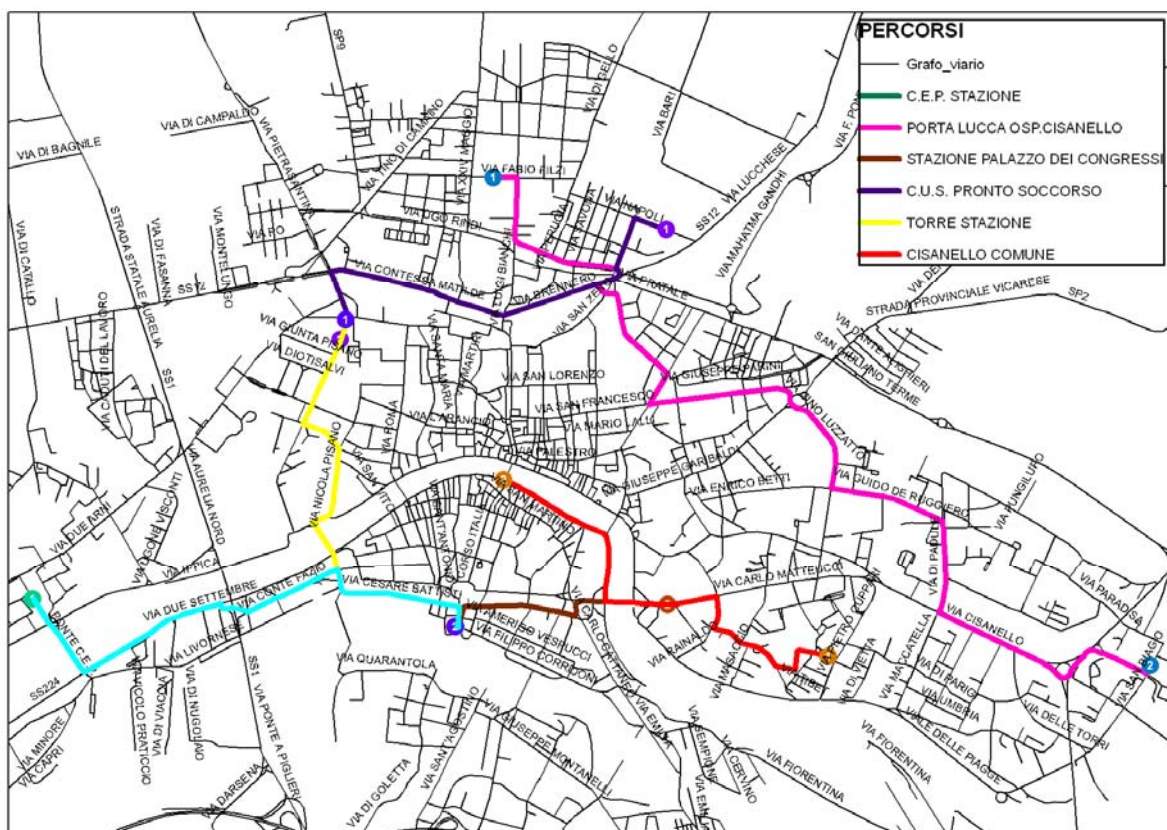


Figura 9 – I percorsi per la misurazione del costo generalizzato

	<i><b>Percorso</b></i>	<i><b>Mattina</b></i> <i><b>6.00-12.00</b></i>	<i><b>Pranzo</b></i> <i><b>12.00-14.00</b></i>	<i><b>Pomeriggio</b></i> <i><b>14.00-18.00</b></i>
<b>1</b>	Torre – Stazione FS	3	3	3
<b>2</b>	Stazione FS – Palazzo dei Congressi	4	3,5	3,5
<b>3</b>	Cisanello (Via Cuppari) - Municipio	2	2,5	2
<b>4</b>	CEP (Via Michelangelo) – Stazione FS	2	3	2
<b>5</b>	CUS – Pronto Soccorso	2,5	2,5	2
<b>6</b>	Porta a Lucca (Via Filzi) – Ospedale di Cisanello	3	2,5	2,5
<b>7</b>	Aeroporto – Piazza Guerrazzi	2	2	3
<b>8</b>	Ponte dell'Aurelia – Lungarno Buozzi	2,5	3	2

Tabella 1 – I tempi medi misurati nei percorsi effettuati (min/km)

Per la fascia oraria 18.00-21.00 è stato ipotizzato un tempo di percorrenza di 2 min/km.

