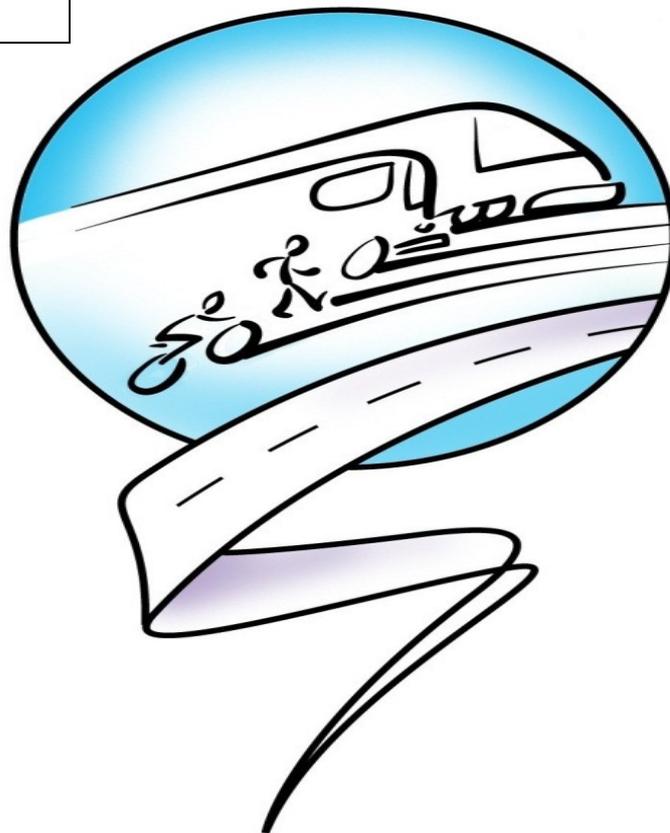




2012

Studio di Mobilità Urbana Area Pisana

Risultati preliminari



Sommario

1	Studio di mobilità e Piano Urbano della Mobilità	1
2	L'indagine in breve	2
2.1	Il Comune di Pisa e l'Area Urbana di Pisa.....	2
3	Descrizione dei dati e delle sorgenti	3
3.1	Istat – Dati del censimento 2001	3
3.2	OctoTelematics – Dati GPS	4
3.3	WIND – Dati di telefonia mobile (CDR)	4
3.4	PisaMo – Dati dei Pannelli a messaggio variabile	5
4	M-Atlas: uno strumento analitico per la mobilità	5
5	Quadro insediativo	6
5.1.1	Dettaglio insediativo Censimento Istat 2001 e dati Istat 2011.....	6
6	Quadro infrastrutturale e offerta di trasporto	11
7	Quadro della domanda di mobilità.....	11
7.1	Personalizzazione degli indici per lo studio della mobilità Pisana	13
7.2	La mobilità privata	14
7.2.1	Profili individuali di mobilità.....	14
7.2.2	Traffico sistematico e occasionale	14
7.3	La mobilità pubblica.....	19
7.3.1	Analisi del Trasporto Pubblico Locale.....	19
7.4	La domanda di mobilità.....	22
7.4.1	La domanda di mobilità descritta dal campione ISTAT 2001	22
7.4.2	Rilievi di traffico	36
7.4.3	Anali dei Flussi veicolari	37
7.4.4	Analisi dei bordi.....	42
8	Bibliografia	44

Questo documento fornisce indicazioni generali sulle modalità di studio e analisi della mobilità in accordo alle normative comunitarie e nazionali vigenti e descrive una parte delle attività condotte dal KddLab all'interno del progetto Pisa-Mobilità.

Utilizzando dati non convenzionali quali rilevamenti gps, tracce gsm, dati dei social network, si fornisce una visione generale dello stato attuale della mobilità all'interno della città e dei comuni limitrofi, e il calcolo di statistiche e indicatori come strumenti di supporto alle decisioni nell'ambito della pianificazione e progettazione dei servizi e dei trasporti.

1 Studio di mobilità e Piano Urbano della Mobilità

Il Piano Urbano della Mobilità (P.U.M.) è uno strumento generale di programmazione nel settore della mobilità che coordina i Piani specifici legati al traffico, al trasporto e alla sicurezza, e che concorrono a definire il fenomeno della mobilità.

Il P.U.M. individua quindi, nell'ambito di una soglia temporale di medio-lungo periodo, le strategie generali di pianificazione e, come strumento di coordinamento dei diversi Piani strategici, definisce e verifica le reciproche coerenze di compatibilità.

Lo studio in oggetto deve essere redatto in conformità alle prescrizioni contenute nell'art. 22 della Legge 340/2000, nel Piano Generale dei Trasporti e della Logistica (DPR 14/03/2001) e avere i requisiti descritti nelle Linee Guida emanate dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (Gen. 2005).

Come previsto dal Piano Generale dei Trasporti Nazionali (P.G.T.) per i Comuni o gli Agglomerati Urbani che superano la soglia dei 100.000 abitanti, rappresenta il progetto del sistema di trasporto e comprende un insieme di investimenti e di innovazioni organizzativo-gestionali da attuarsi per fasi in un arco temporale non superiore a 10 anni.

Quale piano strategico di medio-lungo periodo richiede investimenti e quindi risorse finanziarie e tempi tecnici di attuazione.

Il P.U.M., essendo lo strumento generale di programmazione, coordina o comunque analizza le tematiche che riguardano tra l'altro i seguenti Piani fondamentali:

- Piano Urbano del Traffico;
- Piano di Settore della Sicurezza Stradale;
- Piano del Trasporto Pubblico Locale;
- Piano dei Parcheggi e della Sosta;
- Piano dei Percorsi Ciclabili;
- Piano degli orari della Città.

Il P.U.M. fornisce anche indirizzi strategici circa Piani o Studi Specifici di Settore e Studi di Fattibilità tra cui, per esempio:

- Piano della circolazione e della sosta del traffico merci;
- Studio per l'utilizzo alternativo del mezzo privato (es. car pooling, car sharing);
- Gestione delle emergenze e delle limitazioni programmate ai diversi livelli.
- Realizzazione di nuove infrastrutture stradali, di trasporto pubblico e di parcheggio;
- Realizzazione ed espansione di poli insediativi.

2 L'indagine in breve

Lo studio della mobilità presentato in questo rapporto ha l'obiettivo di fornire una visione generale dello stato attuale della mobilità all'interno della città e il calcolo di statistiche e indicatori come strumenti di supporto alle decisioni nell'ambito della pianificazione e progettazione dei servizi e dei trasporti e in particolare per la formulazione del P.U.M.

L'indagine ha lo scopo principale di evidenziare e comprendere la mobilità delle persone, studiati sotto diversi punti di vista e a partire da un pool di dati di diversa natura.

Attraverso l'analisi di diversi tipi di dati, si è cercato di descrivere la domanda di mobilità delle persone (cittadini e visitatori) e alcuni fattori critici relativi al sistema dei trasporti pubblici e privati.

2.1 Il Comune di Pisa e l'Area Urbana di Pisa

Lo studio riguarda l'area del comune di Pisa, con particolare enfasi sull'area urbana di Pisa (Figura 1).

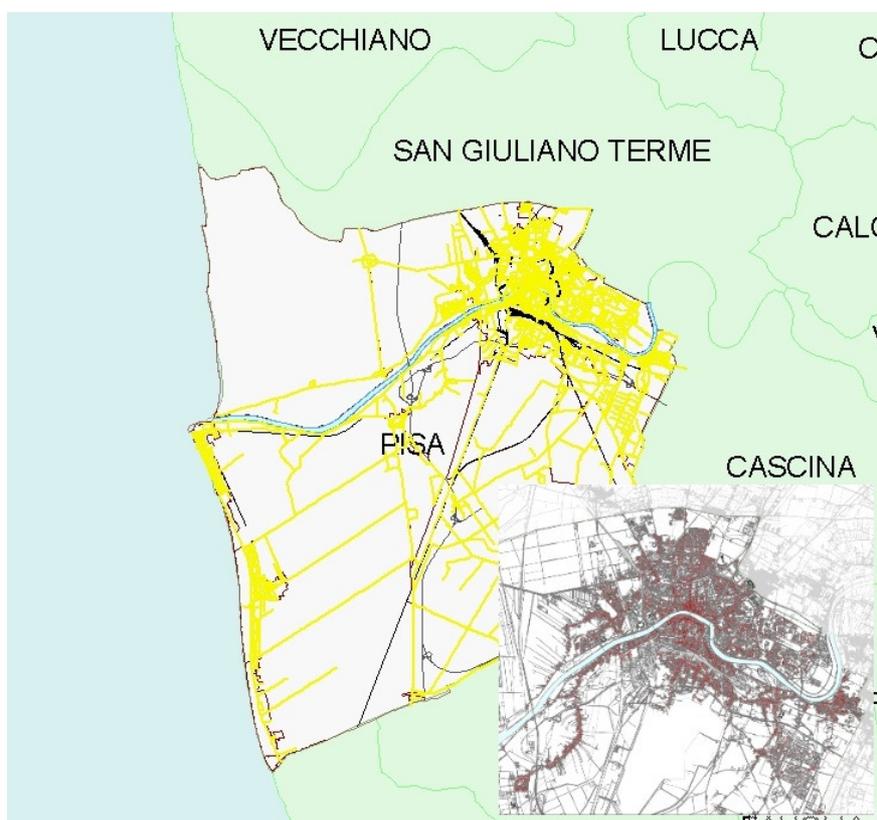


Figura 1: Area del Comune di Pisa.

Pisa è il terzo comune per estensione (185.27 kmq) nella Provincia, preceduto da Volterra e Pomarance, ricoprendo il 7.57% del territorio.

Dai dati Istat aggiornati al 2010-2011, risulta una popolazione residente di 88217 abitanti (di cui il 52.83% costituito da donne) e un numero di famiglie pari a 43302 unità. La densità di popolazione è 476.2 abitanti per kmq.

La Tabella 1 riporta alcuni dati statistici in forma sintetica (**Istat11**).

Tabella 1: Dati statistici di base Comune di Pisa

Comune di Pisa	
Popolazione residente (2011)	88217 (M 41611, F 46606)
Superficie	185.27 Km ²
Densità per Km ²	476.2
Numero di Famiglie (2010)	43302
Età media (2011)	46.3

3 Descrizione dei dati e delle sorgenti

Lo studio della mobilità richiede il contributo di molti dati eterogenei. Per l'indagine in oggetto sono stati collezionati dati provenienti da diverse sorgenti pubbliche e private.

1. Sorgenti pubbliche:
 - a. ISTAT – Dati statistici dei censimenti.
2. Sorgenti private:
 - a. OCTO TELEMATICS – Tracce GPS dei veicoli privati.
 - b. WIND s.p.a. – Dati GSM dei clienti presenti nell'area.
 - c. PisaMo s.p.a – Dati dei Pannelli a Messaggio Variabile.
 - d. CPT – Dati del trasporto pubblico urbano.

3.1 Istat – Dati del censimento 2001

I dati ISTAT 2001 riguardano i rilevamenti del 14° Censimento della popolazione e delle abitazioni 2001. Il censimento è uno strumento fondamentale per fotografare il paese ogni 10 anni, cogliendone, a livello microterritoriale, le caratteristiche e, nel confronto con gli anni precedenti, le trasformazioni da un punto di vista demografico e socio-economico. Con questa indagine, per la prima volta, sono stati censiti anche gli edifici ad uso abitativo e, limitatamente ai centri abitati, anche di quelli ad uso non abitativo. Ha rilevato, inoltre, la struttura demografica e familiare della popolazione straniera residente, le tipologie familiari, il titolo di studio più elevato conseguito in Italia o all'estero, la condizione professionale ed informazioni sulle persone non residenti. Aspettando i risultati del 15° Censimento 2011, quello del 2001 rappresenta la sorgente dati universalmente adottata per le analisi statistiche sulla popolazione residente e, con riferimento alla mobilità, per lo studio degli spostamenti sistematici.

I dati del censimento ISTAT 2001 sono a disposizione del KDD Lab da precedenti progetti, mentre altri dati statistici sono stati scaricati dal sito ISTAT (www.istat.it).

Nel contesto specifico della mobilità, i dati censuari sono tipicamente utilizzati per studiare i flussi e gli spostamenti sistematici sul territorio. Il censimento infatti raccoglie anche dati sul primo spostamento della giornata per studio o lavoro con associata l'informazione del mezzo di trasporto, della destinazione e del tempo di percorrenza.

Descrizione dei Dati

La collezione dei dati del censimento ISTAT 2001 fornisce un'immagine della popolazione e delle abitazioni del nostro Paese: la popolazione residente distinta per sesso, la popolazione presente, i cittadini stranieri residenti e non residenti, le famiglie, gli edifici e le abitazioni, occupate e non occupate, nonché gli spostamenti sistematici per studio e lavoro.

Finestra temporale

Data di riferimento: 21 Ottobre 2001

Dimensione del campione

Il dati ISTAT 2001 riguardano 56.305.568 cittadini, pari a 21.503.088 famiglie; circa 1,3 milioni di stranieri; circa 13 milioni di edifici e circa 27 milioni di abitazioni.

Per le analisi del progetto sono stati selezionati i residenti del comune di Pisa per un totale di 43.193 persone e 22.567 famiglie.

3.2 OctoTelematics – Dati GPS

OctoTelematics è una società specializzata nella fornitura di sistemi e servizi telematici per il mercato assicurativo e automotive, con una particolare attenzione per il settore della mobilità sostenibile. L'azienda, che si occupa del tracciamento di una flotta di veicoli tramite dispositivi GPS a bordo, ha fornito al KDD Lab. un campione di tali dati relativo all'area pisana.

I dati GPS consistono nella sequenza di rilevamenti spazio-temporali dei veicoli sui quali il dispositivo di posizionamento è installato. Tale dispositivo si occupa di ricostruire la posizione geografica del veicolo in modo continuo, comunicandola regolarmente alla centrale e seguendo alcune regole per la riduzione del traffico di informazioni. L'accensione e spegnimento del dispositivo è automatica e contemporanea a quella del veicolo, per cui il tracciamento avviene senza discontinuità.

Lo scopo principale della raccolta di questi dati è per scopi commerciali e al momento sono principalmente rivolti alle società assicurative che offrono ai propri clienti condizioni agevolate in cambio dell'adozione del dispositivo di tracciamento. Questo sistema consente una migliore protezione contro i furti, nonché una oggettiva misurazione delle modalità d'uso del veicolo.

Descrizione dei dati

Il dataset è un insieme di singole localizzazioni di veicoli, corredate da l'informazione temporale del rilevamento: il timestamp (data e ora).

I punti di ogni veicolo dovranno essere elaborati per ottenere un insieme di traiettorie – ovvero singoli viaggi – sulle quali effettuare le analisi.

Finestra temporale

1 Maggio 2011 – 31 Maggio 2011.

Dimensione del campione

Numero di veicoli: 158.629.

3.3 WIND – Dati di telefonia mobile (CDR)

Wind è un'azienda italiana di telecomunicazioni che offre in Italia servizi di telefonia fissa, di telefonia cellulare, Internet e di televisione via . Per numero di abbonati è in Italia il terzo operatore di telefonia cellulare (22% del mercato) dopo TIM e Vodafone e il secondo di telefonia fissa dopo Telecom Italia. Wind ha fornito al KDD Lab un campione dei dati relativi all'attività dei telefoni cellulari serviti dalla propria rete GSM. In particolare sono stati utilizzati dati di chiamata sull'area del comune di Pisa e provincia di Pisa.

I Call Data Record (CDR) sono record registrati dall'operatore di telefonia durante lo scambio di informazioni tra terminali mobili connessi alla rete. Di fatto questi dati vengono raccolti dall'operatore per scopi di fatturazione e non per il tracciamento/analisi sul traffico degli utenti. La registrazione avviene solo al momento di un evento di chiamata, di invio messaggi, di connessione ad internet. I record contengono varie informazioni per identificare il terminale e descrivere la connessione.

Descrizione dei dati

I dati riguardano il traffico vocale: i campi all'interno dei dataset, sono:

- L'identificatore unico ed anonimo associato al terminale.
- L'identificativo della cella in cui si trova il terminale all'inizio della comunicazione.
- L'identificativo della cella in cui si trova il terminale alla fine della comunicazione.
- Il timestamp dell'inizio della comunicazione.
- La durata della comunicazione.

Un record CDR ha il seguente formato:

[4609771602; PI009D1; PI009D2; 2010-11-29 18:11:36, 316]

che si legge:

“Il giorno 29/11/2010 alle ore 18:11:36, il terminale 4609771602 ha iniziato una comunicazione nella cella PI009D1 e ha terminato la comunicazione nella cella PI009D2 dopo 316 secondi”.

Finestra temporale

9 Gennaio 2012 – 8 Febbraio 2012

Dimensione del campione

Numero utenti distinti = 232.190

Record distinti = 7.782.969 (registrazioni di eventi di traffico vocale)

3.4 PisaMo – Dati dei Pannelli a messaggio variabile

I Pannelli a Messaggio Variabile (PMV) sono degli strumenti di monitoraggio del traffico e di segnalazione sintetica ai veicoli.

I pannelli, oltre a fornire un canale di comunicazione con gli utenti della rete stradale in transito, rilevano anche le statistiche di movimento sugli archi strada che monitorano. In particolare, un dispositivo di rilevamento laser misura la velocità istantanea di ogni veicolo passante comunicando al guidatore l'eventuale superamento dei limiti di velocità per il tratto considerato. Tutti i rilevamenti effettuati sono memorizzati in un server centrale in forma aggregata, tenendo traccia di varie statistiche di flusso (velocità media, count per fascia di velocità, distanza media tra veicoli successivi, ecc.).

Descrizione dei dati

Nell'area di Pisa, i PMV sono distribuiti lungo le maggiori direttive di accesso alla città e sono gestiti da PisaMo. I dati dei PMV sono memorizzati in un server non accessibile direttamente da PisaMo: è necessaria una interfaccia software fornita dal produttore dei pannelli. Al momento l'accesso ai dati si basa esclusivamente su richieste in modalità pull. I dati rilevati da ogni pannello sono istanziati sulla geografia associandoli al punto in cui si trova il pannello che li ha rilevati o all'arco strada che viene monitorato.

Finestra temporale

14 Giugno 2010 – 18 Luglio 2010

Dimensione del campione

Da ogni PMV si ottiene un rilevamento (in termini di numero di veicoli passati) per ogni ora di ogni giorno.

4 M-Atlas: uno strumento analitico per la mobilità

M-Atlas è una piattaforma di analisi di per dati di mobilità sviluppata al KddLab. In M-Atlas sono integrati strumenti di data mining e di analisi dei dati, e fornisce un supporto per implementare processi analitici a supporto delle decisioni.

La piattaforma si basa sull'idea che un progetto sia costruito a partire da alcune sorgenti di dati e dall'applicazione di operazioni su di esse. Ogni elemento della rappresentazione ad “albero” che si ha nel progetto corrisponde ad una sorgente dati o al risultato di una operazione. L'aspetto interessante di questo meccanismo sta nella possibilità di effettuare analisi anche sui risultati di

precedenti analisi, ad esempio per focalizzarsi su un sottoinsieme di dati che mostrano alcune caratteristiche particolari.

Oltre alla parte analitica, M-Atlas ha una componente grafica per la visualizzazione dei risultati analitici attraverso grafici e direttamente sulla mappa geografica reale.

Gli strumenti di analisi presenti sono:

- Statistiche di base sui dati.
- Distribuzioni spaziali.
- Matrici origine/destinazione.
- Analisi sui flussi.
- TClustering: raggruppamento di traiettorie in gruppi omogenei in base a criteri di similarità.
- TItineraries: itinerari comuni alle traiettorie in analisi.
- TPatterns: pattern di spostamento che considerano la sequenza di aree visitate ed il tempo di spostamento tra una e l'altra.

M-Atlas consente di inserire interrogazioni utilizzando il linguaggio DMQL (Data Mining Query Language), un linguaggio che estende SQL con costrutti, tipi di dato ed operazioni specifici per dati di mobilità. Questo linguaggio consente di scrivere veri e propri programmi che realizzano (e consentono di eseguire più volte) analisi anche molto articolate. Ogni elemento del progetto costruito con M-Atlas viene rappresentato tramite la sequenza di interrogazioni DMQL che lo hanno generato, cosicché il progetto risulta facile da registrare e recuperare.

5 Quadro insediativo

Il quadro insediativo fornisce una descrizione della popolazione presente sul territorio a vari livelli di dettaglio e per tipologia (residenti, pendolari, stagionali, ...), nonché delle strutture quali servizi, scuole e servizi commerciali. Questo quadro è utile per catturare le dinamiche demografiche ed insediative dell'area in analisi e completare il profilo strutturale dell'area urbana.

5.1.1 Dettaglio insediativo Censimento Istat 2001 e dati Istat 2011

Le statistiche di questa sezione sono state calcolate utilizzando sia i dati del censimento Istat 2001 (che offrono una visione a livello Comune) che quelli pubblicati sul sito Istat risultanti dagli ultimi rilevamenti 2011.