### Il network della viabilità pedonale-pubblica

La prima fase consiste nell'agganciare il grafo fornito dall'azienda del trasporto pubblico pisano con il grafo pedonale derivante da quello generalizzato. Tale operazione è stata necessaria poiché gli archi viari non coincidevano ed è stato inserito quindi un arco di giunzione (LINK) fra ogni fermata del TPL e la strada più vicina (vedi figura 11).

Relativamente alla modellazione del grafo TPL, sono stati inseriti nel network i dati del tempo medio di attesa alle fermate (contenuti nel P.U.M. comunale), le singole linee di trasporto pubblico ed i tempi di loro possibile utilizzo.

A livello di attributo è stato costruito un Geodatabase che ha permesso di ricostruire relazioni del tipo molti a molti in modo da poter ripercorrere il collegamento tra fermate, percorsi ed orari (vedi figura 10).

FID	Shape	AZIENDA	COD PERC	DESCR
15	Polyline	176	4140A2	STAZIONE PIAGGE CISANELLO DIR. 2
16	Polyline	176	4010B1	AEROSTAZIONE H.CAVALIERI DIR.1
17	Polyline	176	E050E1	PISA P.V.E.-L/M2-DEP.OSP.TTO
18	Polyline	176	4090N1	CISANELLO STAZIONE DIR. 1 FESTIVA
19	Polyline	176	4090A2	STAZIONE CISANELLO
20	Polyline	176	4090A2	STAZIONE CISANELLO
21	Polyline	176	4060N2	BARB. CEP STAZIONE DIR.2 FESTIVA
22	Polyline	176	4010C2	PARK PIERTASANTINA STAZIONE
23	Polyline	176	E120D1	CALCI-MEZZANA GREZZANO PISA
24	Polyline	176	E190N2	PISA P.C.
25	Polyline	176	4010K1	AEROST
26	Polyline	176	E081B1	VECCHI
27	Polyline	176	E110A2	PISA V.C.
28	Polyline	176	E140S2	PISA-CIS
29	Polyline	176	E010A2	LIVORNO
30	Polyline	176	E010A2	LIVORNO
31	Polyline	176	E010A2	LIVORNO
32	Polyline	176	E010F1	PISA-VE
33	Polyline	176	E010Y2	BAGNO
34	Polyline	176	E010Y2	BAGNO

OID	LINE	ISTR	AR	CODNO	TPCOR	CORSAP	HRIGA	TIPGIO	II
89289	4010	N	1	4353	0	776	32	FR	
89290	4010	N	1	4352	0	776	33	FR	
89291	4010	N	1	8485	0	776	34	FR	
89292	4010	C	2	4405	0	775	1	FR	
89293	4010	C	2	4310	0	775	2	FR	
89294	4010	C	2	4047	0	775	3	FR	
89295	4010	C	2	4023	0	775	4	FR	
89296	4010	C	2	4034	0	775	5	FR	
89297	4010	C	2	4034	0	775	6	FR	
89298	4010	C	2	4034	0	775	7	FR	
89299	4010	C	2	4034	0	775	8	FR	
89300	4010	C	2	4034	0	775	9	FR	
89301	4010	C	2	4034	0	775	10	FR	
89302	4010	C	2	4034	0	775	11	FR	
89303	4010	C	2	4034	0	775	12	FR	
89304	4010	C	2	4034	0	775	13	FR	
89305	4010	C	2	4034	0	775	14	FR	
89306	4010	C	2	4034	0	775	15	FR	
89307	4010	C	2	4034	0	775	16	FR	
89308	4010	C	2	4034	0	777	1	FR	
89309	4010	C	2	4034	0	777	2	FR	
89310	4010	C	2	4034	0	777	3	FR	