Tabella 2: Statistiche sui dati Censimento Istat 2001

Comune di Pisa	
Popolazione censita	43193
Nr. Famiglie	22569
Nr. Medio di abitanti per famiglia	1.91

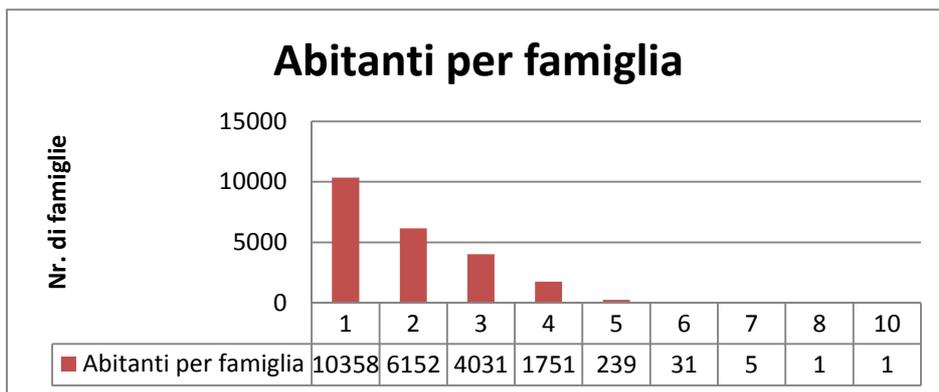


Figura 2: Comune di Pisa - Abitanti per famiglia (Istat 2001)

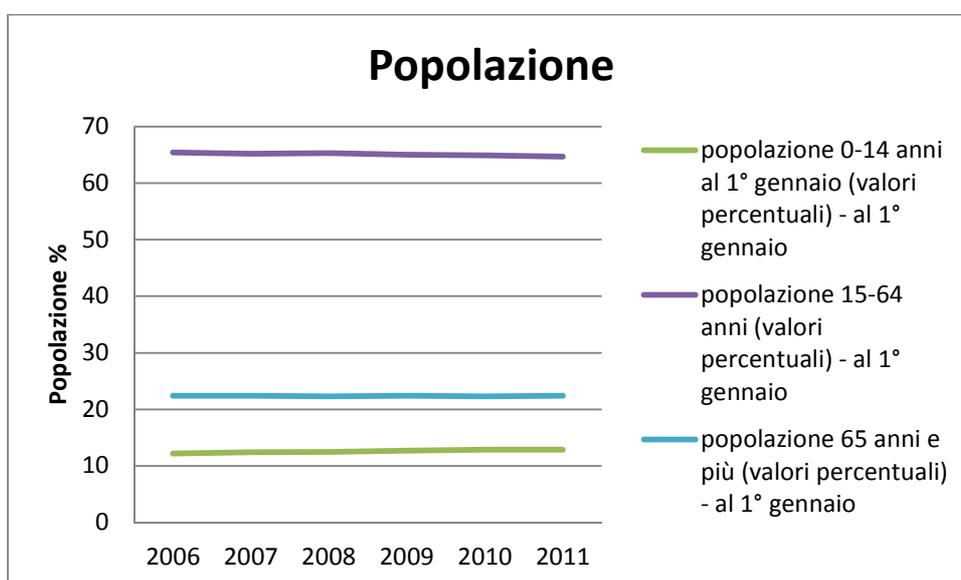


Figura 3: Andamento della popolazione nella provincia di Pisa (%) – Dati Istat 2011

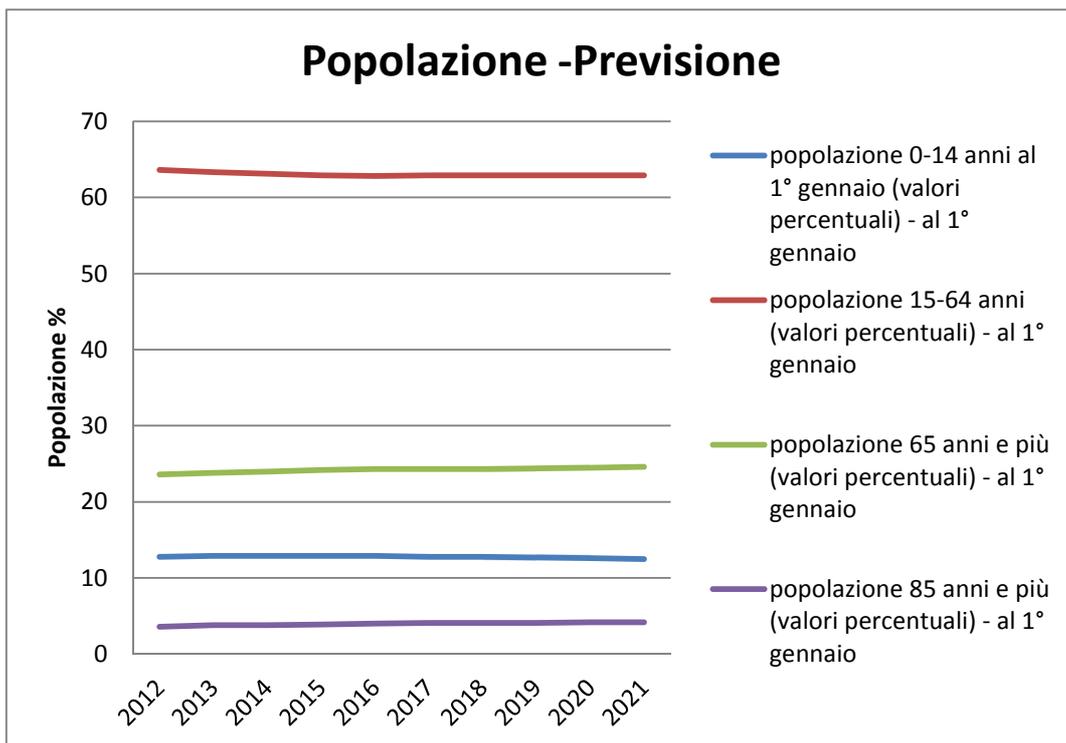


Figura 4: Andamento della popolazione – Previsione sulla Toscana (%) (Istat 2011)

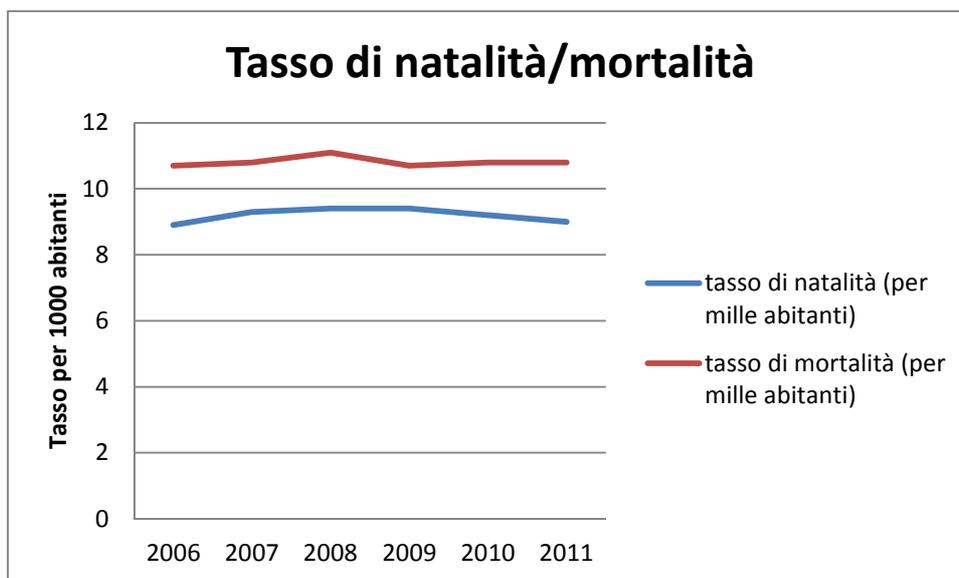


Figura 5: Tasso di natalità/mortalità della Prov. di Pisa (Istat 2011).

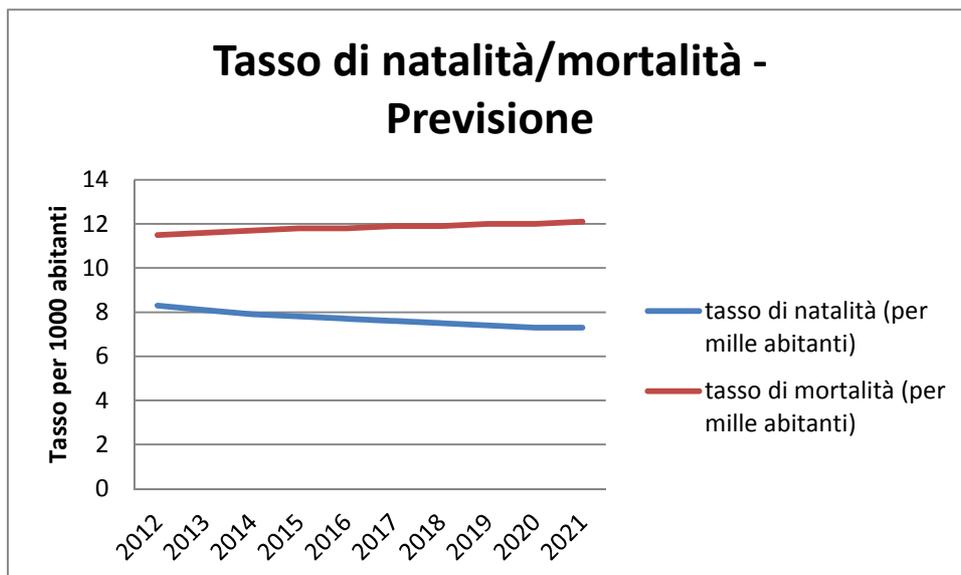


Figura 6: Tasso di natalità/mortalità - previsione sulla popolazione della Toscana (Istat 2011)

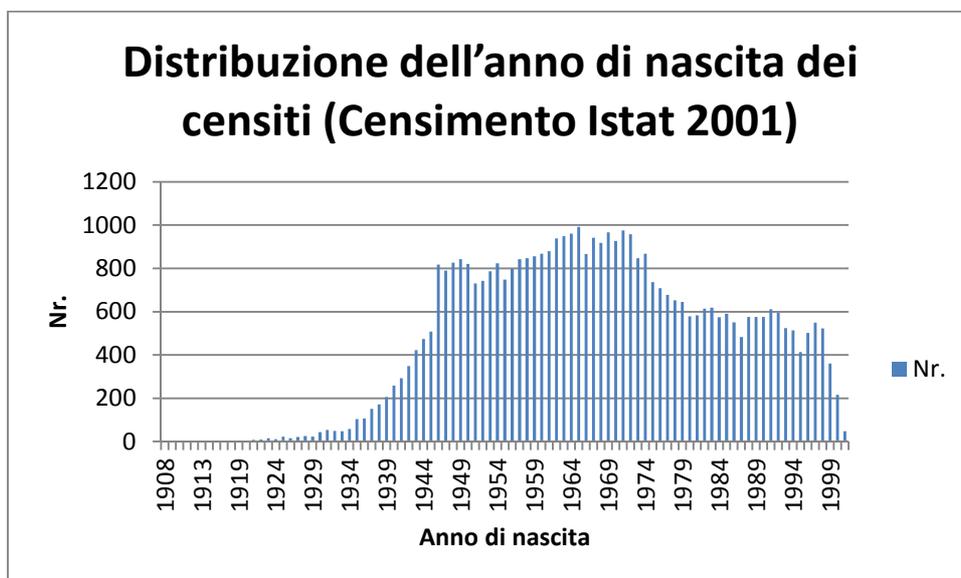


Figura 7: Distribuzione dell'anno di nascita dei soggetti censiti nel comune di Pisa (Cen01, 2001).

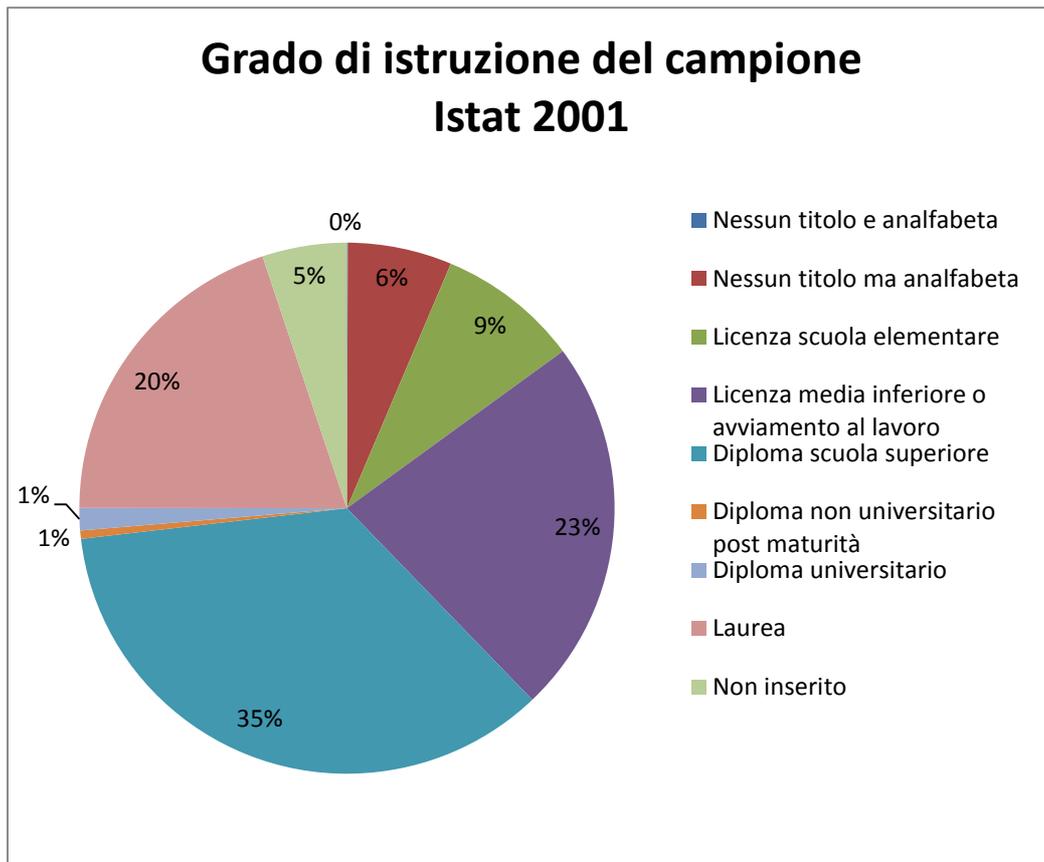


Figura 8: Grado di istruzione del campione censimento Istat 2001 (Cen01, 2001).



Figura 9: Mappa di densità della popolazione censita per ogni sezione censuaria nel comune.



Figura 10: Zoom sulla città di Pisa.

6 Quadro infrastrutturale e offerta di trasporto

[Linee del trasporto pubblico, strade, parcheggi, percorsi ciclo pedonali, sistema della viabilità]

/*Descrizione delle infrastrutture*/

7 Quadro della domanda di mobilità

Il quadro della domanda di mobilità descrive i fenomeni e fornisce delle misure per la domanda di mobilità in termini di richieste dei cittadini di infrastrutture e servizi per spostarsi all'interno della città.

Il parametro di riferimento di base è il flusso di traffico e la mobilità ciclo-pedonale.

Dallo studio della letteratura e dai documenti ministeriali e comunitari in tema di mobilità si identificano diversi parametri per descrivere la mobilità e una certa quantità di indicatori necessari per misurare tale domanda. Questi indicatori, che sono di tipo qualitativo e quantitativo, costituiscono i pilastri di base da cui partono le analisi e i piani di modifica.

Gli indicatori generali della mobilità servono per descrivere un quadro generale della mobilità analizzando flussi veicolari, viabilità, propensione agli spostamenti con riferimento alla capacità della rete stradale.

Un'analisi più dettagliata è fornita dagli indicatori di mobilità privata e pubblica. I primi si concentrano sullo studio degli spostamenti dei singoli cittadini e agli eventi legati alla mobilità che rappresentano situazioni critiche quali incidentalità, vittime e rischio, mentre i secondi si focalizzano sull'analisi del trasporto pubblico e la sua capacità di soddisfare la richiesta collettiva di mobilità.

Infine la domanda di mobilità è catturata attraverso una serie di misure che tentano di riassumere sinteticamente i bisogni dei cittadini in base alle abitudini di spostamento.

Qui di seguito sono riportati in forma sintetica i principali parametri e indicatori.

Indicatori generali della mobilità

- Flussi di traffico per la rete stradale primaria urbana;
- Composizione del traffico per la rete stradale primaria urbana;
- Fluttuazione del traffico per la rete stradale primaria urbana;
- Struttura origine/destinazione degli spostamenti;
- Andamenti in sede storica dei diversi fenomeni;
- Flussi di traffico sulla rete stradale territoriale, sulla base dei dati esistenti;
- Flussi della mobilità ciclabile;
- Flussi della mobilità pedonale.

Indicatori di mobilità privata

- Rete di trasporto.
 - Distribuzione della rete viaria per tipologia (autostrade, strade statali, strade provinciali, strade Comunali).
- Incidentalità.
- Vittime e rischio.
- Spostamenti e vulnerabilità.

(La vulnerabilità misura il rapporto tra le vittime e il volume complessivo degli spostamenti in una determinata area. Poiché il volume degli spostamenti esprime anche l'esposizione al rischio, il rapporto tra numero di vittime ed esposizione al rischio consente di misurare quella che potremmo indicare come la pericolosità specifica, ovvero la vulnerabilità di una determinata area o di una data infrastruttura.
- Ripartizione delle vittime per strada
- Suddivisione delle tratte in base al livello di rischio.
- Consumi di carburante

Indicatori della mobilità pubblica

- Analisi del servizio.
- Dati di frequentazione.
- Integrazione con i vari servizi di TPL.

Misure della domanda di mobilità

- La scelta del mezzo di trasporto.
 - Individuazione della tipologia di mezzo di trasporto utilizzato per gli spostamenti.
 - Statistiche e confronti sull'uso di mezzo proprio vs. mezzo pubblico.
- Motivo degli spostamenti.
 - Suddivisione spostamenti per motivo.
 - Suddivisione spostamenti per mezzo di trasporto e motivo.
- Gli orari di uscita dall'abitazione e i tempi di percorrenza.
 - Orari e tempi di percorrenza.
 - Ripartizione, per mezzo di trasporto, spostamenti.
- Motorizzazione.
 - Disponibilità di autovetture pro-capite e per nucleo familiare.
- Rilievi di traffico.
- Ubicazione delle sezioni di rilevamento.
 - Ubicazione sezioni di rilevamento dei flussi di traffico.
- Valori dei flussi veicolari per sezione.
- Analisi comparata tra flussi interni ed esterni.
- Le indagini cordonali.

- Gli spostamenti sulla rete autostradale.
- Andamento del traffico sui tronchi afferenti al nodo della città.
- Analisi della domanda di trasporto autostradale annuale e giornaliera.
- Rilevazioni sui servizi ferroviari

Lo studio sulla mobilità è stato ricostruito prevalentemente utilizzando l'indagine alle famiglie come da censimento ISTAT 2001 opportunamente integrato con altre analisi statistiche e di data mining su dati di mobilità provenienti da diverse sorgenti.

Il documento del censimento ISTAT 2001 rappresenta attualmente la fonte di dati di riferimento per questo tipo di analisi utilizzato dalle amministrazioni e dai centri di statistica.

Tuttavia, contendo dati di 11 anni fa, non rappresenta più una fonte attendibile di informazioni poiché ci aspettiamo che in questi anni la distribuzione della popolazione e la domanda di mobilità siano cambiate notevolmente. Da qui l'esigenza di integrazione con dati più aggiornati spesso provenienti da survey collezionate successivamente su campioni di popolazione, o da altri tipi di dati, quali dati di telefonia (GSM) e dati GPS.

7.1 Personalizzazione degli indici per lo studio della mobilità Pisana

Con i dati di mobilità attualmente disponibili è possibile calcolare un sottoinsieme di indicatori che si focalizzano prevalentemente sul traffico veicolare e il trasporto pubblico urbano (bus urbani e extraurbani).

Per disegnare un quadro analitico ad alto livello, si riporta in forma schematica come ogni indicatore calcolabile è stato adattato al caso di studio dell'area Pisana.

Quadro della domanda di mobilità	
	Indicatori generali
	<i>Flussi di traffico da origine a destinazione a diverse granularità spaziali: a livello città, comune, provincia... (non ancora su rete stradale). Uso dei GPS. È possibile simulare dei check-point utilizzando i PMV.</i>
	<i>Fluttuazione del traffico: Analisi su fasce orarie ma per macro-aree (non su rete stradale). Uso dei dati GPS.</i>
	Struttura origine/destinazione degli spostamenti
	Indicatori di mobilità privata
	<i>Profili individuali di mobilità</i>
	<i>Traffico sistematico e occasionale.</i>
	Indicatori di mobilità pubblica
	<i>Analisi del servizio. Nuove analisi sulla proposta di TPL del Comune.</i>
	<i>Integrazione con i vari servizi di TPL. Uso dei dati TPL e GPS.</i>
	Misure della domanda di mobilità
	<i>La scelta del mezzo di trasporto. Statistiche condotte sui dati Istat 2001.</i>
	<i>Motivo degli spostamenti. Statistiche condotte sui dati Istat 2001.</i>
	<i>Gli orari di uscita dall'abitazione e i tempi di percorrenza. Statistiche condotte sui dati Istat 2001.</i>
	<i>Rilievi di traffico. Uso dei dati GPS e PMV.</i>
	<i>Ubicazione delle sezioni di rilevamento. Dato fornito dal</i>

	<i>committente (posizione PMV, scelta dei check-point)</i>
	Valori dei flussi veicolari per sezione. <i>Analisi con matrice OD sui dati GPS.</i>
	Analisi comparata tra flussi interni ed esterni. <i>Analisi con matrice OD sui dati GPS. Analisi dei Bordi Territoriali (Borders).</i>
	Le indagini cordonali. <i>Studio sui dati dei PMV.</i>
	Andamento del traffico sui tronchi afferenti al nodo della città.