FID	Shape	ID	arco	nodo	fermata	denom
2815	Point	285	255249	0	0000004020	BIANCHI 2
2816	Point	285	255249	0	0000004021	BIANCHI 3
2817	Point	285	253572	0	0000004022	BONANNO 1
2818	Point	285	253572	0	0000004023	TORRE 2
2819	Point	285	253571	0	0000004024	BONANNO 3
2820	Point	285	253565	0	0000004025	BONANNO 4
2821	Point	285	253562	0	0000004026	BONANNO 5
2822	Point	286	254078	0	0000004027	BORGHETTO 1
2823	Point	286	254082	0	0000004028	BORGHETTO 2
2824	Point	286	256558	0	0000004029	MONTACCHIELLO 1
2825	Point	286	256556	0	0000004030	MONTACCHIELLO 2
2826	Point	286	255404	0	0000004031	RINDI
2827	Point	286	255207	0	0000004032	ROSSELLI 1
2828	Point	286	255142	0	0000004033	ROSSELLI
2829	Point	286	255131	0	0000004035	GELLO 8
2830	Point	286	192562	0	0000004037	BRUNELLESCHI
2831	Point	286	254292	0	0000004038	BUONARROTI 1
2832	Point	287	254297	0	0000004039	BUONARROTI 2
2833	Point	287	254084	0	0000004040	BUONARROTI 3

Figura 10 – La relazioni fra percorsi, orari e fermate



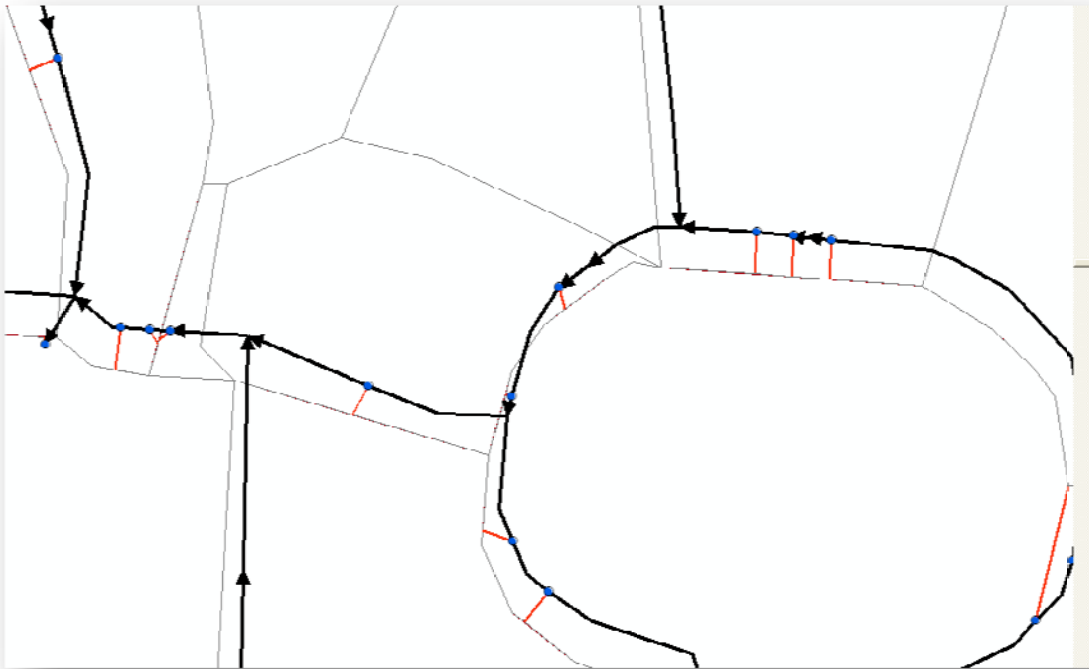


Figura 11 – Il grafo multimodale pedonale (grigio) - pubblico (nero) ed i links (in rosso)

La modellazione del grafo TPL ha riguardato tutte le linee degli autobus urbani ed extraurbani di Pisa (258), divisi per fascia temporale sulla base della tabella degli orari, in riferimento al momento della partenza dell'autobus, al fine di creare 4 grafi multimodali, ovvero quello del mattino (dalle 6:00 alle 12:00) quello dell'ora di pranzo (dalle 12:00 alle 14:00) quello del pomeriggio (dalle 14:00 alle 18:00) e quello serale (dalle 18:00 alle 21:00) in modo che ad ogni grafo multimodale partecipino solo gli effettivi autobus circolanti in tale fascia oraria.

#### Il network della viabilità ciclabile

La costruzione del grafo ciclabile è stata effettuata a partire dai percorsi ciclabili esistenti (vedi figura 12), suddivisi in percorsi a doppio senso oppure a senso unico ed in piste in sede protetta o meno. Il completamento del grafo è avvenuto inserendo i percorsi ciclabili in sede stradale, suddivisi fra le strade a maggior traffico e le strade interne secondarie ed imponendo i sensi unici esistenti.

Attraverso la costruzione di gerarchie di scelta è stato possibile simulare il comportamento degli utenti di preferenza di percorsi a maggior sicurezza, cioè in successione: piste ciclabili in sede protetta, in sede non protetta, percorsi contenenti le strade non eccessivamente trafficate ed infine le strade a maggior flussi veicolari.

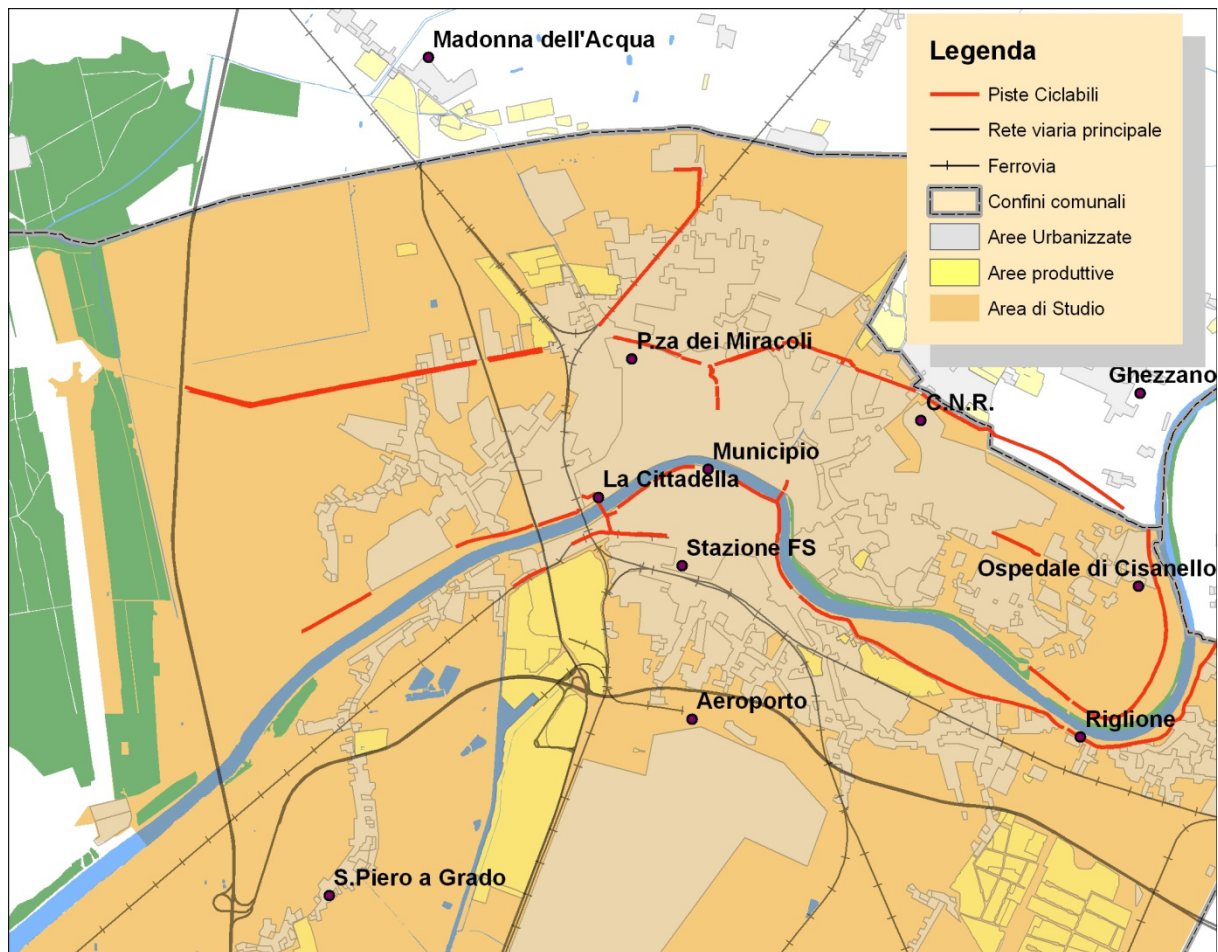


Figura 12 – Le piste ciclabili attualmente presenti in Pisa

### 3.4 Analisi dei dati e calcolo dell'accessibilità

L'indice utilizzato, ovvero il Potenziale Gravitazionale (Birkin e altri, 2002, Cutini, 2002, Wilson, 2000) deriva dalla teoria dei modelli d'Interazione Spaziale: ogni attività localizzata nello spazio fisico, sia essa una unità produttiva, una unità demografica o una città, sviluppa con l'ambiente circostante una complessa rete di rapporti multidirezionali che si svolgono su molteplici livelli; dalle relazioni commerciali ai movimenti pendolari, alle più diverse forme di integrazione e collaborazione tra attività, persone e gruppi, la gamma e il numero di tali "rapporti" è quasi infinita e costituiscono uno degli elementi primari della vita stessa delle città. Questi rapporti sembrano organizzarsi sulla base di campi gravitazionali, sensibili alla dimensione delle attività localizzate sul territorio e alla loro distanza relativa. Una delle teorie più fertili in proposito è quella "gravitazionale", (Cutini 2002, Scandurra 1987) così detta in



analogia al modello newtoniano di gravitazione universale. L'idea che una serie di movimenti territoriali, da quelli migratori a quelli per gli acquisti al dettaglio, siano direttamente proporzionali alla "massa" dei centri di origine/destinazione, e inversamente alla reciproca distanza, si è affermata tra la fine del '800 e gli anni '30' adottando una formula del tipo:

$$P_{ij} = \frac{M_i \cdot M_j}{d_{ij}^a}$$

dove  $M_i$  e  $M_j$  rappresentano le masse attrattive,  $d_{ij}$  invece è l'impedenza elevata per un coefficiente  $a$  proporzionale alla deterrenza allo spostamento ovvero, a parità di distanza e di masse, al crescere di  $a$  diminuisce l'attrazione fra le 2 masse.