7.2 La mobilità privata

7.2.1 Profili individuali di mobilità

Questo studio ha l'obiettivo di identificare dei veri e propri profili di utenti in base alla loro attitudine alla mobilità e al modo in cui si spostano. Data la storia di tutti gli spostamenti di un utente descritta dalle tracce GPS, si vogliono estrarre un insieme di routines per creare il suo mobility profile. Una Routine è un comportamento tipico di un individuo e un Mobility profile è l'insieme delle sue routine.

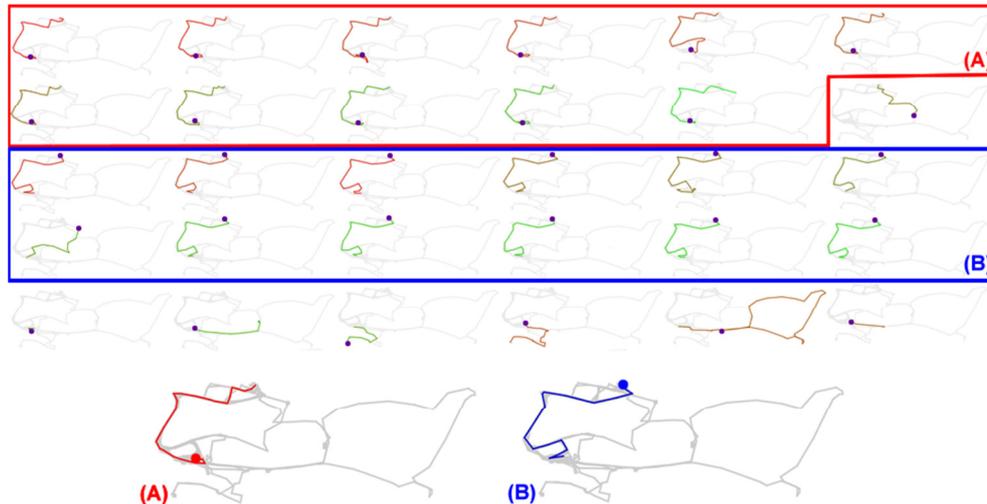


Figura 11: Esempio – La storia di un utente e i corrispondenti gruppi e routines estratti (A e B). Dei 30 viaggi considerati, 11 ricadono nel gruppo A e 12 nel B, mentre i rimanenti 7 vengono classificati come “viaggi occasionali” (e quindi sono scartati).

7.2.2 Traffico sistematico e occasionale

L'estrazione dei profili come descritto nella sezione precedente, è il punto di partenza per l'identificazione del traffico sistematico e occasionale.

In base al calcolo dei profili, ogni routine è associata con una misura di frequenza che identifica un indicatore di sistematicità individuale. Le routine sono ordinabili in base alla loro frequenza: rank 1, rank 2, rank 3, ...

Un viaggio è classificabile in sistematico o occasionale confrontando l'indice associato rispetto ad una soglia minima di accettabilità.

Figura 12 presenta l'impatto degli itinerari sistematici (i più frequenti) sul totale degli itinerari sul campione di individui dell'area pisana. Per l'insieme degli individui con stesso numero di viaggi, si calcola la percentuale dei viaggi sistematici sul totale (asse y). Mediamente il viaggio più frequente (rank 1) pesa per il 13%, il secondo per il 10% e gli altri per circa il 5%. La mobilità sistematica rappresenta quindi in media il 30-35% dei viaggi totali di un individuo. Di questi viaggi è interessante studiare la lunghezza (Figura 13) e la durata (Figura 14).

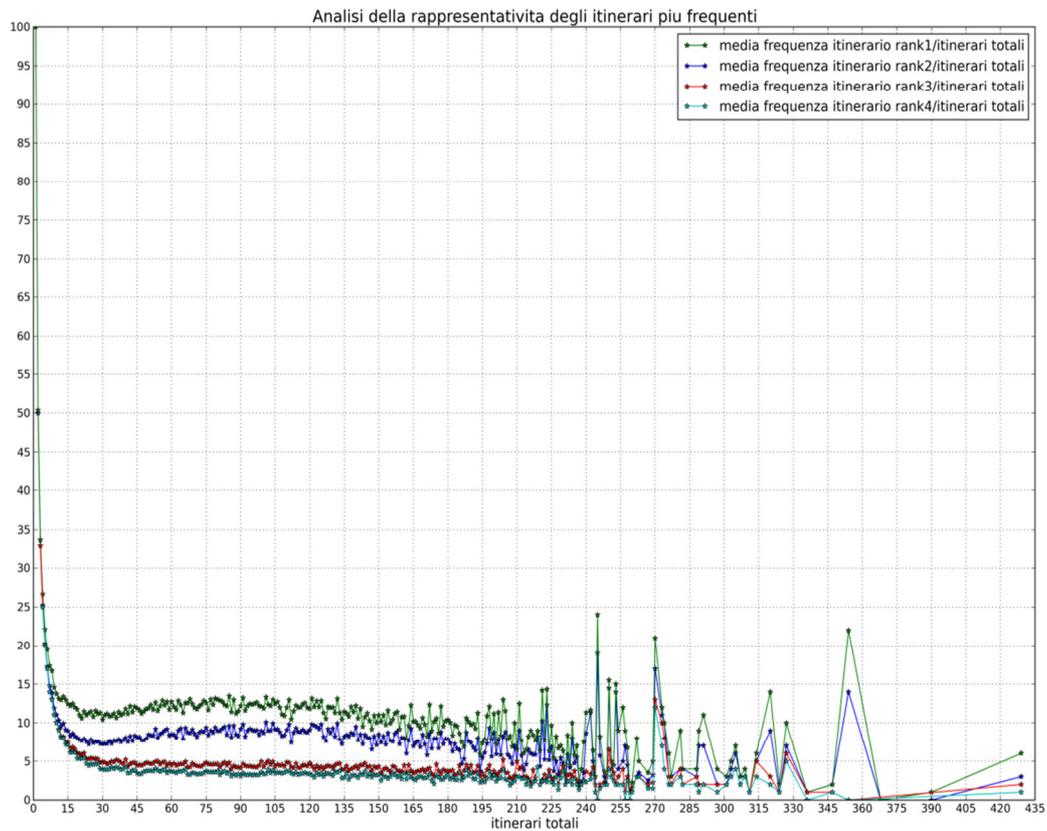


Figura 12: Rapporto dei viaggi sistematici e occasionali

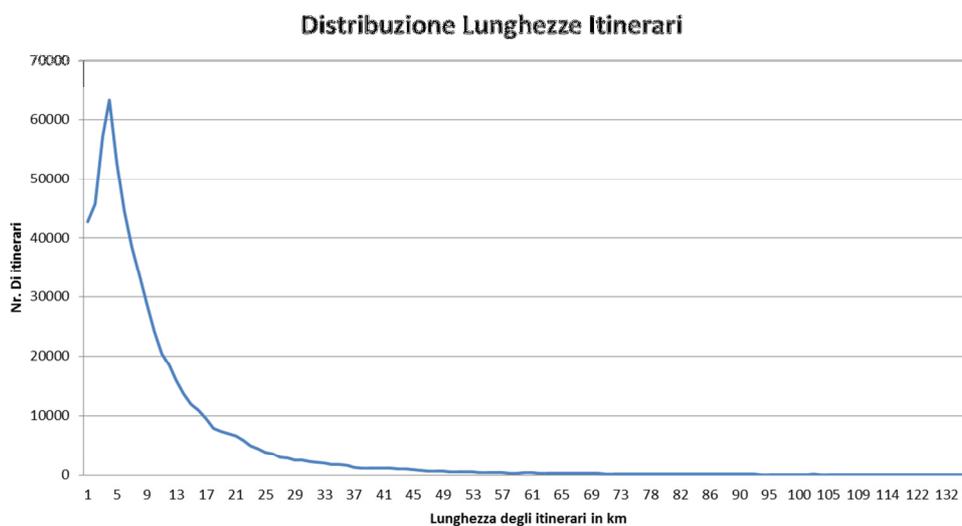


Figura 13: Distribuzione della lunghezza degli itinerari sistematici

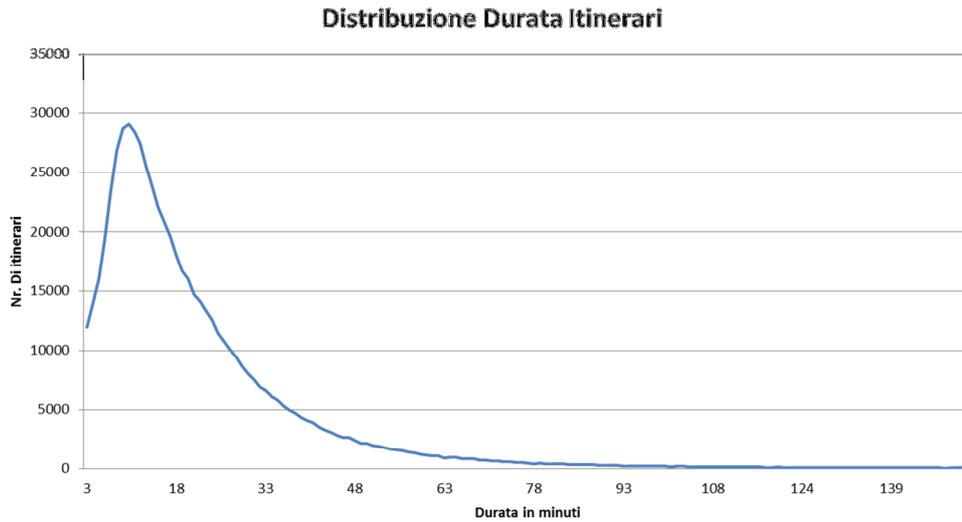


Figura 14: Distribuzione della durata dei viaggi

Figura 15 mostra il dettaglio della distribuzione oraria dei viaggi sistematici, fornendo una indicazione di quando prevalentemente gli individui si spostano per i loro viaggi abituali. Nel grafico sono messe a confronto le distribuzioni del campione dell'area pisana (linea azzurra) con quello della Toscana (linea tratteggiata).

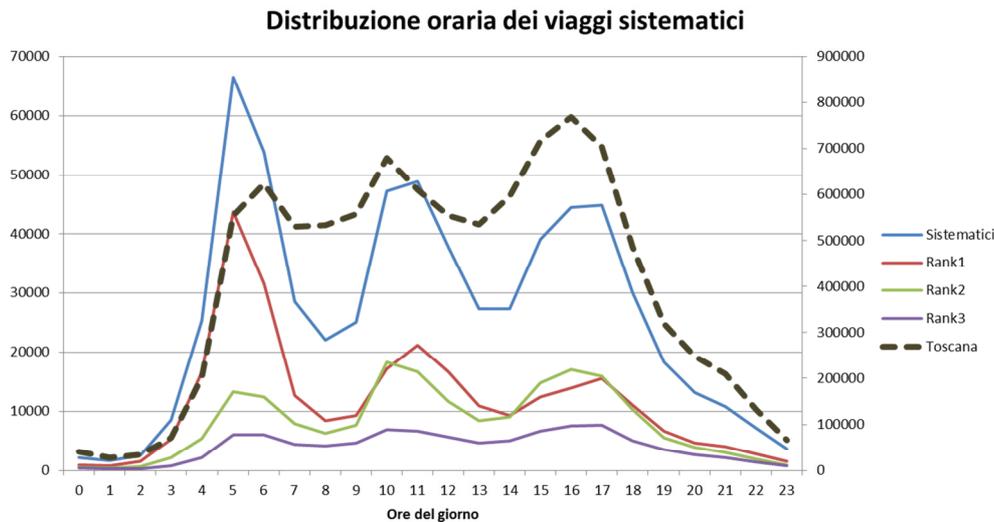


Figura 15: Distribuzione oraria dei viaggi sistematici

In accordo con lo studio appena mostrato, la mobilità cittadina è caratterizzata dagli indicatori di mobilità di Figura 16 e dai grafici di Figura 17 e Figura 18.

Pisa ha un flusso sistematico importante paragonabile a quello di Firenze: questo sta ad indicare che la città rappresenta un polo attrattivo per molti lavoratori e studenti pendolari. Inoltre, rispetto alla media del movimento sistematico rilevato tra i comuni dell'area pisana, la città ha delle percentuali maggiori (Figura 16).

	In	Legenda	Out
Pisa	5181	Sistematico	4757
	14740	Totale	14897
	0,35	Ratio	0,32
Firenze	8812	Sistematico	8403
	28285	Totale	29869
	0,31	Ratio	0,28
Area Pisana	5327	Sistematico	5075
	17181	Totale	17389
	0,31	Ratio	0,29

Figura 16: Indicatori di mobilità a livello cittadino: Indicatore degli ingressi (In) e indicatore delle uscite (Out).

Per quanto riguarda la lunghezza degli itinerari, gli individui che raggiungono Firenze provengono in media da più lontano. Pisa si conferma ancora un polo di attrazione prevalentemente per i comuni limitrofi anche se non è da sottovalutare l'incidenza di coloro che provengono da più lontano utilizzando il servizio ferroviario (Figura 17).

In accordo a quanto detto, anche le durate dei viaggi sono proporzionali, quindi si evidenziano durate maggiori per gli itinerari diretti a Firenze (Figura 18).

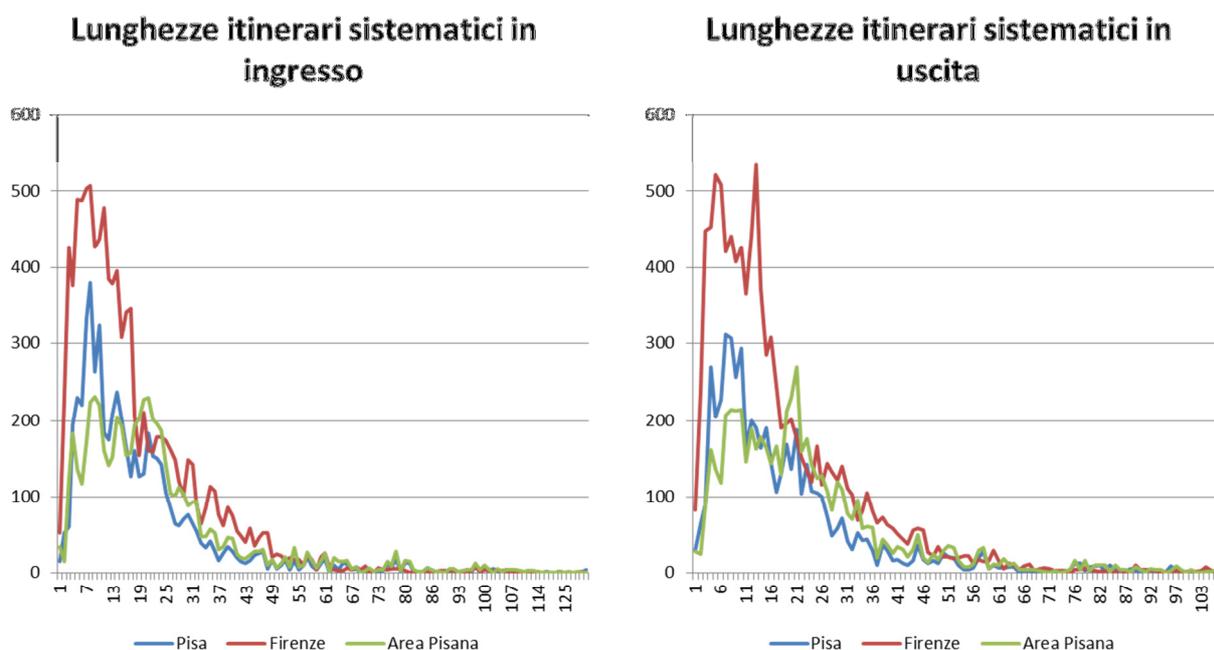


Figura 17: Lunghezza degli itinerari sistematici in ingresso e uscita a livello cittadino.

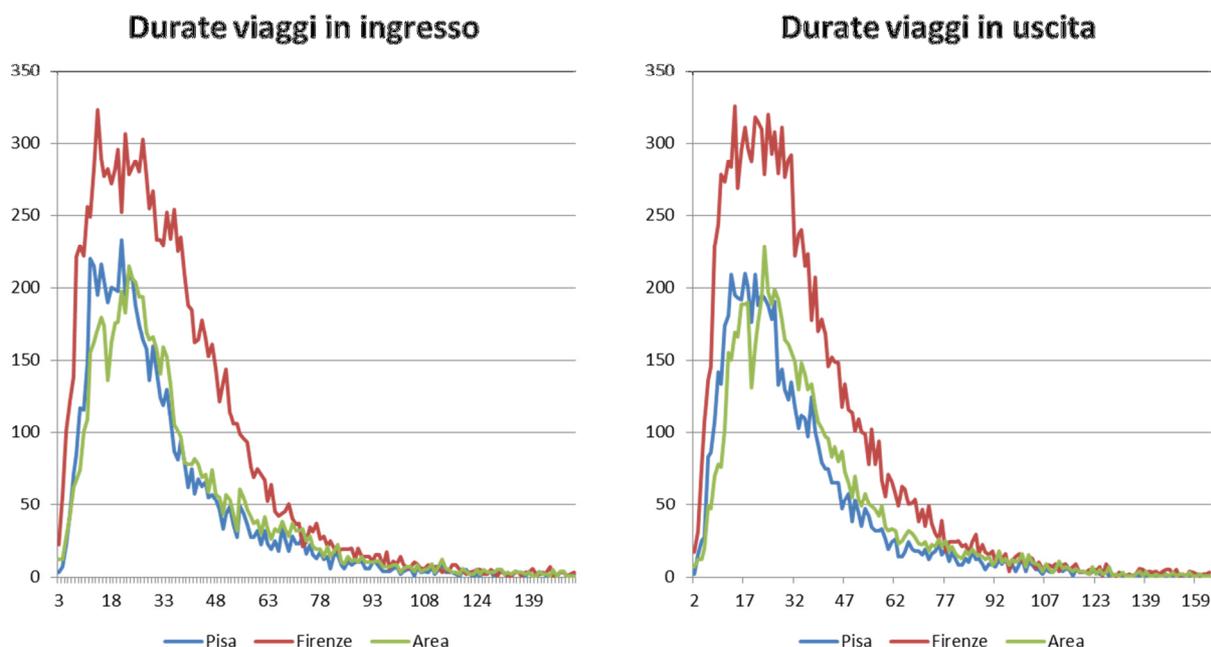


Figura 18: Durate degli itinerari sistematici in ingresso e uscita a livello cittadino

Utilizzando una metodologia di clustering sulle traiettorie dei viaggiatori sistematici, siamo riusciti ad identificare una serie di percorsi tipici di accesso alla città. I gruppi di viaggi, oltre a delineare una mappa delle principali vie di accesso, mettono in evidenza le aree di provenienza.

In generale, gli utenti che provengono da luoghi più lontani tendono ad usare le strade di grande comunicazione (autostrada o superstrada). Questo comportamento è evidente nei gruppi rosso, celeste, giallo e viola.

Diverso è il caso del gruppo rosa, dove le traiettorie sono di individui provenienti dai comuni limitrofi. Questi presentano una maggiore diversificazione nella modalità di accesso alla città dovuto alla maggiore possibilità di scelta data dalla rete stradale.

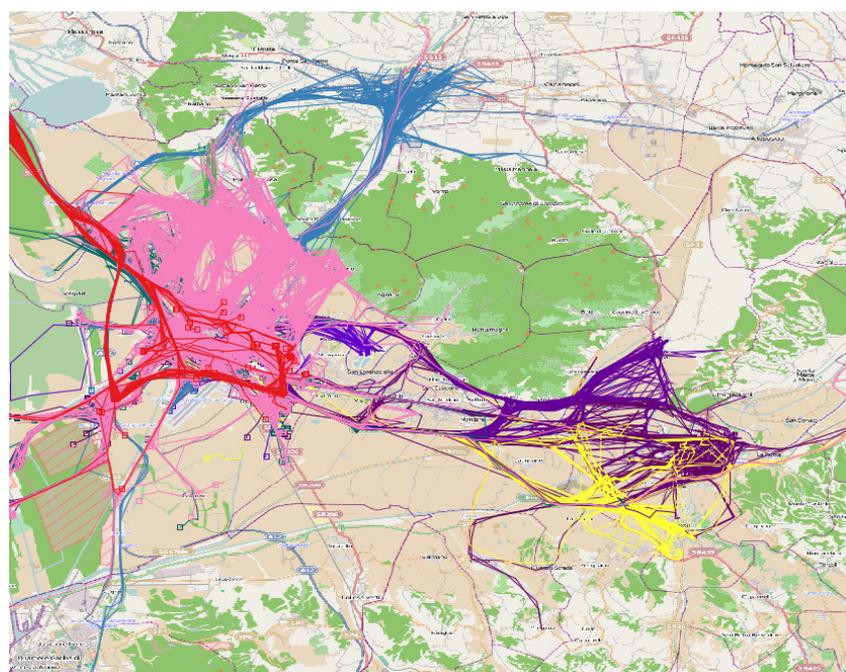


Figura 19: Viaggi sistematici sui percorsi di accesso a Pisa.

7.3 La mobilità pubblica

7.3.1 Analisi del Trasporto Pubblico Locale

Combinando i dati di mobilità privata e quelli del TPL è possibile capire se e come la mobilità privata sia (e può essere) servita da quella pubblica. Gli obiettivi sono di evidenziare eventuali mancanze, sprechi di risorse e suggerire miglioramenti/potenziamenti del TPL.

L'idea di base utilizza le traiettorie GPS tra le origini e destinazioni di interesse e verifica se esistono una o più linee del TPL che collegano tali punti. La verifica di tale corrispondenza riguarda sia la dimensione spaziale che quella temporale. Infatti, perché un utente sia incentivato ad abbandonare il mezzo privato a favore del pubblico, deve avere un'offerta che lo soddisfi in termini di raggiungibilità e fattibilità temporale (orari di partenza e arrivo simili, tempo di viaggio accettabile).

Figura 20 mostra con un esempio quanto appena detto: la linea tratteggiata corrisponde al viaggio di un utente, e in rosso e in blu le linee del TPL disponibili. In questo caso il servizio pubblico è in grado di soddisfare pienamente le esigenze dell'utente. L'utente può effettuare lo stesso viaggio utilizzando una combinazione di autobus (B + A), raggiungendo la sua destinazione più o meno alla stessa ora.

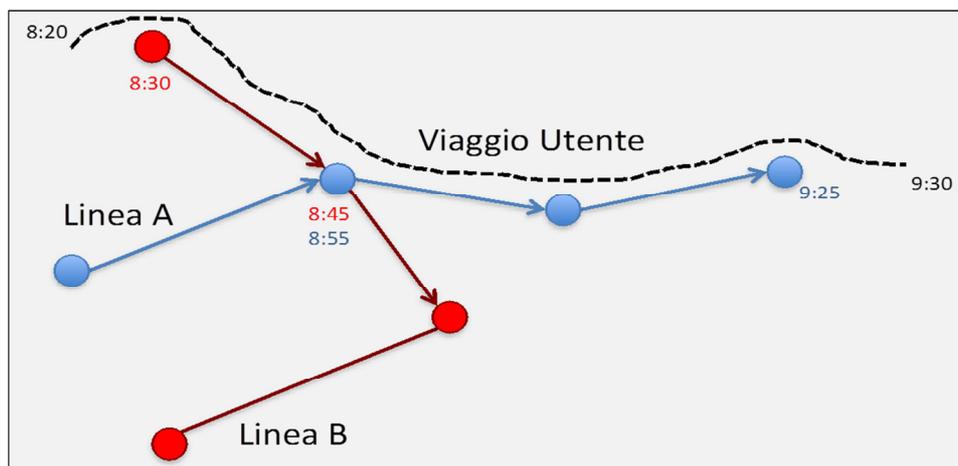


Figura 20: Trasporto privato vs TPL.

7.3.1.1 Caso di studio: Pontasserchio – San Giuliano – Pisa Nord

In questo caso di studio si identificano tutti i flussi veicolari descritti dalle traiettorie GPS che dalle zone Pontasserchio, Pappiana e San Giuliano Terme raggiungono la zona nord di Pisa.

Figura 21 mostra i punti di origine (punti blu nell'area gialla) e destinazione (punti rossi nell'area grigia) delle traiettorie utilizzate nell'esempio. Le linee in rosso sono le linee del TPL vicine ai luoghi di partenza degli itinerari.

Le zone di origine e destinazione sono ben collegate dal TPL, infatti la maggior parte dei punti di origine e destinazione si trovano nei pressi di una delle linee. Questo traffico può rappresentare un buon bacino di utenza per le nuove linee del trasporto qualora ci sia, oltre ad una corrispondenza spaziale, anche una corrispondenza temporale tra viaggi privati e corse dei bus.

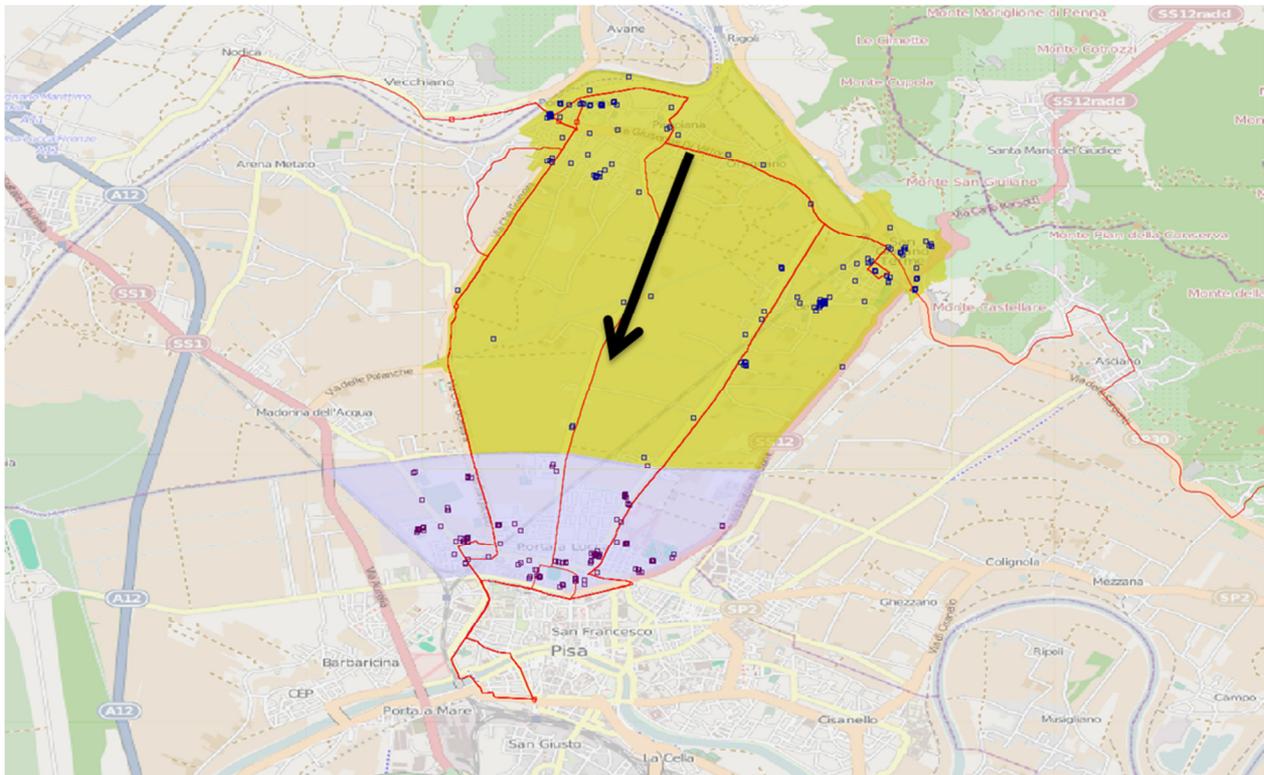


Figura 21: Confronto traiettorie private con le linee Pontasserchio – San Giuliano – Pisa Nord

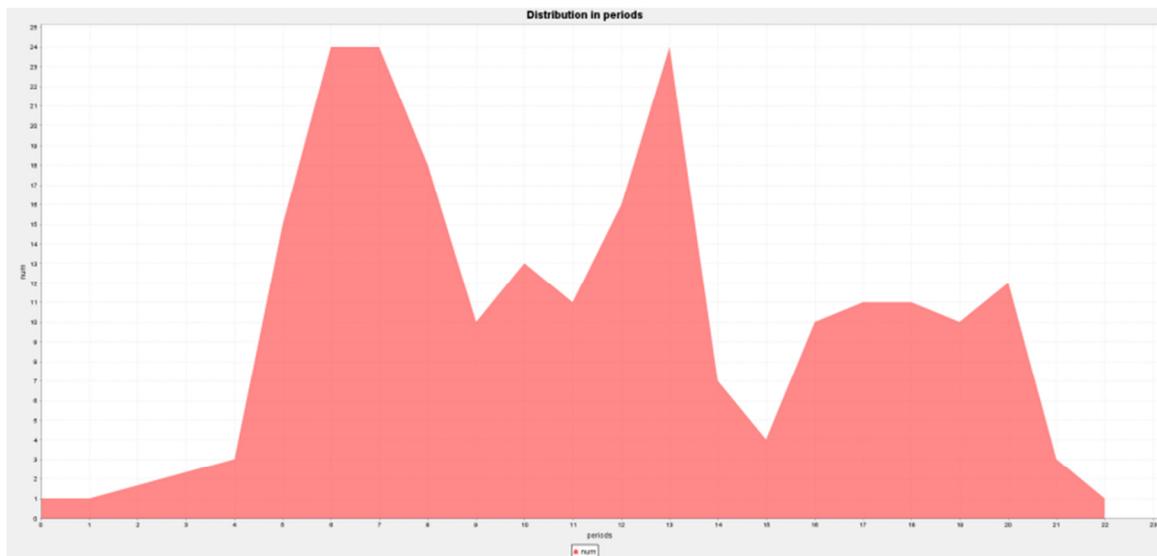


Figura 22: Distribuzione oraria giornaliera dei viaggi privati.

La distribuzione oraria di Figura 22 evidenzia due picchi di traffico nelle fasce orarie tipiche dei tragitti casa-lavoro, lavoro-casa. Questo suggerisce un'alta percentuale di viaggi sistematici. I restanti viaggi (nelle altre fasce orarie) possono essere considerati come viaggi non legati alle attività di lavoro o studio e quindi difficilmente etichettabili, con certezza, come sistematici. I viaggi identificati come sistematici e con evidente picco di presenza, rappresentano una domanda di mobilità prevedibile e quindi un bacino potenziale di utenza per il trasporto pubblico.

7.3.1.2 Caso di studio: Madonna dell'acqua – Pisa Nord Ovest

Analogamente al caso di studio mostrato nella sezione precedente, qui si identificano tutti i flussi veicolari che dalle zone di Arena metato, Sterpaia, Madonna dell'acqua raggiungo la zona nord ovest di Pisa. Figura 23 mostra i punti di origine (punti blu nell'area gialla) e destinazione (punti rossi nell'area grigia) delle traiettorie utilizzate nell'esempio. Le linee in rosso sono le linee del TPL vicine ai luoghi di partenza degli itinerari e in nero le altre linee TPL.

Come mostrato in figura, la zona di destinazione non è direttamente raggiungibile con il TPL e in alcuni casi si rende necessario un cambio in centro città che può risultare sconveniente. Il fenomeno di mobilità reale riscontrato, fa emergere la necessità di un intervento di potenziamento/miglioramento del TPL per intercettare gli utenti provenienti da nord ovest.

La distribuzione oraria di Figura 24 evidenzia due picchi di traffico. Il primo della mattina, è il classico flusso del tragitto casa-lavoro/scuola. Il secondo nel primo pomeriggio, fa pensare a coloro che rientrano alla sede di lavoro in Pisa dopo la pausa pranzo a casa. Questo suggerisce un'alta percentuale di viaggi sistematici. Come nel caso precedente, per i restanti viaggi non è possibile fare delle assunzioni precise.

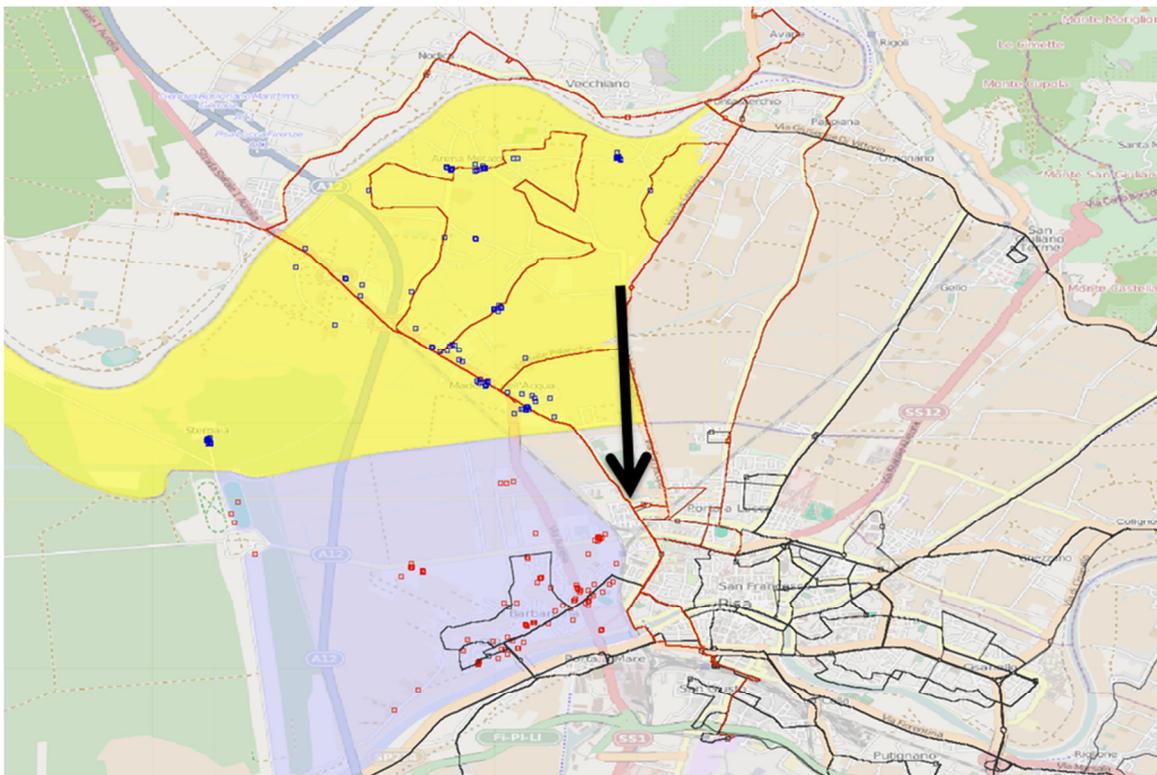


Figura 23: Confronto traiettorie private con le linee Madonna dell'acqua - Pisa Nord ovest.

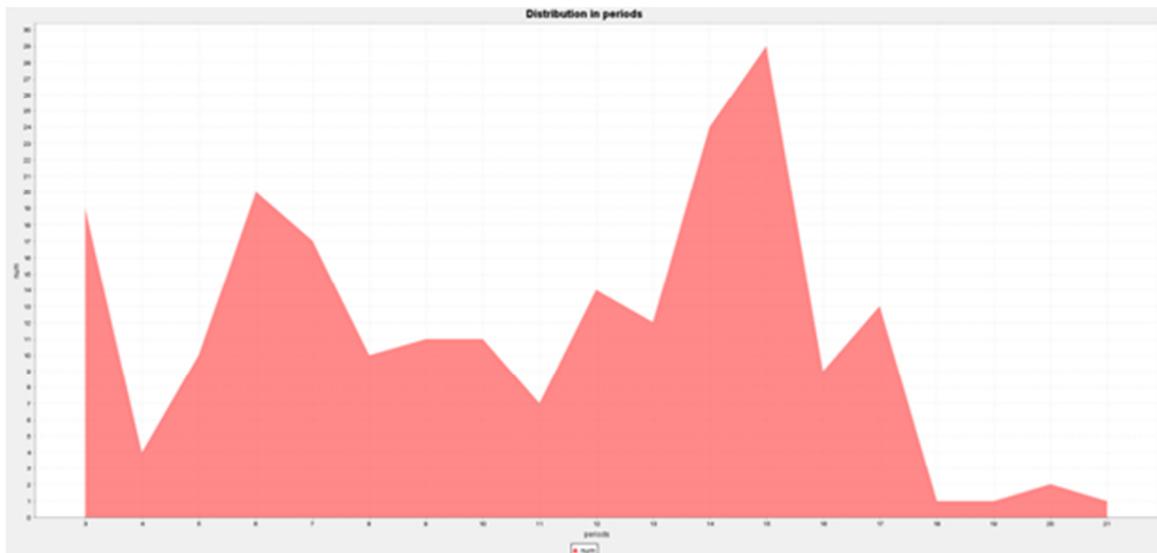


Figura 24: Distribuzione oraria giornaliera dei viaggi privati

7.4 La domanda di mobilità

7.4.1 La domanda di mobilità descritta dal campione ISTAT 2001

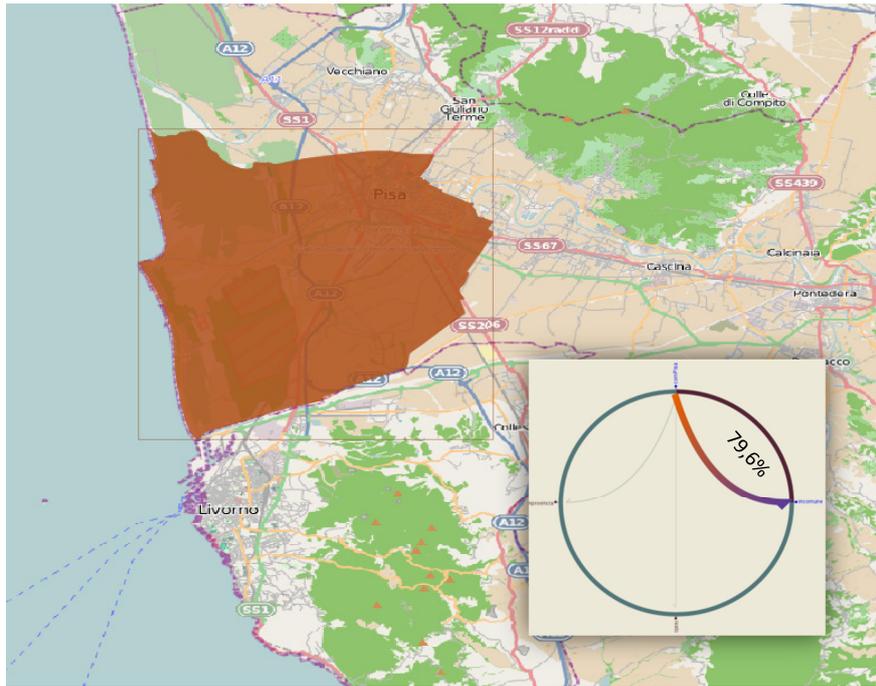
Dal campione statistico del censimento Istat 2001, possiamo ottenere le prime statistiche sulla mobilità sistemata. In particolare, si possono distinguere i flussi interni al comune di Pisa da quelli verso e da l'esterno e per ognuno di questi studiare le modalità di spostamento (mezzo utilizzato) e i tempi di percorrenza, con riferimento ai percorsi sistematici casa-lavoro.

Tipi di spostamento

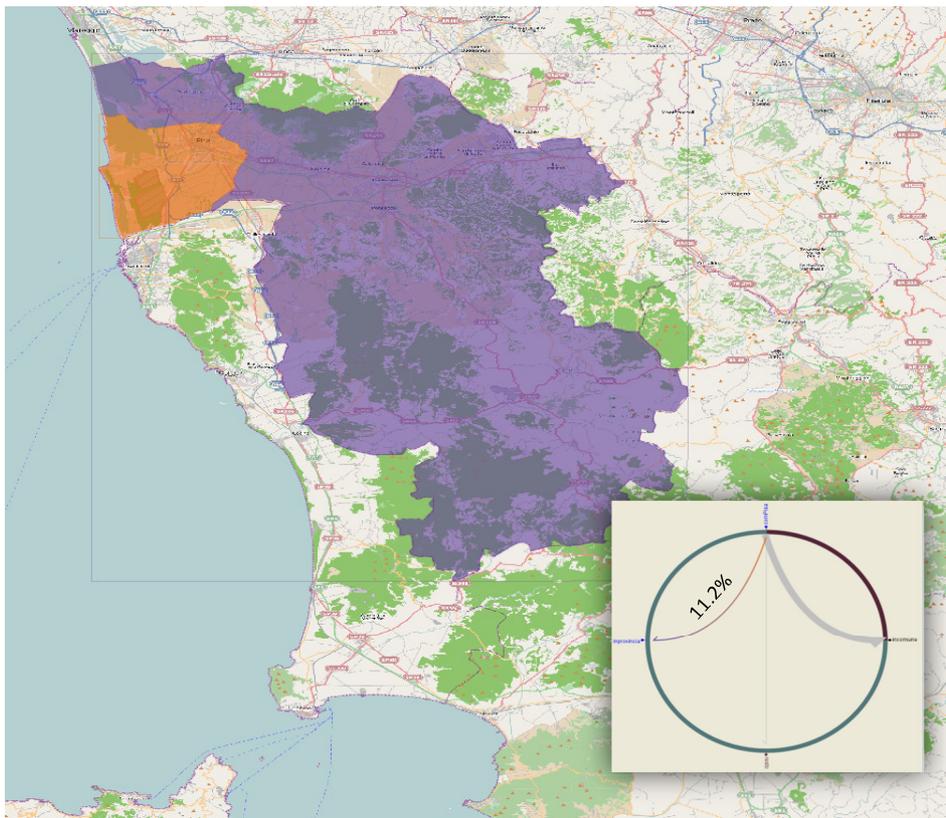
Flussi interni e flussi uscenti

Partendo dall'analisi degli spostamenti dei residenti nel comune di Pisa, Figura 26, Figura 26 e Figura 27 mostrano le tipologie di spostamento e le percentuali di soggetti che effettuano sistematicamente tale spostamento per studio o lavoro (flusso interno e flusso uscente). Il 79.6% è un flusso interno al comune, l'11.2% è un flusso in uscita verso un altro comune della provincia di Pisa mentre il 9.2% è un flusso in uscita verso un'altra provincia Toscana.