Per la scelta delle masse attrattive e dell'impedenza, queste vengono selezionate in funzione della finalità dello studio e possono essere le più diverse come ad esempio il numero di cittadini residenti, il numero di merci trasportate, il numero di attività commerciali, il numero di addetti, o anche una combinazione di questi. Per quanto riguarda l' impedenza in genere si sceglie il tempo di viaggio o il costo del viaggio stesso elevato ad un coefficiente  $a$  che generalmente viene calcolato con regressioni lineari tarate sui modelli stessi (Kaan Ozbay et al 2003, Dae-Sik Kim et al ASCE 2003)

Uno degli sviluppi della teoria gravitazionale è il modello di Hansen ( Hansen W.G. 1959) che tiene conto dell'indice dell'attrazione che l'attività ha sulla popolazione insediata rispetto all'intera area fornendo un risultato pesato sull'intera area di studio (D.C. Rich 1980).

Il Potenziale Gravitazionale deriva direttamente da questo indice ed è stato utilizzato in questo studio per il calcolo sia dell'accessibilità attiva che per quella passiva. Per la prima, partendo dai centroidi delle sezioni di censimento (rappresentanti le zone di origine della domanda) si è calcolata l'accessibilità alle reali attività presenti nell'area di studio (circa 5000) rappresentanti della distribuzione dell'offerta; per la seconda si è calcolata la facilità di accesso della popolazione residente relativamente a ciascuna sezione di censimento.

Il Potenziale Gravitazionale è definito come:

$$PG_a = \sum_a (M_j / d_{aj}^a)$$

dove  $M_j$  = superficie equivalente dell'attività  $i$ -esima (popolazione residente nel caso dell'accessibilità passiva)

$d_{aj}$  = distanza fra il centroide  $a$  ed l'attività  $j$  (oppure fra il centroide  $a$  e la popolazione nella sezione  $j$  nel caso di accessibilità passiva)

$\alpha$  = parametro rappresentativo della deterrenza allo spostamento della popolazione

Mediante operazioni di Geoprocessing dei dati sono calcolati diversi indici di accessibilità strutturati come indicato nell'Albero Gerarchico di figura 13, prendendo in considerazione le stratificazioni funzionali e temporali effettuate, e calcolando un indice per ogni foglia.

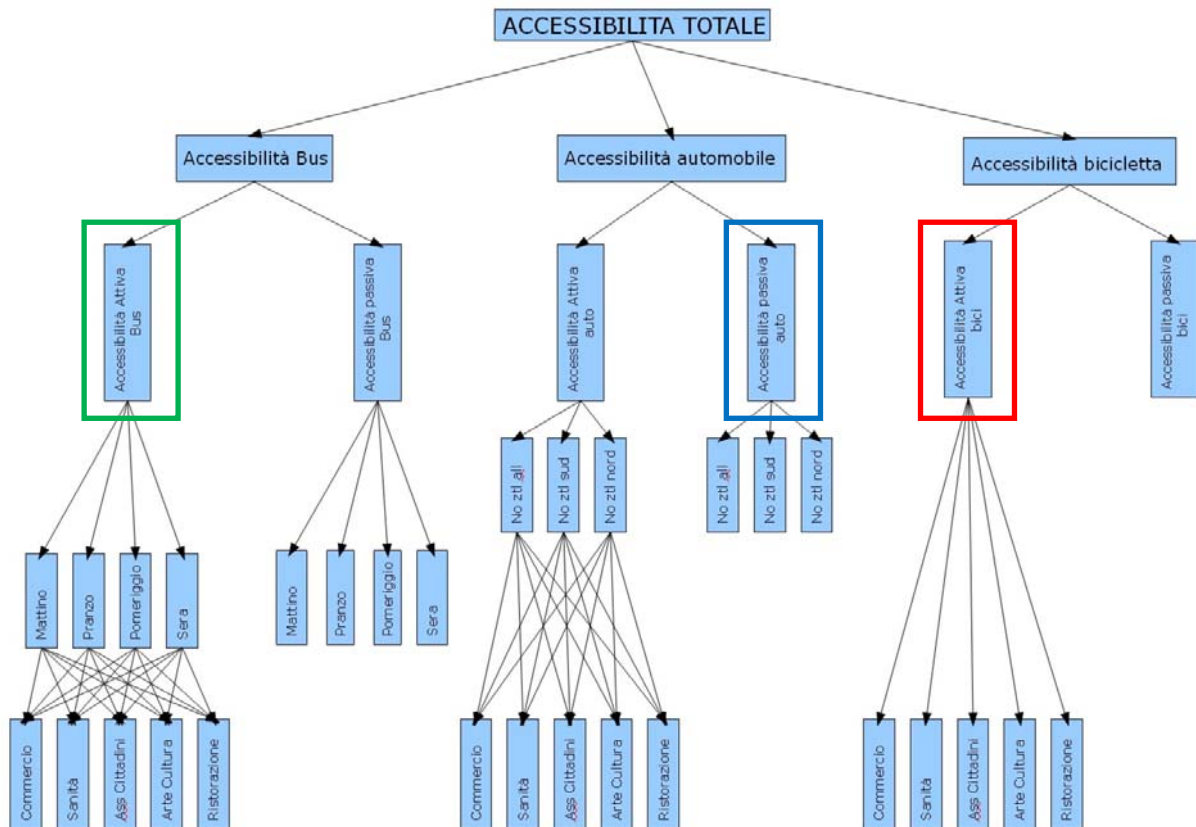


Figura 13 – L'Albero Decisionale utilizzato per la costruzione del sistema di supporto finale

Mediante l'Albero è stato possibile costruire, attraverso successive aggregazioni pesate sulla base delle interviste effettuate alla popolazione (vedi paragrafo 3.1), un indice globale di accessibilità multimodale, seguendo la tipica operazione di ricomposizione gerarchica delle tecniche di analisi Multicriteri (Saaty 1980). Oltre a questo, la metodologia adottata permette di avere uno strumento flessibile ed adatto all'analisi della mobilità e dei problemi di accessibilità della città; infatti se vogliamo trovare zone dove costruire nuove piste ciclabili basta andare a leggere l'indice relativo all'accessibilità attiva del mezzo bicicletta (in rosso in figura 13) oppure se dobbiamo individuare dove localizzare un nuovo centro commerciale analizziamo l'accessibilità passiva delle auto (riquadro blu in figura 13) oppure, come ultimo esempio, se vogliamo migliorare l'utilizzo dei mezzi pubblici dobbiamo intervenire sulle linee

o sugli orari andando ad analizzare le diverse mappe temporali dell'accessibilità attiva mediante il bus (riquadro verde in figura 13).

Nelle figure 14 è possibile visualizzare la mappa dell'accessibilità passiva con mezzo privato per residenti esternamente alle due ZTL mentre in figura 15 è rappresentata l'accessibilità attiva nell'ora di pranzo alle zone commerciali attraverso il bus.