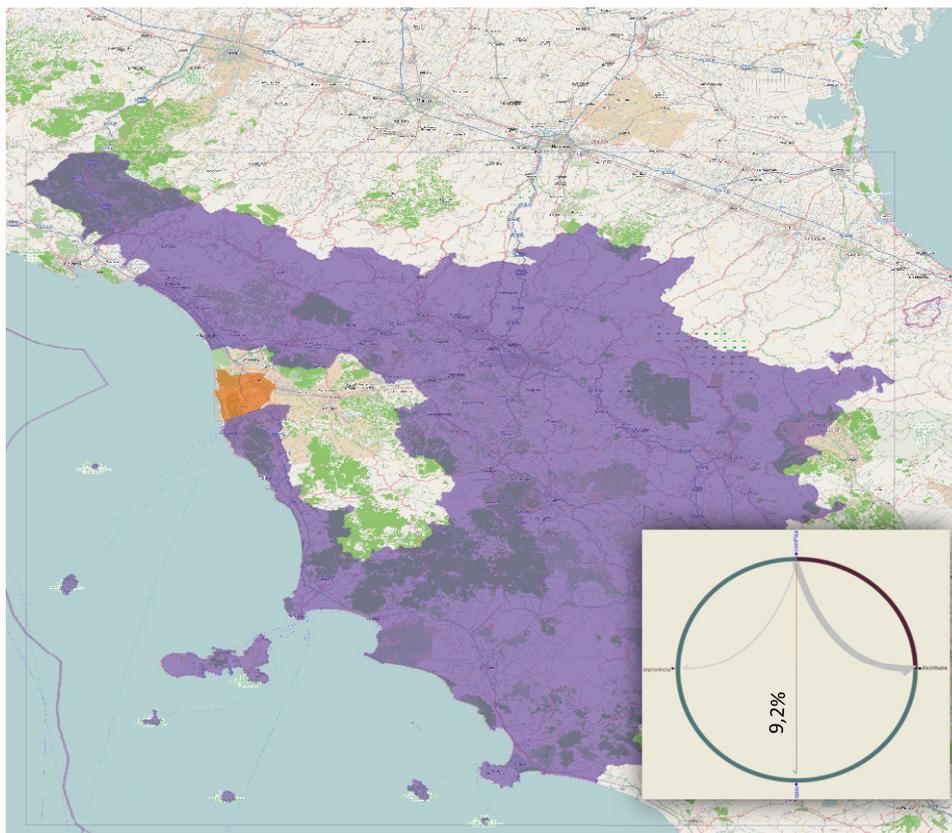
Mentre sono prevalenti gli spostamenti all'interno del comune, gli spostamenti verso altri comuni della provincia e quelli verso altre province si equilibrano.



**Figura 25: Tipi di spostamenti per Studio/Lavoro (Cen01, 2001):
Flusso dal comune di Pisa verso il comune di Pisa.**



**Figura 26: Tipi di spostamenti per Studio/Lavoro (Cen01, 2001):
Flusso uscente dal comune di Pisa verso altri comuni della provincia di Pisa.**



**Figura 27: Tipi di spostamenti per Studio/Lavoro (Cen01, 2001):
Flusso uscente dal comune di Pisa verso altre province.**

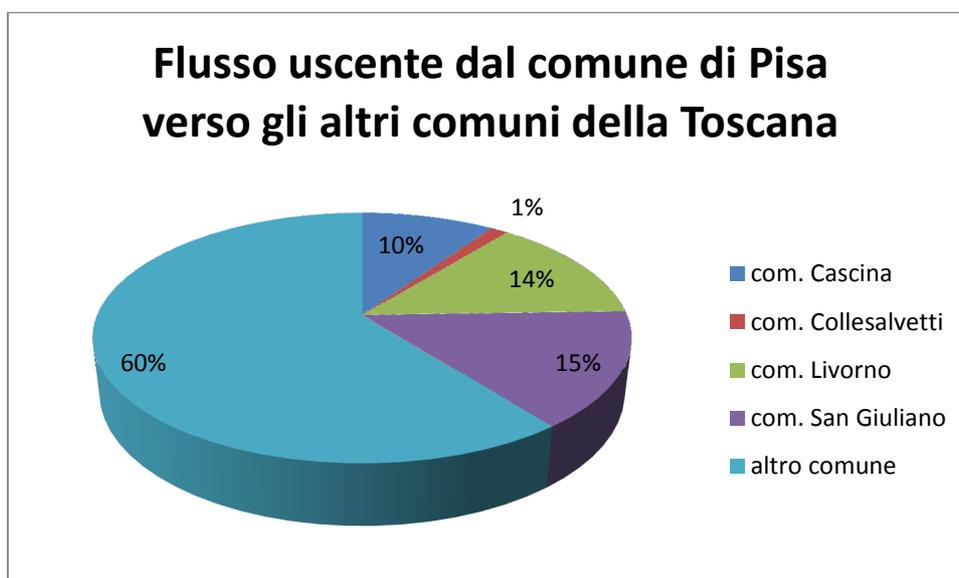


Figura 28: Spostamenti per studio/lavoro nei comuni limitrofi e altri comuni della Toscana (Cen01, 2001).

Dall'analisi dei flussi di spostamento al di fuori del comune (Figura 28) si vede che il 40% degli spostamenti sono verso i comuni adiacenti: Cascina, San Giuliano (in prov. di Pisa), Collesalvetti e Livorno (prov. di Livorno). Il restante 60% è verso gli altri comuni della Toscana.

Flussi entranti

I flussi entranti nel comune, cioè quelli relativi a persone che lavorano/studiano nel comune di Pisa ma provengono da altro comune/provincia, sono bilanciati. Il 51.37% del campione proviene da un comune della provincia di Pisa, e il restante 48.63% da un'altra provincia della Toscana.

Raffinando l'indagine sui comuni limitrofi (Figura 29), ritroviamo una ripartizione simile a quella dei flussi in uscita di Figura 28. Il 45% è un flusso proveniente dai comuni limitrofi e il 55% da altri comuni.

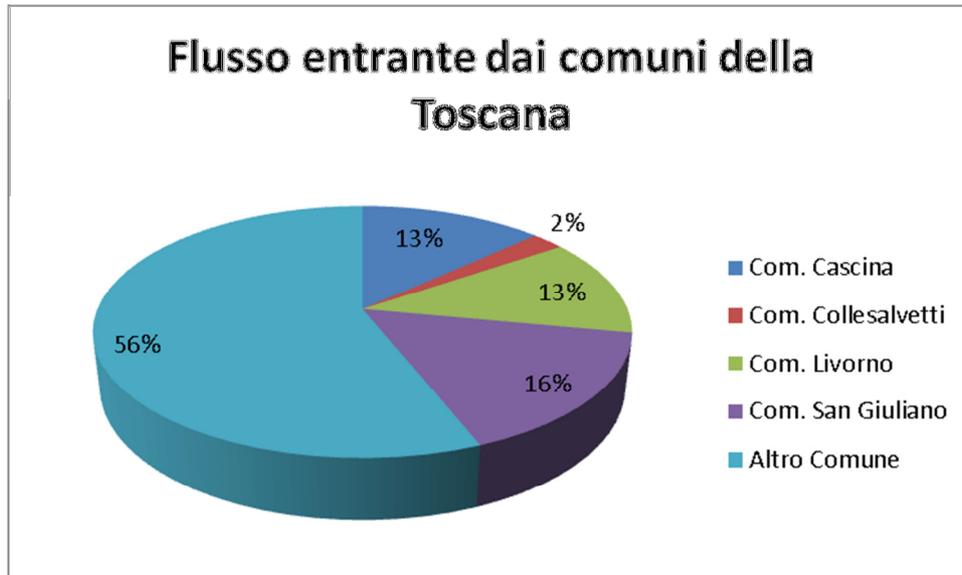


Figura 29: Spostamenti per studio/lavoro dai comuni limitrofi e da altri comuni della Toscana verso il Comune di Pisa (Cen01, 2001).

Modi e tempi di spostamento Flussi interni e Flussi uscenti

Rispetto alla modalità di spostamento (Figura 30), l'uso del mezzo privato (auto o moto) ha in assoluto il peso maggiore raggiungendo il 63%. Questo significa che la maggior parte delle persone non utilizza mezzi pubblici (o ecologici) per gli spostamenti sistematici.

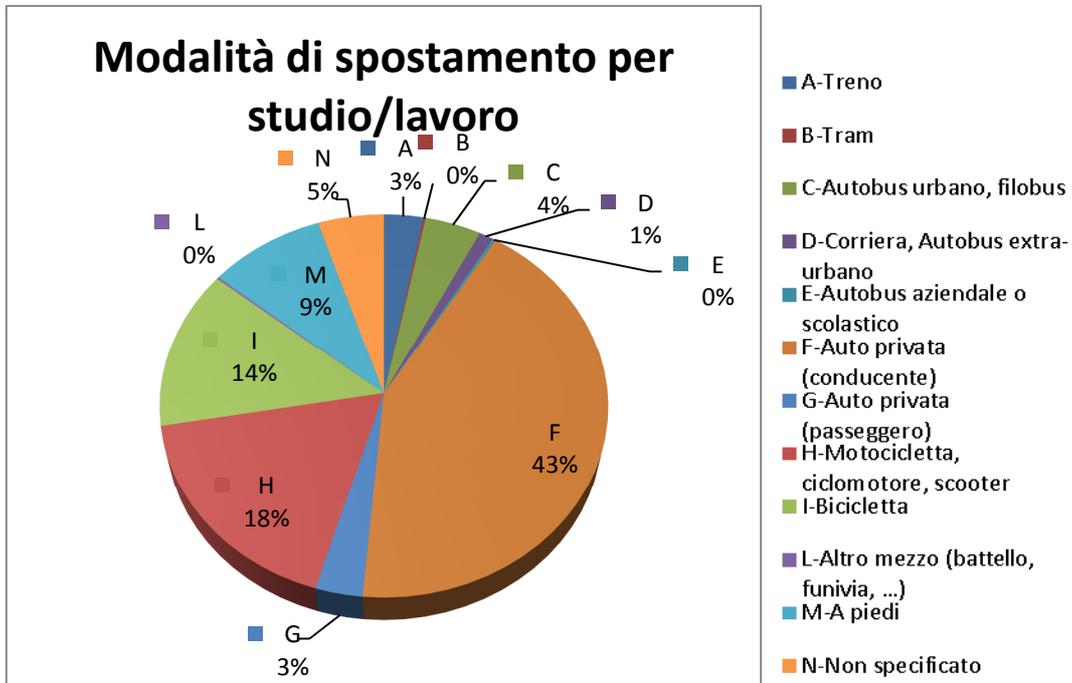


Figura 30: Modi di spostamento: utilizzo dei differenti mezzi di trasporto per raggiungere il luogo di lavoro/studio (Cen01, 2001).

È interessante però indagare come cambia l'uso del mezzo di trasporto in funzione della distanza da percorrere (stesso comune vs. comune limitrofo o altro comune più distante - Figura 31) o del tempo di percorrenza (Figura 32). Le percentuali sono assolute per comune.

Per spostamenti all'interno del comune di Pisa, il mezzo prevalente rimane l'auto privata (F – 35.63%), ma sono altrettanto alti gli spostamenti con moto/scooter (H – 21.11%) e bicicletta (I – 16.8%). Molti quindi preferiscono spostarsi in bicicletta per le medie distanze o a piedi (M – 11.24%) per le brevi distanze, piuttosto che utilizzare l'autobus urbano (C – 5.23%).

Il treno, comincia ad essere un mezzo importante per spostamenti verso il comune di Livorno (4.54%) o altri comuni (22.88%).

Verso il comune di Cascina, il mezzo preferito rimane l'auto privata (81.21%), e la moto/scooter (5.03%). I mezzi pubblici (C e D) vengono usati dal 3.33% del campione (C – 1.11%; D – 2.22%).

Il mezzo pubblico viene usato pochissimo per raggiungere il comune di San Giuliano (l'auto privata e la moto sono i mezzi più usati).

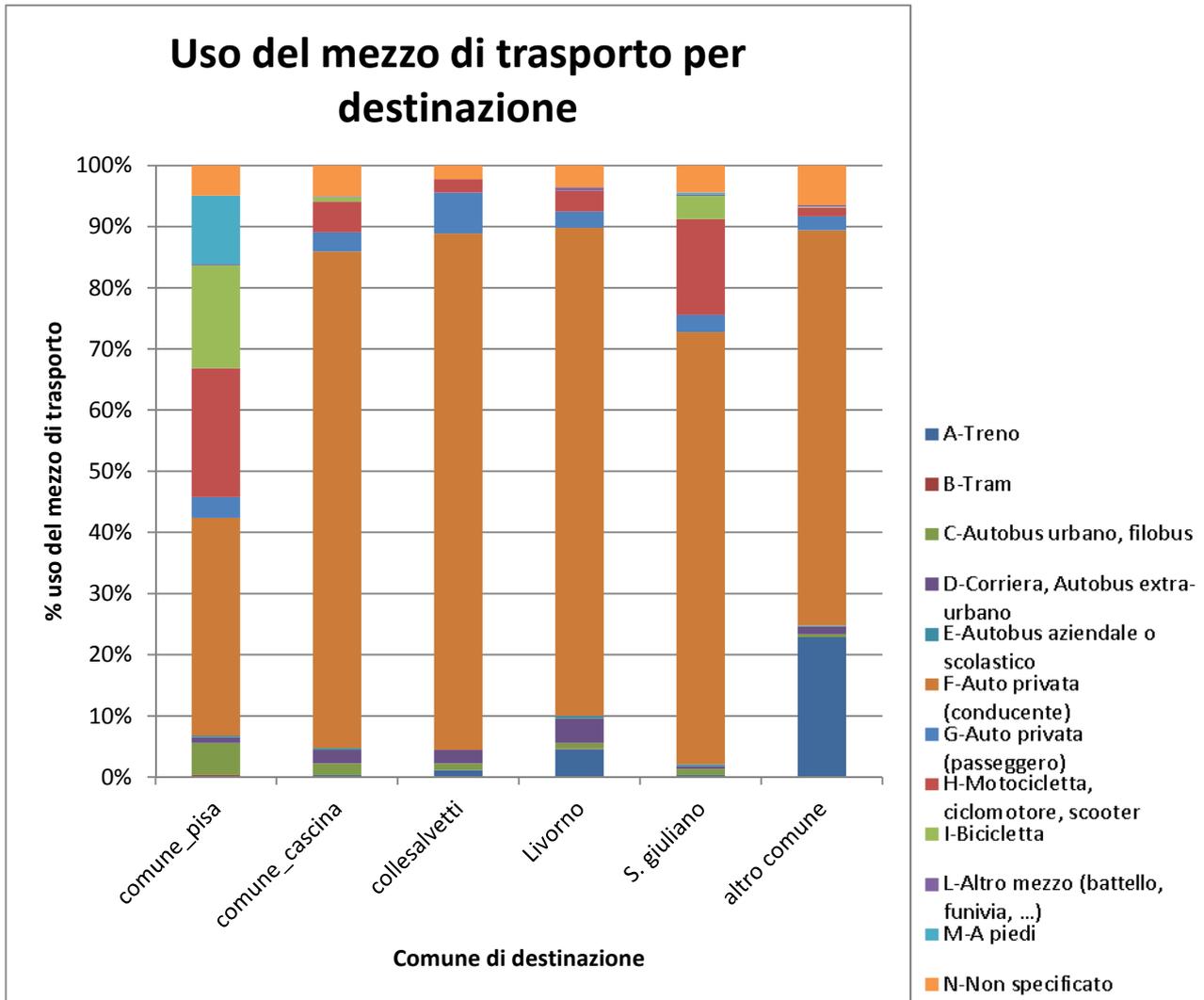


Figura 31: Modi di spostamento: Modi di spostamento per diverso comune di destinazione.

Come è logico attendersi, la distribuzione della popolazione sul tempo di viaggio (Figura 32) decresce con l'aumentare del tempo impiegato per raggiungere la destinazione (luogo studio o lavoro). Più del 60% dei residenti nel comune di Pisa raggiunge il posto di studio e lavoro in tempo breve (meno di 15 minuti).

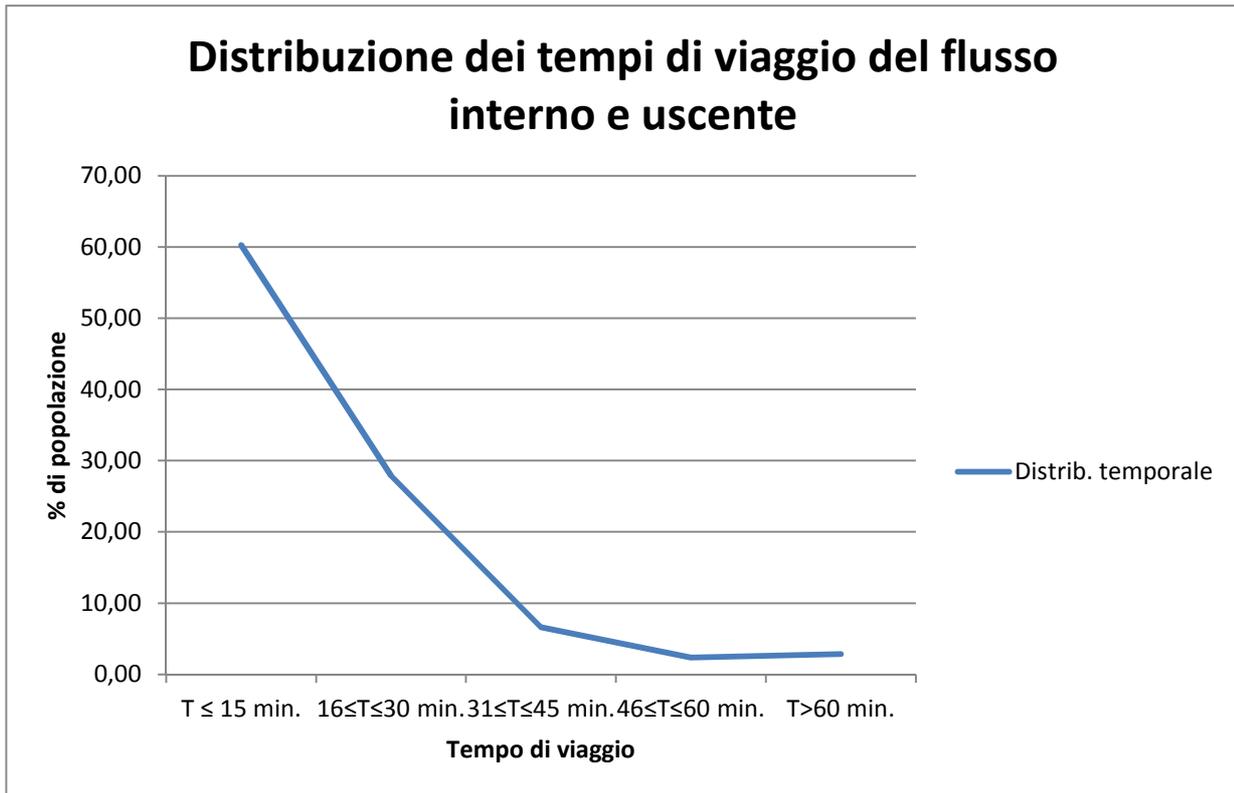


Figura 32: Distribuzione della popolazione sul tempo di viaggio per raggiungere il luogo di studio o lavoro.

Sulla base della statistica di Figura 32, è possibile indagare per ogni comune di destinazione, come si distribuisce la popolazione rispetto al tempo di viaggio (Figura 33).

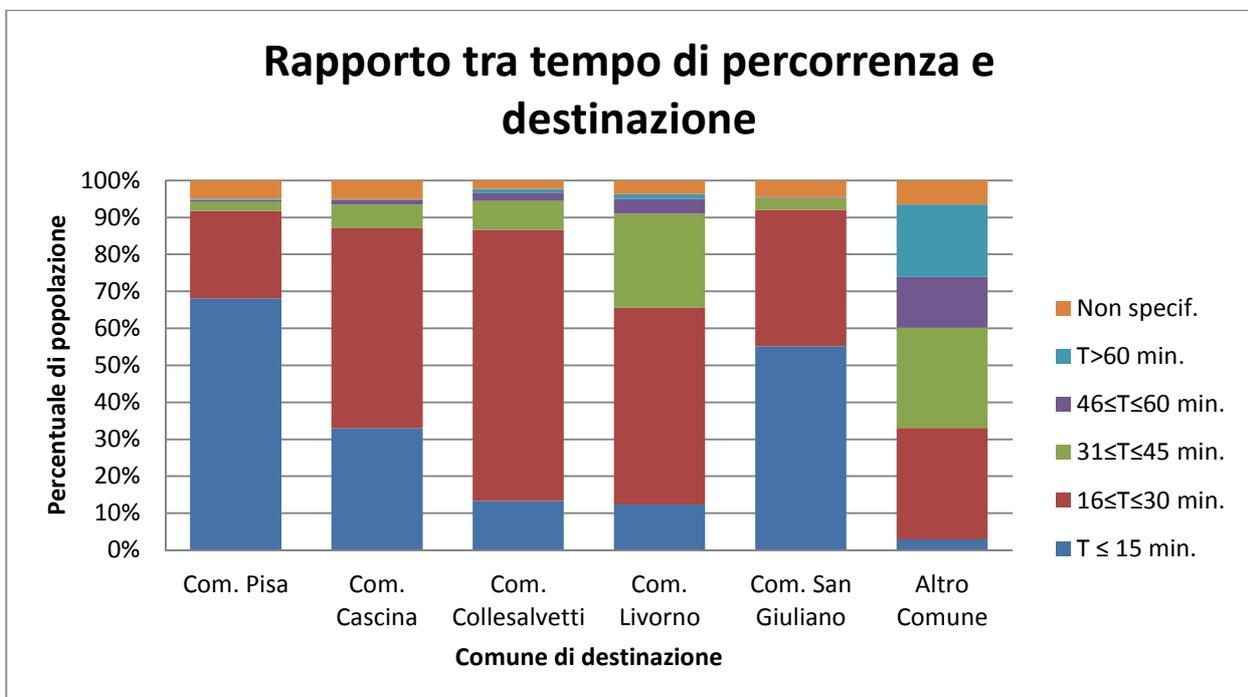


Figura 33: : Modi di spostamento: Rapporto tra comune di destinazione e tempo di percorrenza.

Per gli spostamenti di durata superiore ai 45 minuti (Figura 34), indipendentemente dalla destinazione, il treno (assieme alla macchina) diventa il mezzo pubblico preferito (45% di utilizzo). L'auto viene usata prevalentemente in qualità di conducente (F – Auto privata come conducente), il

che fa supporre che soluzioni di trasporto condiviso come il car sharing non siano adottati (l'uso dell'auto come passeggero rappresenta solo il 2%). L'autobus non è molto utilizzato (3%). Per gli spostamenti di durata inferiore a 15 minuti (Figura 35), l'auto privata rimane il mezzo preferito (35%), ma la sua prevalenza non è più così marcata. La moto è utilizzata nel 26% dei casi. La bicicletta e lo spostamento a piedi è usato nel 20% e 14% dei casi. L'autobus urbano risulta ancora scarsamente utilizzato, indipendentemente dalla destinazione (2%).

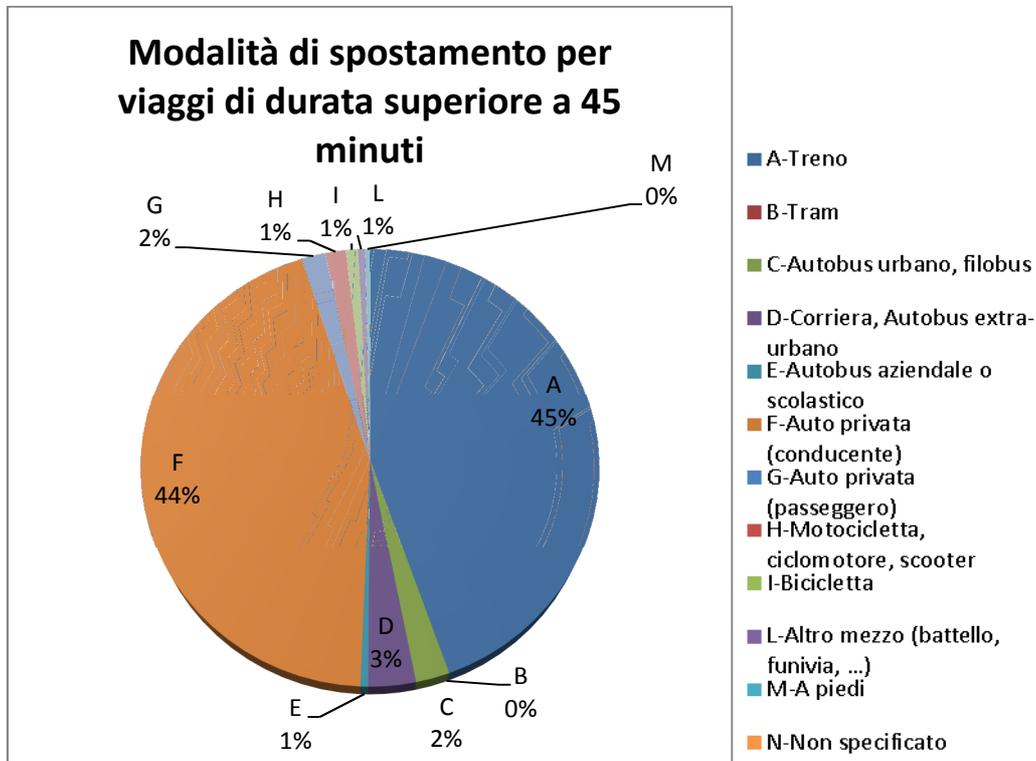


Figura 34: Modalità di spostamento per viaggi di durata superiore a 45 min.

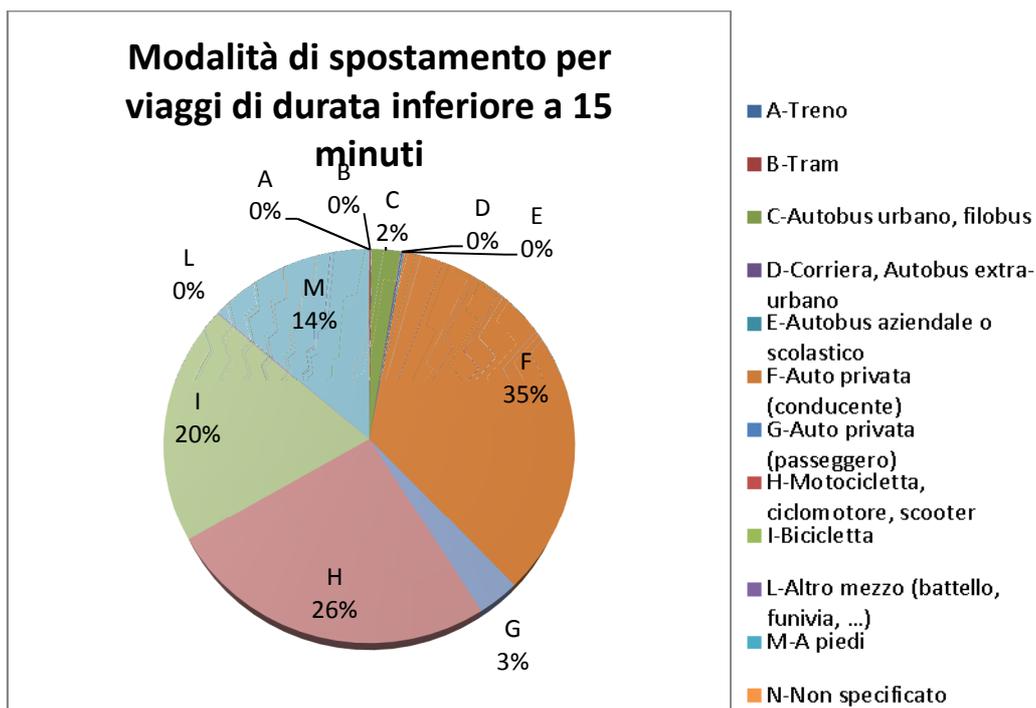


Figura 35: Modalità di spostamento per viaggi di durata inferiore a 15 min.

La distribuzione delle durate di spostamento rispetto al mezzo di trasporto (Figura 36) evidenzia una forte correlazione tra le due variabili. L'uso dei mezzi pubblici (treno e autobus extra urbano) hanno una distribuzione spostata verso le classi di maggior durata, riconducibile alla maggior distanza da ricoprire. Prevale l'uso del treno per le distanze superiori a 60 minuti. La bicicletta e la moto sono usati prevalentemente per viaggi di durata inferiore ai 15 minuti. L'auto privata (come conducente e passeggero) sono usate prevalentemente per spostamenti fino a 30 minuti. Ci si sposta a piedi soprattutto per spostamenti inferiori ai 15 minuti. L'autobus urbano (C) è usato prevalentemente per spostamenti dai 15 ai 30 minuti.

Questa ultima statistica sugli autobus, può essere letta anche come una misura del tempo impiegato per muoversi in città i mezzi pubblici in città.

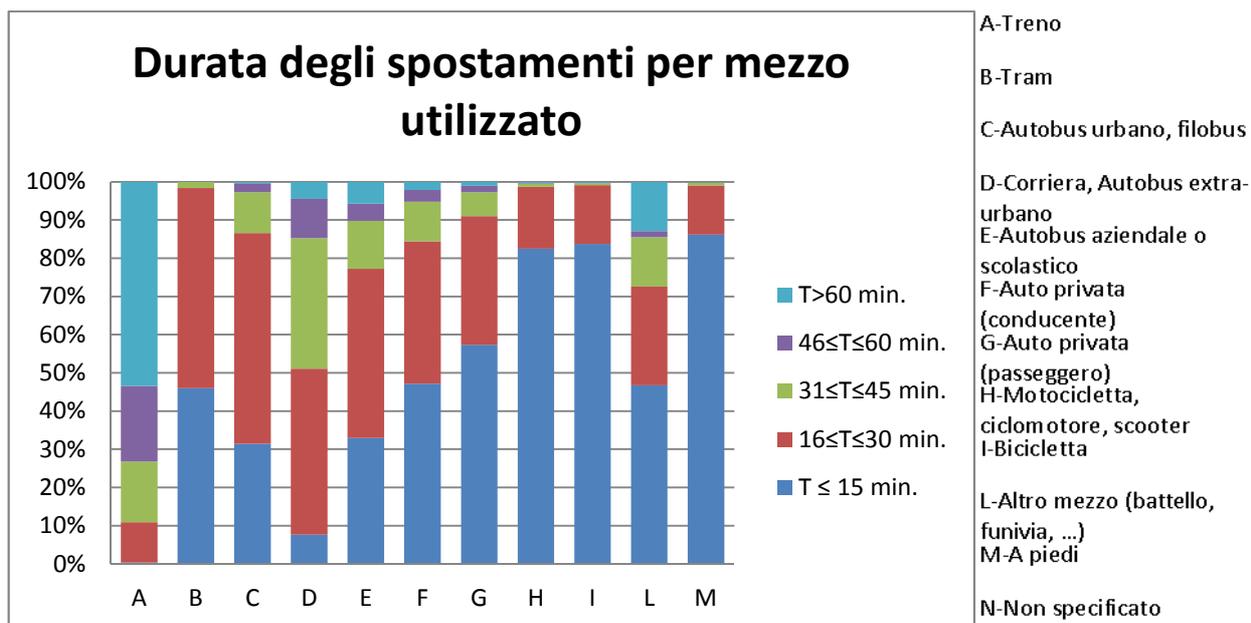
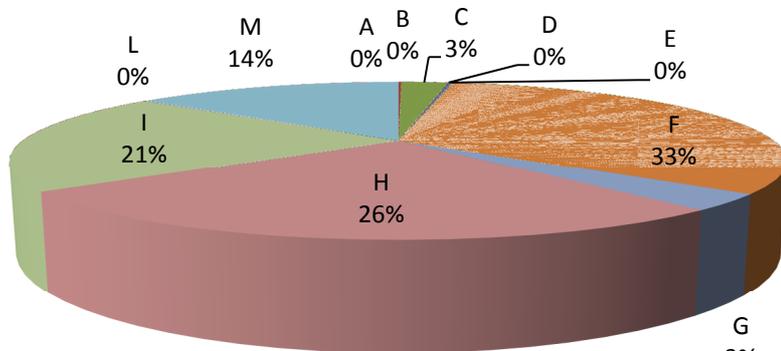


Figura 36: Durata degli spostamenti in funzione del mezzo di trasporto.

Effettuando un'indagine più mirata sull'uso dei mezzi per spostamenti all'interno del comune, inferiori ai 15, Figura 37, si evidenzia ancora un uso preponderante del mezzo privato (F+G+H = 62%). I mezzi pubblici sono scarsamente utilizzati (3%) a favore della bicicletta (21%) o dello spostamento "a piedi" (14%).

Quando il tempo di percorrenza si allunga fino a 30 minuti (Figura 38), l'uso del mezzo privato aumenta leggermente (F+G+H = 67%), ma cambia sensibilmente la composizione di questa percentuale: l'uso dell'auto raggiunge da sola il 50%, mentre dimezza l'uso della moto. Anche l'autobus urbano comincia a diventare un mezzo rilevante (12%), ma la bicicletta continua ad essere preferita (11%).

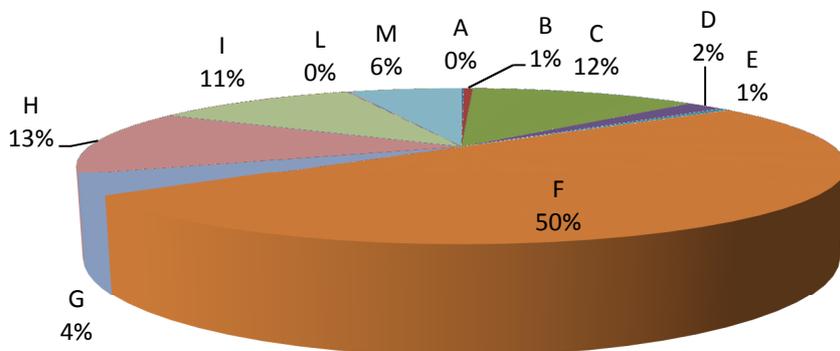
Utilizzo dei mezzi per spostamenti di durata inferiore ai 15 minuti, nel comune



- A-Treno
- B-Tram
- C-Autobus urbano, filobus
- D-Corriera, Autobus extra-urbano
- E-Autobus aziendale o scolastico
- F-Auto privata (conducente)
- G-Auto privata (passaggero)
- H-Motocicletta, ciclomotore, scooter
- I-Bicicletta
- L-Altro mezzo (battello, funivia, ...)
- M-A piedi
- N-Non specificato

Figura 37: Utilizzo dei mezzi per spostamenti di durata inferiore ai 15 minuti all'interno del comune.

Utilizzo dei mezzi per spostamenti di durata compresa tra 15 e 30 minuti, nel comune



- A-Treno
- B-Tram
- C-Autobus urbano, filobus
- D-Corriera, Autobus extra-urbano
- E-Autobus aziendale o scolastico
- F-Auto privata (conducente)
- G-Auto privata (passaggero)
- H-Motocicletta, ciclomotore, scooter
- I-Bicicletta
- L-Altro mezzo (battello, funivia, ...)
- M-A piedi
- N-Non specificato

Figura 38: Utilizzo dei mezzi per spostamenti di durata compresa tra i 15 e i 30 minuti all'interno del comune.

Con riferimento alla dimensione temporale, è possibile calcolare la distribuzione dei tempi di uscita, ovvero in quale fascia oraria la popolazione censita esce abitualmente di casa per recarsi a lavoro/scuola. Come mostrato in Figura 39, indipendentemente dalla destinazione, si registra un picco di uscite nella fascia oraria dalle 7:00 alle 7:59.

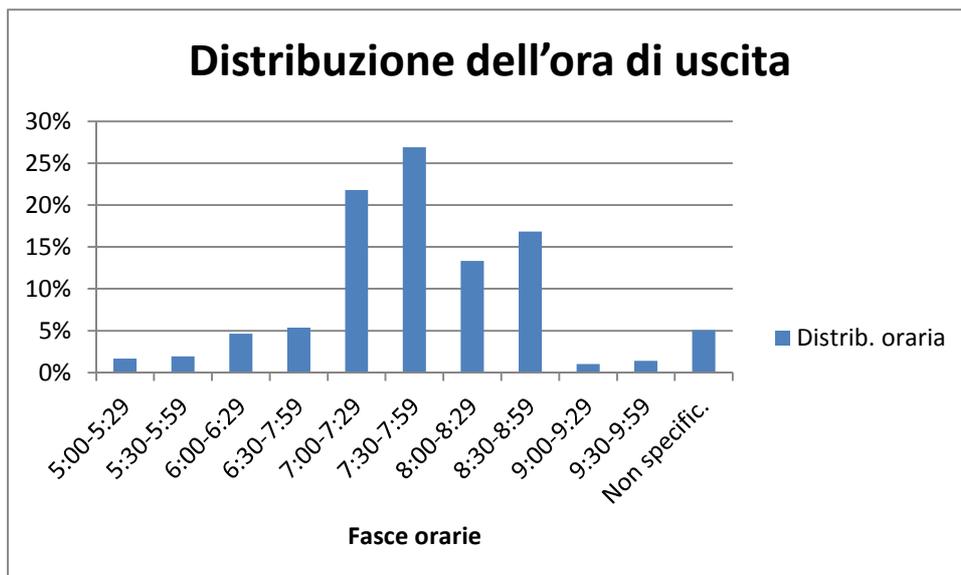


Figura 39: Distribuzione oraria delle ore di uscita per spostamento sistematico per studio/lavoro.

Raffinando l'indagine per comune di destinazione, si ottiene la distribuzione di Figura 40. Per la destinazione "Altro comune" (comuni più distanti) il picco di uscita è spostato verso la fascia oraria 7:00-7:29, mentre per i comuni limitrofi e per gli spostamenti interni al comune di Pisa il picco è dalle 8:00 in poi.

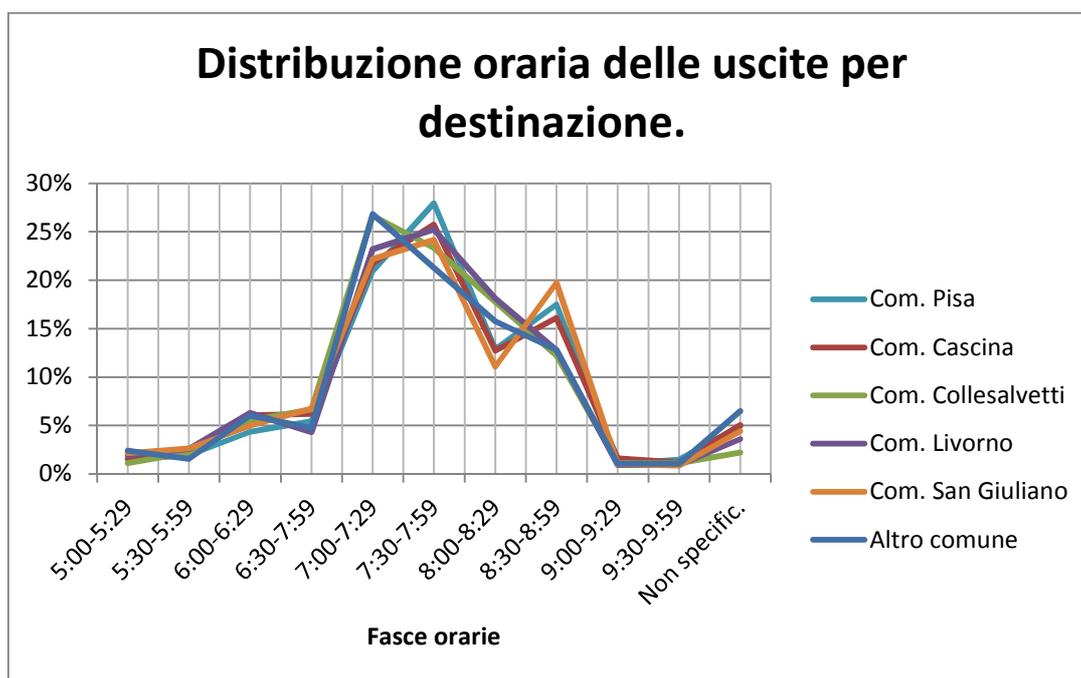


Figura 40: Distribuzione oraria delle ore di uscita per spostamento sistematico per studio/lavoro, per comune di destinazione.

Modi e tempi di spostamento

Flussi entranti

L'uso del mezzo di trasporto per i flussi in ingresso (Figura 41) rispecchia quelli (interni e in uscita) dei residenti presentati in Figura 16. Il mezzo privato (auto e moto) rimane il mezzo preferito (F - 45%, G - 7%, H - 7%); segue il treno (A - 29%) e l'autobus extra-urbano (D - 5%).

Purtroppo, con questo dataset non possiamo catturare chi, provenendo da fuori Pisa, utilizza l'autobus urbano per raggiungere il posto di lavoro/studio. Questo perché, chi viene da fuori comune utilizza l'autobus urbano non come mezzo principale, ma come mezzo secondario e questo aspetto non è rilevabile nel censimento.