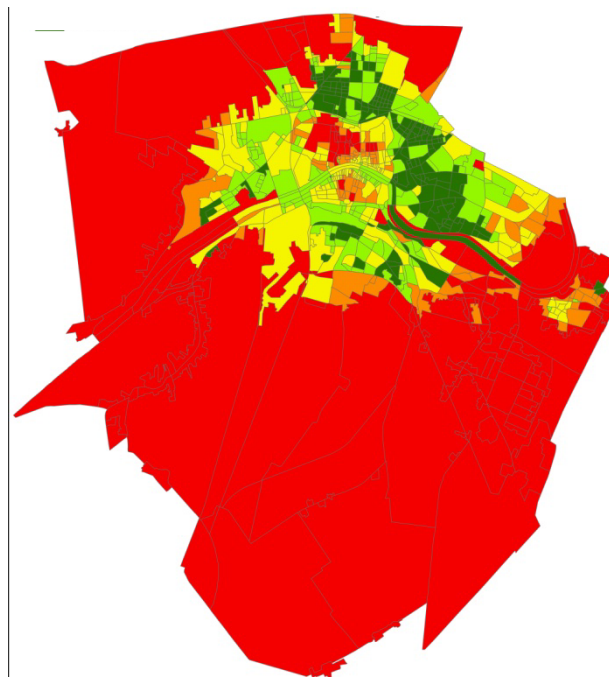


Figura 14 – Mappa dell'accessibilità passiva mediante auto per non residenti nelle due ZTL

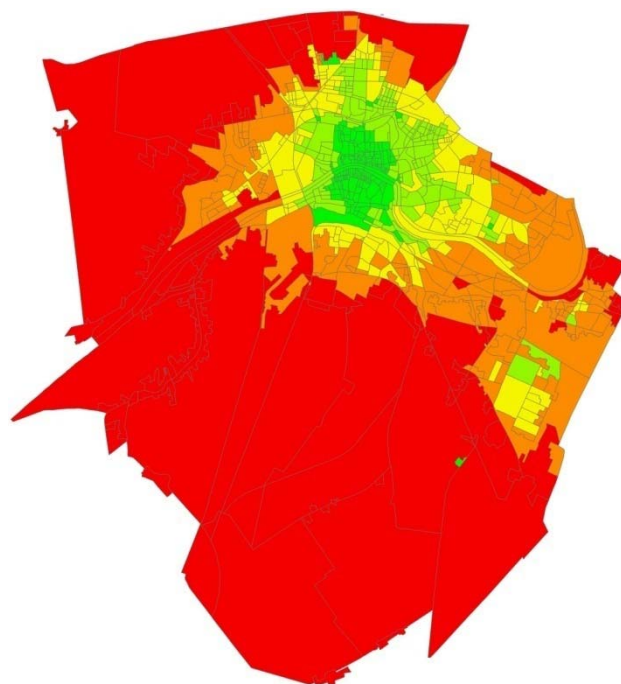


Figura 15 – Mappa dell'accessibilità attiva nell'ora di pranzo alle zone commerciali mediante il mezzo pubblico