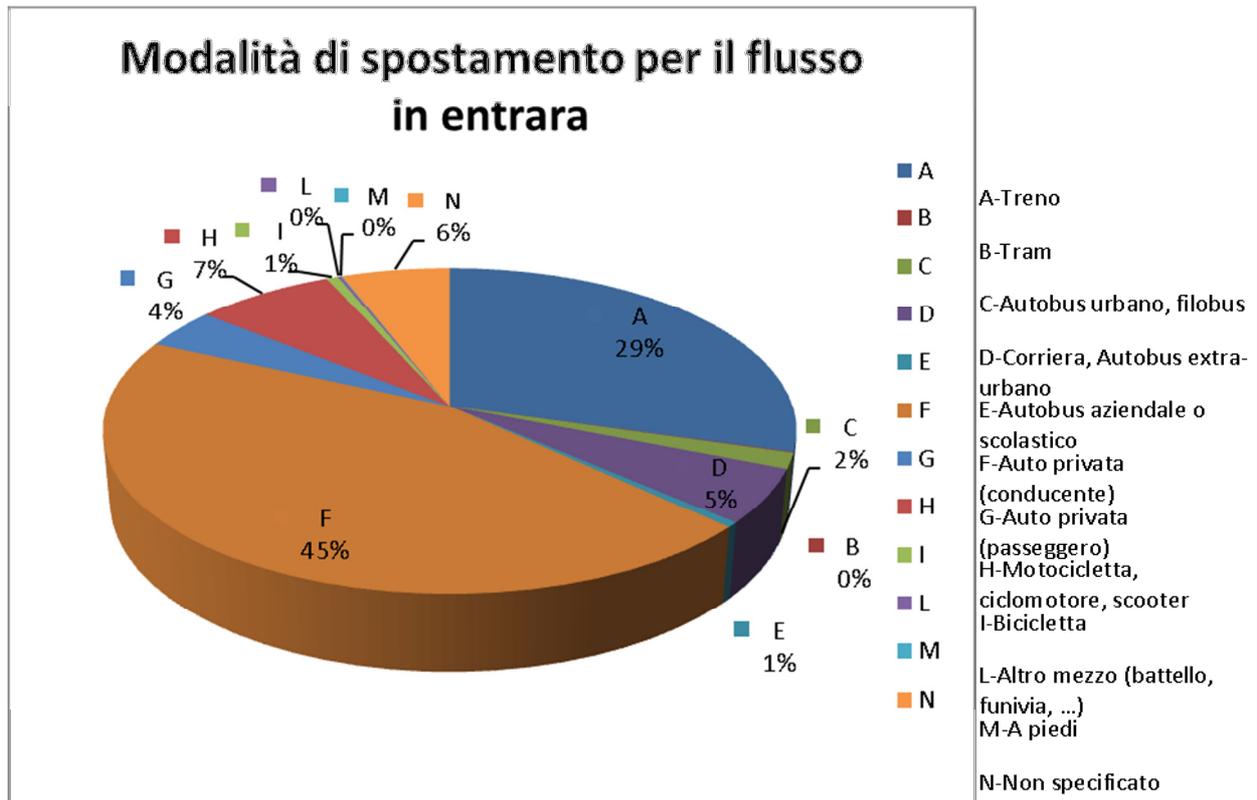


Figura 41: Modalità di spostamento per i flussi in entrata.

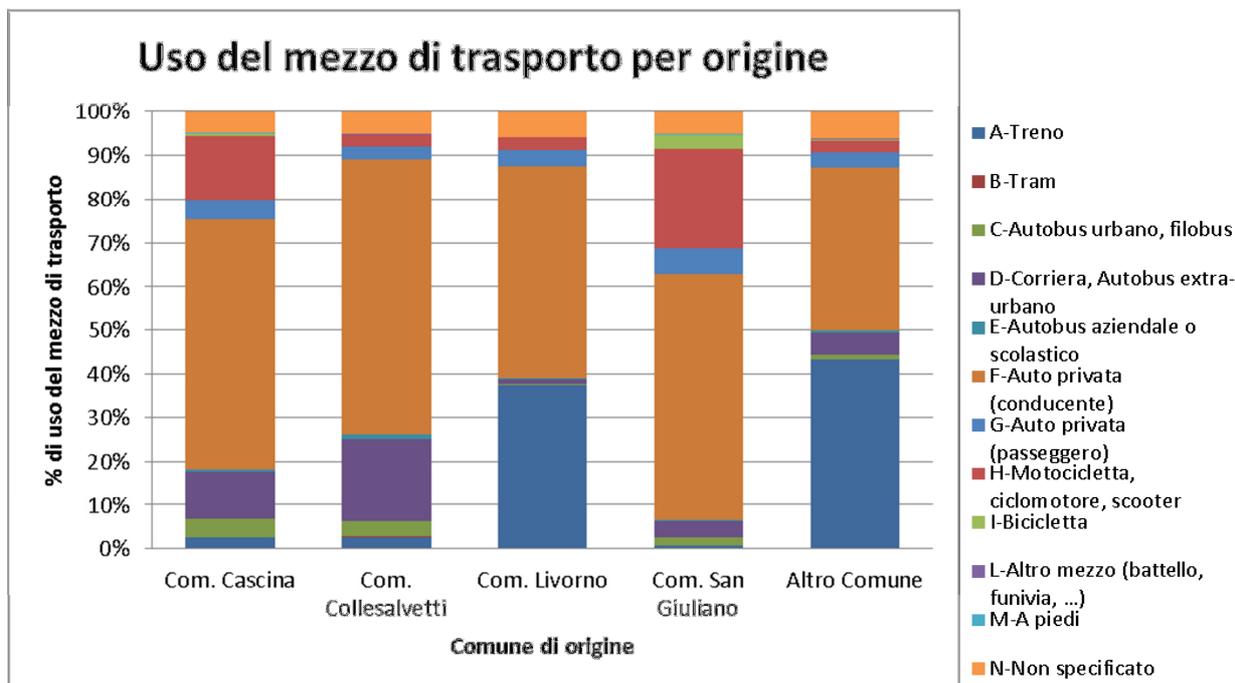


Figura 42: Modi di spostamento (flusso entrante) per diverso comune di origine.

Analizzando il modo di spostamento per origine (flussi entrante - Figura 42), risulta che il treno è utilizzato prevalentemente da chi proviene da comuni più distanti rispetto ai limitrofi e chi proviene dal comune di Livorno (principalmente per motivi di distanza e comodità – nel caso di Livorno). L'autobus extra-urbano per i comuni di Cascina e Collesalvetti sono preferiti al treno (questi comuni non sono serviti bene dal servizio ferroviario). In tutti i casi, il mezzo privato è largamente preferito.

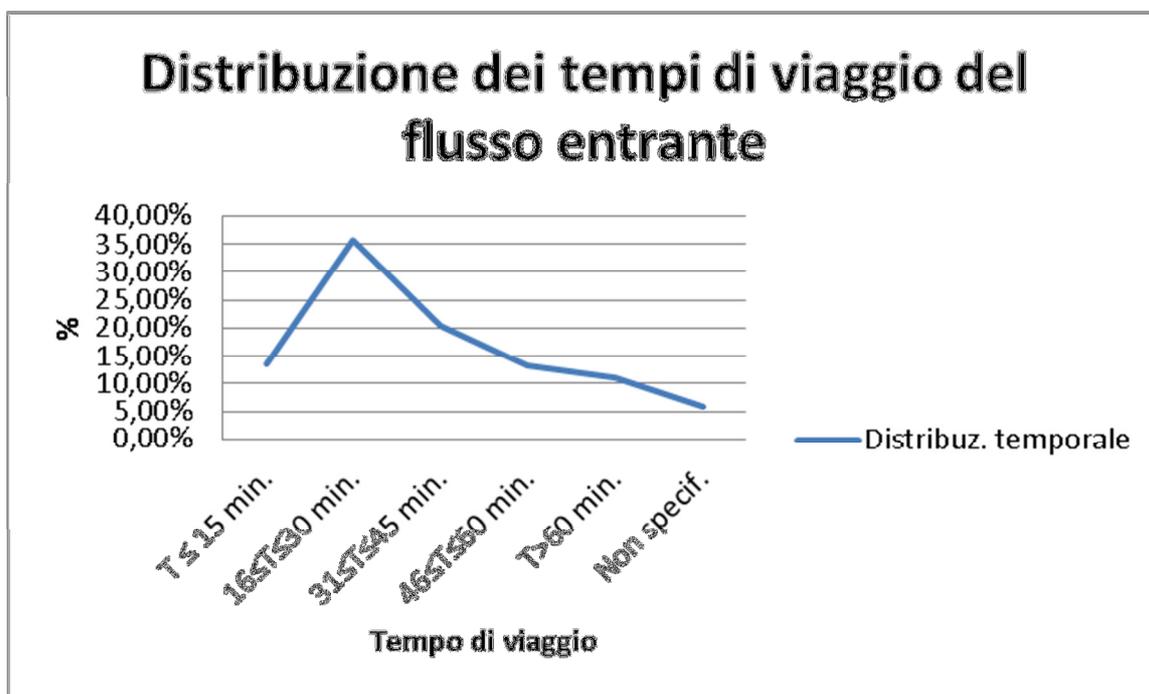


Figura 43: Distribuzione dei tempi di viaggio del flusso entrante.

Per il totale di flussi in ingresso (Figura 43), l'apice della curva decrescente è spostato sull'intervallo 16-30 minuti.

I tempi di percorrenza, distinti per comune di origine, sono mostrati in Figura 44. Provenire dai comuni di Cascina e San Giuliano, occorre prevalentemente un tempo medio basso (fino a 30 minuti), mentre per arrivare dal comune di Livorno occorrono fino a 45 minuti e oltre.

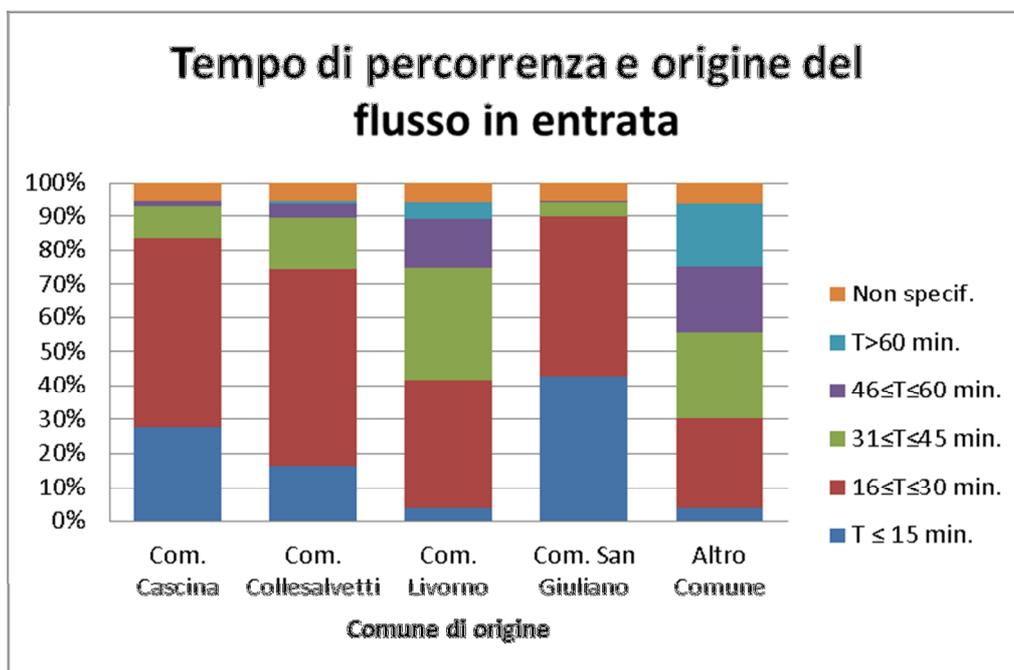


Figura 44: Rapporto tra il tempo di percorrenza e il comune di origine dei flussi in ingresso.

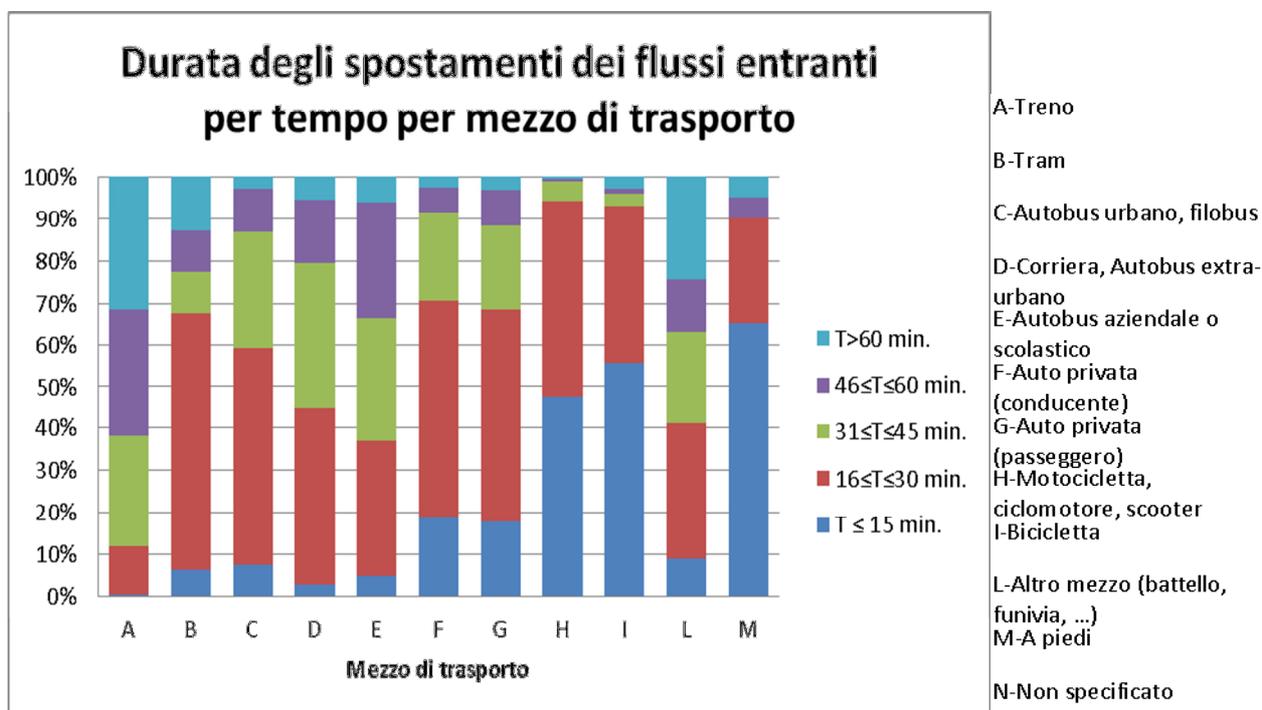


Figura 45: Durata degli spostamenti per i flussi in ingresso, in funzione del mezzo di trasporto.

Dall'analisi dei tempi di spostamento in funzione del mezzo di trasporto (Figura 45), si evidenzia che il treno e l'autobus extra-urbano vengono utilizzati quasi uniformemente per durate medio-alte superiori ai 15 minuti. L'auto privata (F e G) viene usata maggiormente per spostamenti di durata 16-30 minuti. La moto prevalentemente fino a 30 minuti.

7.4.2 Rilievi di traffico

Spesso per studiare e monitorare i flussi veicolari e fare rilevamenti sul traffico, vengono adottate sistemi ad-hoc come telecamere, sensori magnetici, dispositivi laser, etc.: questi sistemi sono molto costosi sia per l'installazione che per la manutenzione e sono limitati al controllo locale delle aree su cui sono installati.

I dati GPS danno un contributo importante per l'analisi e lo studio di situazioni di criticità legate al traffico veicolare poiché non richiedono installazione di sistemi di supporto e consentono di monitorare praticamente l'intera rete stradale.

A sostegno di tale teoria sono state condotte delle sperimentazioni per verificare l'attendibilità del campione GPS confrontando le distribuzioni temporali dei flussi veicolari con quelli rilevati dai pannelli a messaggio variabile (PMV) installati in città.

Come mostrato in Figura 46, è evidente che la forma generale delle distribuzioni temporali estratte dai dati GPS e dei PMV, è molto simile: si rilevano due picchi (uno al mattino ed uno al pomeriggio) ed una valle centrale, con un forte calo di presenze nelle ore notturne. Anche i tempi di rilevamento sono sostanzialmente compatibili.

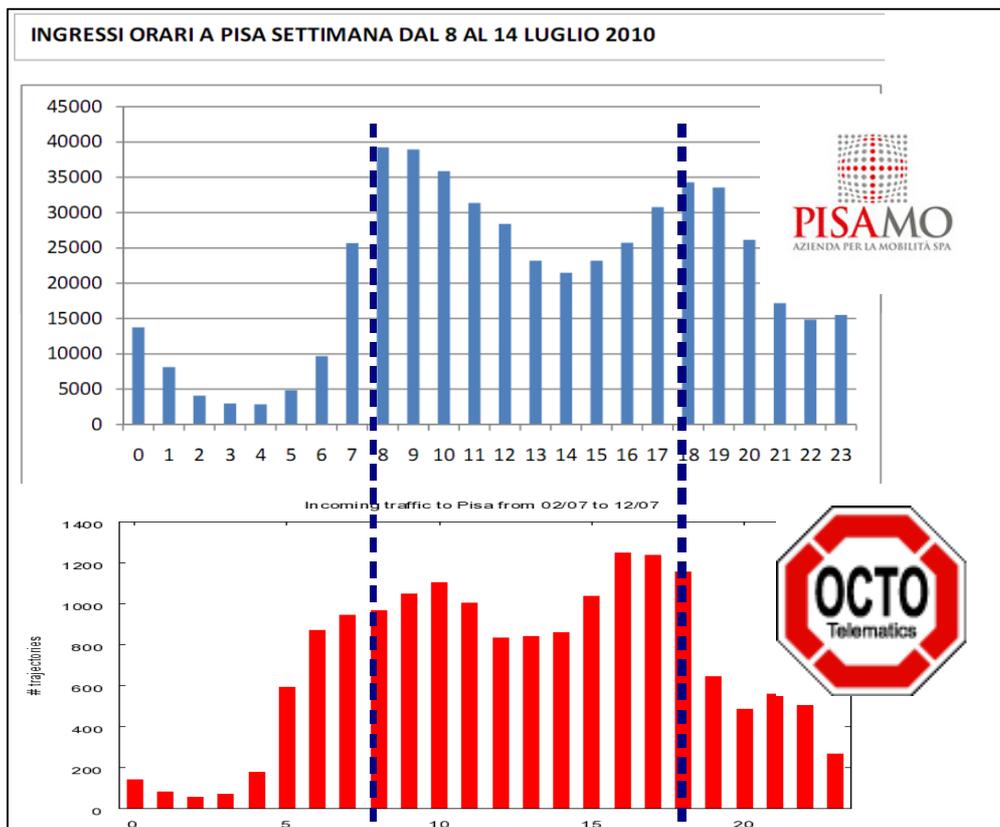


Figura 46: Confronto delle distribuzioni temporali del traffico registrato dai dati GPS e dei PMV.

Una volta constatata l'attendibilità del campione, è stato condotto uno studio per l'identificazione delle congestioni di traffico sulle principali vie della città di Pisa. I dati utilizzati sono di una settimana dal 14 Giugno 2010 al 20 Giugno 2010. Le tracce del dataset, costituito da circa 4000 veicoli al giorno, sono state tagliate in viaggi singoli basandosi su una soglia di fermata maggiore di 2 ore. Il dataset è stato usato come input per l'algoritmo di mining T-Flock¹, ottenendo i risultati di Figura 47 e Figura 48. In Figura 47 è mostrato il risultato di una esecuzione sui dati GPS relativi

¹ Algoritmo di data mining che estrae flock patterns definiti come una coincidenza spazio-temporale in cui i veicoli si muovono insieme per una durata minima di tempo.

all'area Pisana dove ogni flock pattern rappresenta un possibile ingorgo. Come è facile attendersi, le aree maggiormente interessate sono quelle del centro città e dei principali svincoli.

Andando a classificare i flock patterns in base alla criticità della congestione, si possono identificare diverse situazioni. In Figura 48 vengono mostrati i risultati della classificazione: i flock patterns rossi sono caratterizzati da una velocità relativa $vr \ll 1$, mentre i blu rappresentano velocità relative normali ($vr \geq 1$). In questo caso di studio, sono state rilevate situazioni di traffico intenso sull'autostrada e una situazione piuttosto critica allo svincolo dell'aeroporto Galilei.