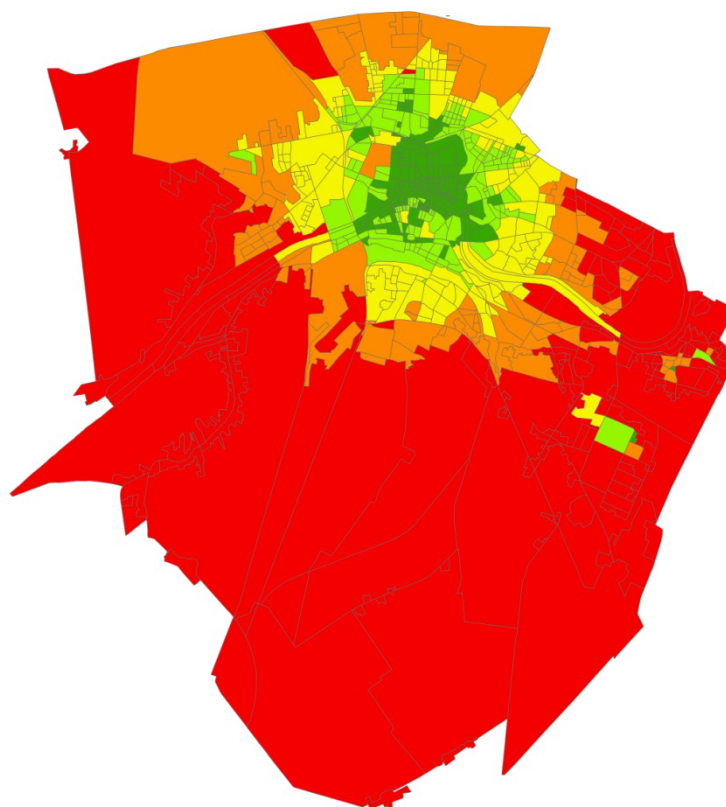


Figura 16 – Mappa dell’accessibilità attiva mediante mezzo privato per residenti nella ZTL nord ai centri culturali

#### 4 Conclusioni

Il modello implementato e la metodologia che ne deriva, seppur basata su teorie derivanti dagli anni '80, denotano un notevole grado di applicabilità e di innovazione data dall’integrazione di dati spesso disomogenei e dall’analisi stratificata sia temporalmente che funzionalmente.

Il sistema permette analisi di tipo puntuali su settori particolari di interesse (vedi la ciclabilità per i PUM, l’analisi dei tempi e degli orari della città per il Piano degli Orari e del Commercio, l’analisi dell’accessibilità di particolari fasce di popolazione per i Piani di Eliminazione delle Barriere Architettoniche, ecc.), oltre ad analisi di tipo globale capaci di guidare una pubblica amministrazione nella corretta distribuzione sia della domanda che dell’offerta di servizi, al fine di garantire un grado soddisfacente di accessibilità sia per tutti i cittadini che per tutti i ‘fruitori’ della città. Infatti gli sviluppi del lavoro comporteranno l’analisi dei movimenti e dell’accessibilità dei pendolari, in modo da poter completare il quadro della mobilità urbana, e l’applicazione del sistema a città dotate di reti di trasporto più

complesse, ed anche meno vincolate per lo sviluppo di eventuali interventi di ottimizzazione della mobilità rispetto all'esempio prototipale di Pisa.

## **5 Bibliografia**

- Birkin M., Clarke G., Clarke M. (2002) *Retail Geography & Intelligent Network Planning* editrice John Wiley and Sons, Inghilterra
- Butler, J. A. A., & Dueker, K. J. (2001). Implementing the enterprise GIS in transportation database design. *URISA Journal*, 13(1), 17-28
- Cascetta E. (1998), *Teoria e metodi dell'ingegneria dei trasporti*
- Central London Congestion Charging Scheme (2005) *Impacts Monitoring-First Annual Report*, Chapter 3, London
- Cutini V. (2002), *Tecnica urbanistica-Esercitazioni*, Collana di ingegneria della città e del territorio, Alinea editrice, Firenze
- Dae-Sik at All (2003) *Modeling Urbanization by Accessibility in Rapid-Growth Areas*, J. Urban Planning & development ASCE, march 2003
- Foglio A. (2006), *Il marketing urbano-territoriale*, FrancoAngeli Editore, Milano
- Kaan Ozbay et All (2003) *Empirical Analysis of Relationship Between Accessibility and Economic Development*, J. Urban Planning & development ASCE, june 2003
- Justin Hansen, Andreas Munoz (2007) *Developing a Multimodal Spatial Network Prototype Using ArcGIS 9.2* University of Minnesota, [http://csci8715.googlepages.com/CSCI8715\\_P9\\_Final\\_Project.doc](http://csci8715.googlepages.com/CSCI8715_P9_Final_Project.doc)
- Pratelli A. (1998), *Ingegneria dei sistemi di trasporto-Esercizi ed esempi*, Pitagora editrice, Bologna
- Regione Veneto (2003), *Linee guida per la creazione dei PEBA*
- Rich D.C. (1980) *Potential Models in Human Geography*, CATMOG 26
- Saaty T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, McGraw-Hill
- Scandurra E. (1987), *Tecniche urbanistiche per la pianificazione del territorio*, CLUP editrice, Milano
- Wilson A.G. (2000) *"Complex Spatial Systems. The Modelling Foundations of Urban and Regional Analysis"* Prentice Hall editrice, Inghilterra