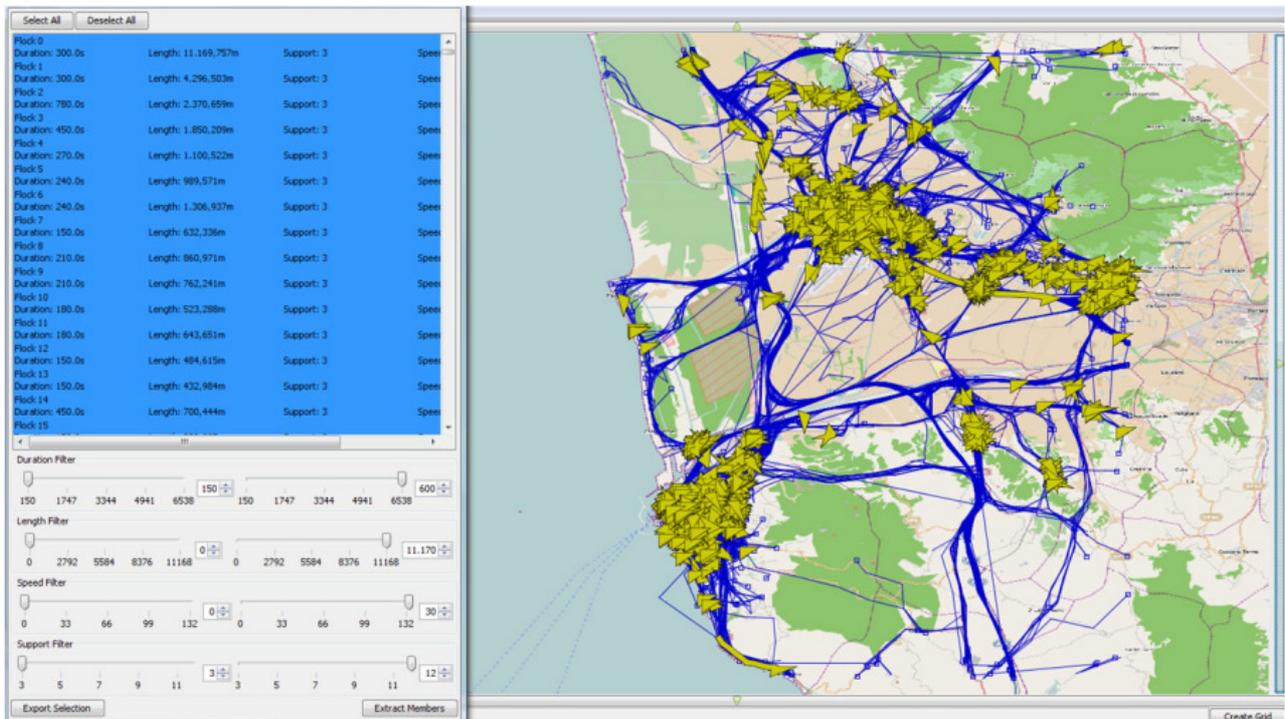


Figura 47: Il set completo di flock patterns estratto nel periodo 8-10 di un lunedì

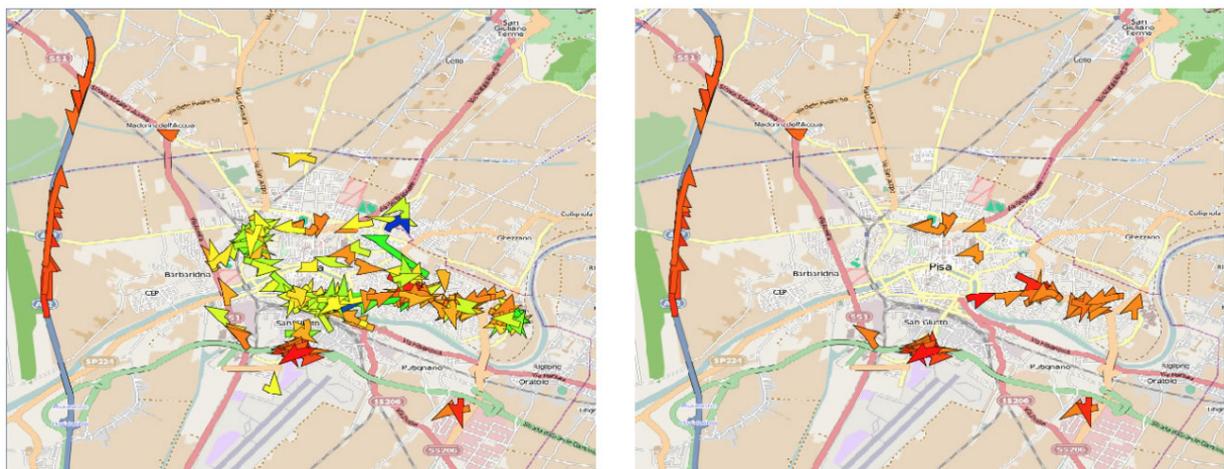


Figura 48: I flock patterns estratti, classificati per differenti valori della misura proposta (rosso = traffic jam)

7.4.3 Anali dei Flussi veicolari

7.4.3.1 Flussi in ingresso

L'analisi degli ingressi alla città ha l'obiettivo di identificare quali siano le vie preferenziali di accesso alla città a partire dalle zone/comuni limitrofi e quale sia l'entità dei flussi. L'idea è quella di utilizzare una metodologia di data mining (il clustering) che, sulla base di una misura di

somiglianza, raggruppi le traiettorie con stessa origine esterna alla città di Pisa e destinazione il centro città. Il risultato complessivo di questa analisi è mostrato in Figura 49, dove i colori distinguono i gruppi per provenienza. Figura 50, Figura 51 e Figura 52 mostrano la mobilità che interessa Pisa e alcuni comuni limitrofi.

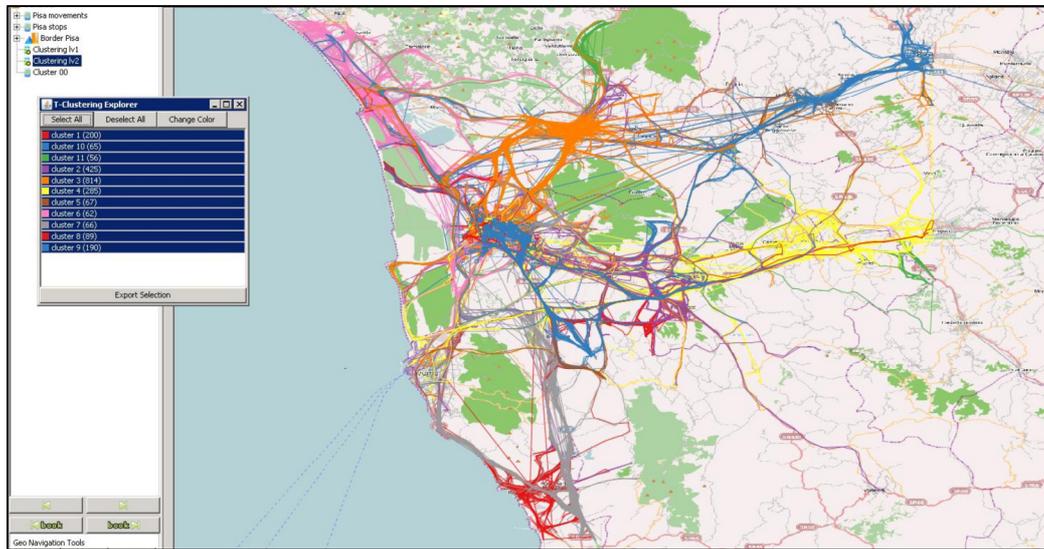


Figura 49: Gruppi di traiettorie con destinazione centro città di Pisa.

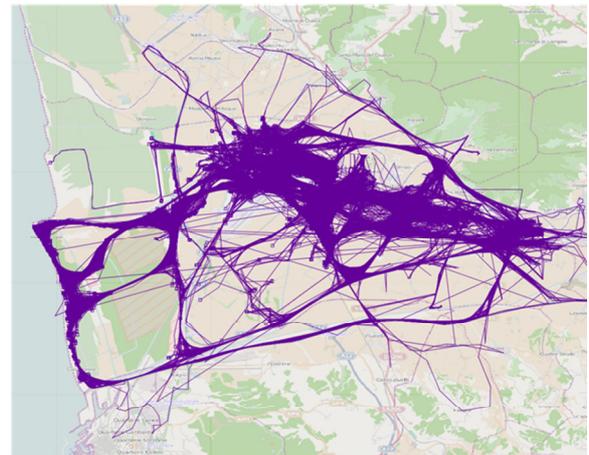
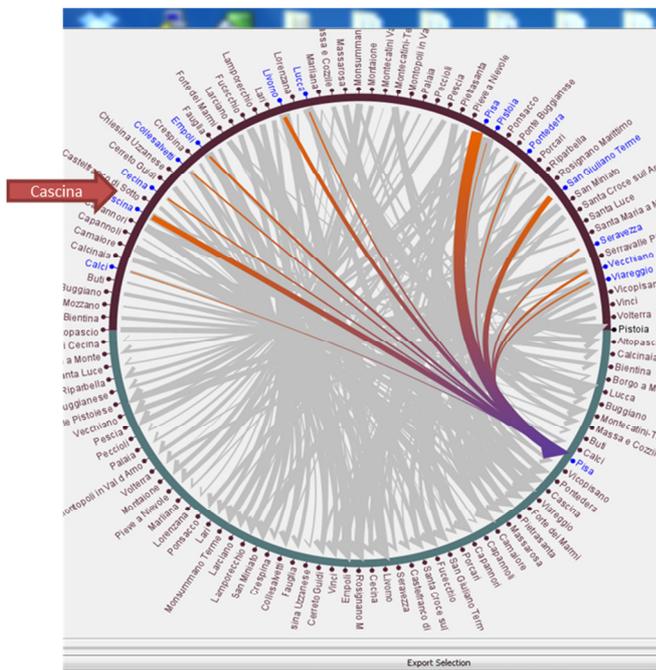


Figura 50: Dettaglio dei flussi di traffico da Cascina a Pisa

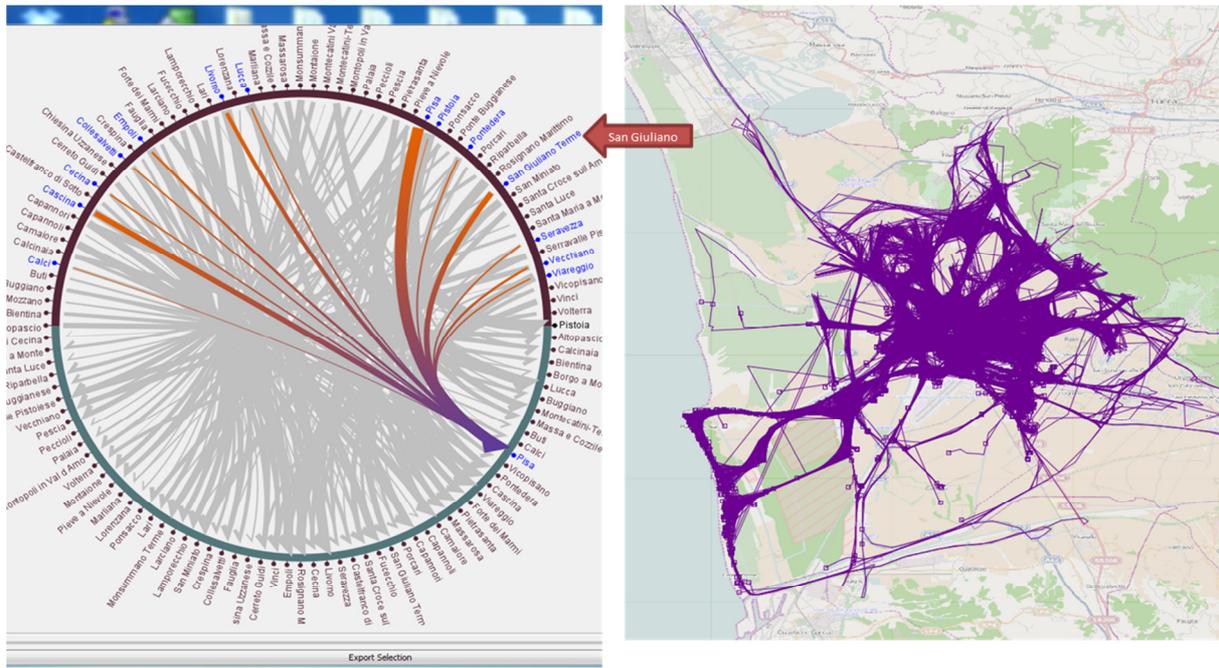


Figura 51: Dettaglio dei flussi di traffico globale da San Giuliano a Pisa

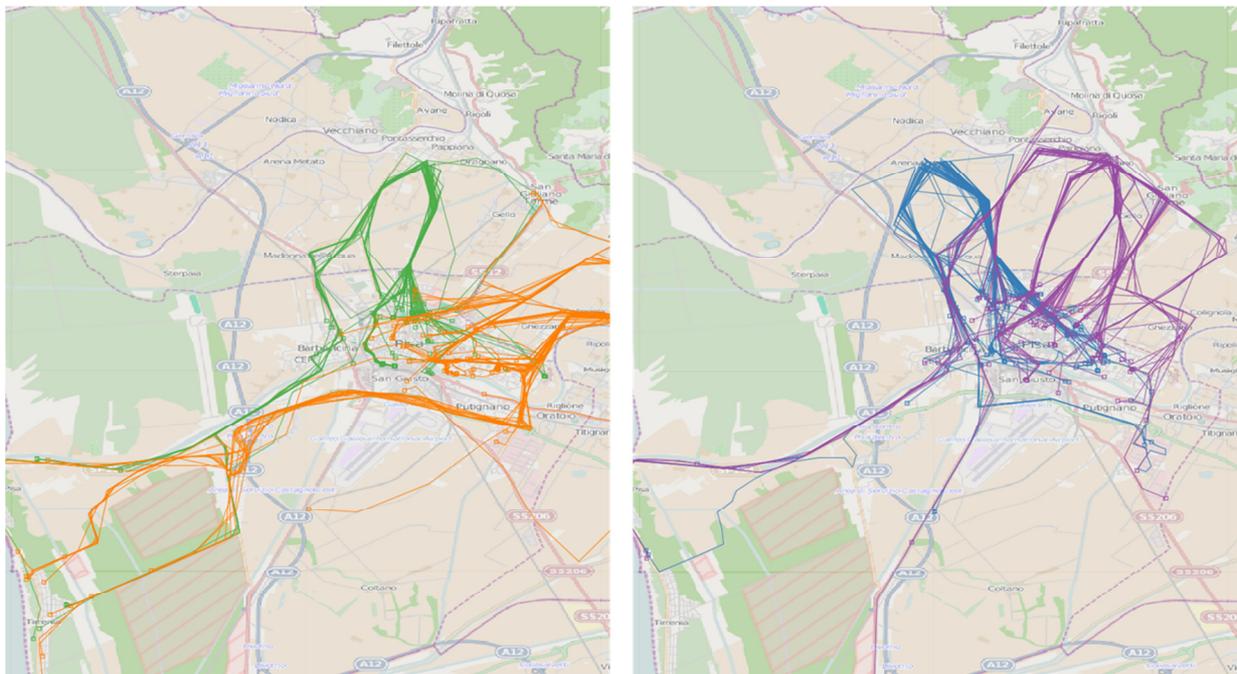


Figura 52: Traiettorie provenienti da San Giuliano raggruppate per punto di partenza comune.

Figura 53 riassume in modo compatto il traffico in ingresso alla città. Questo traffico si concentra tra est e nord, in particolare si nota subito la dimensione dell'arco di colore verde che è più del doppio rispetto agli altri infatti da est arrivano il 54% degli ingressi totali.

I principali comuni di provenienza sono Cascina (i cui utenti accedono principalmente da est in corrispondenza della FI-PI-LI), San Giuliano Terme (sia da nord che da est) e Livorno (da sud). La maggior parte degli ingressi sono effettuati da utenti regolari anche se vi è una forte presenza di utenti occasionali. I picchi in ingresso si registrano dalle 6 alle 7 del mattino dei giorni lavorativi.

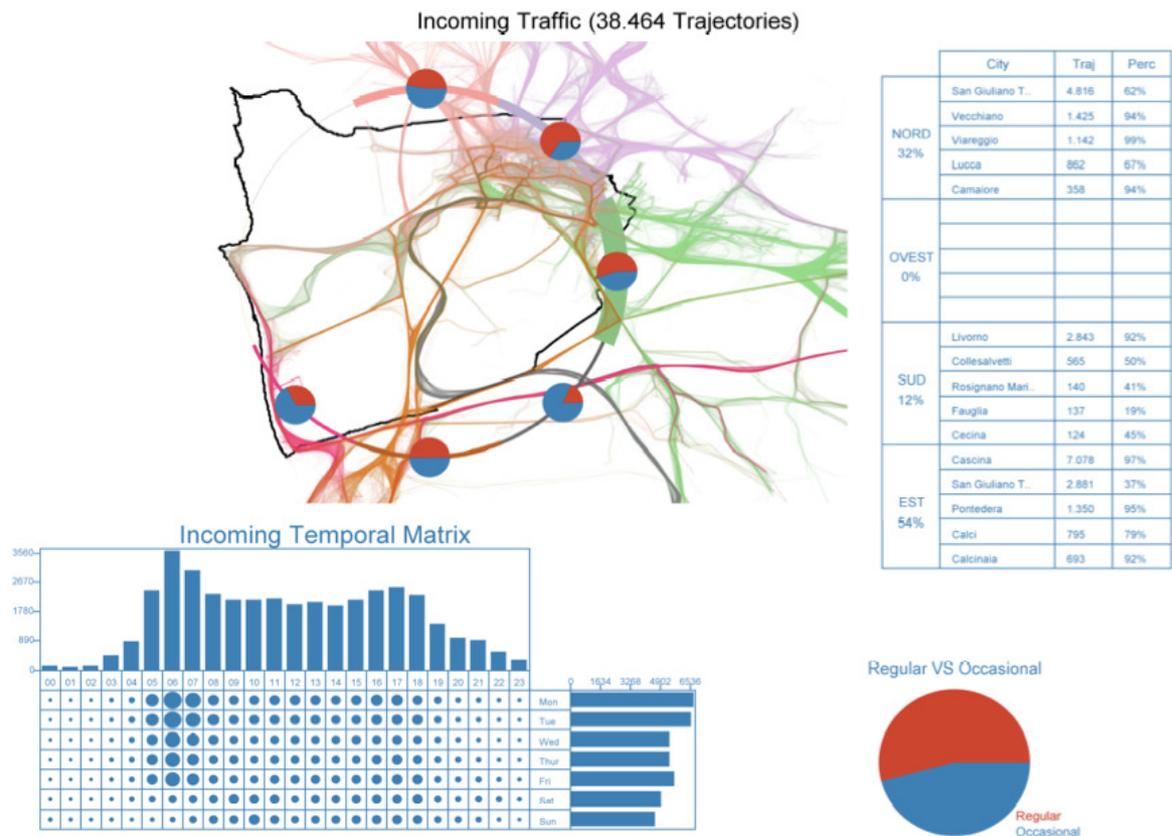


Figura 53: Traffico in ingresso.

7.4.3.2 Flussi interni

Lo stesso processo di analisi effettuato globalmente su tutto il traffico verso Pisa può essere replicato sulla porzione di traiettorie che rappresentano i flussi all'interno della città (Figura 54).

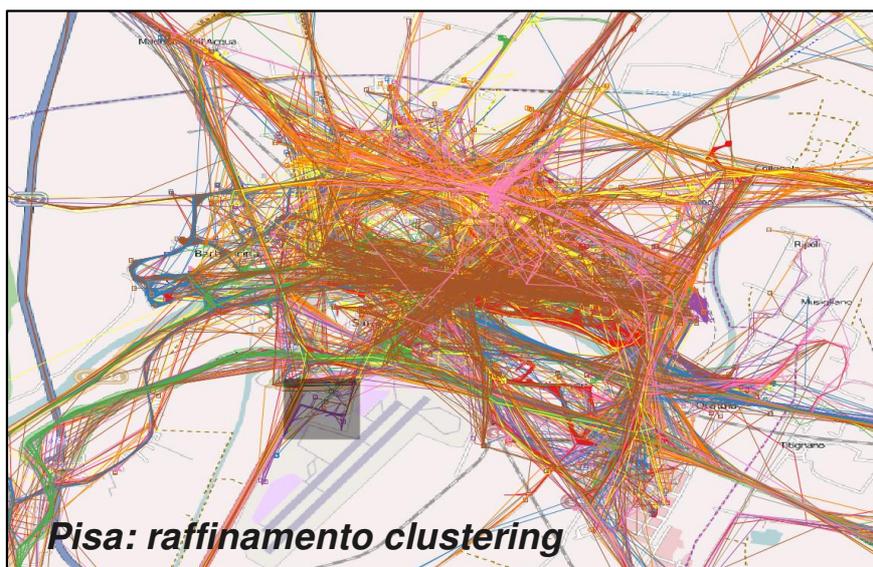


Figura 54: Flussi interni alla città di Pisa.

Essendo il centro urbano più compatto e densamente connesso, è difficile dare immediatamente una interpretazione ai cluster ottenuti. Anche in questo caso è necessario selezionare diverse zone di origine e visualizzare le traiettorie generate (Figura 55 e Figura 56).



Figura 55: Dettaglio dei flussi originati da: Zona CEP, S. Giuliano, Ghezziانو.

Nel caso di studio di Cisanello (Figura 56), il flusso maggiore deriva da nord ed è di tipo sistematico per più del 50%. Importanti sono anche i flussi provenienti da nord ovest e da sud, dove il traffico sistematico è sempre prevalente.

Il traffico maggiore è registrato nelle prime ore del mattino dove immaginiamo sia concentrato il traffico del personale ospedaliero per la componente sistematica e quello di pazienti per la componente occasionale.

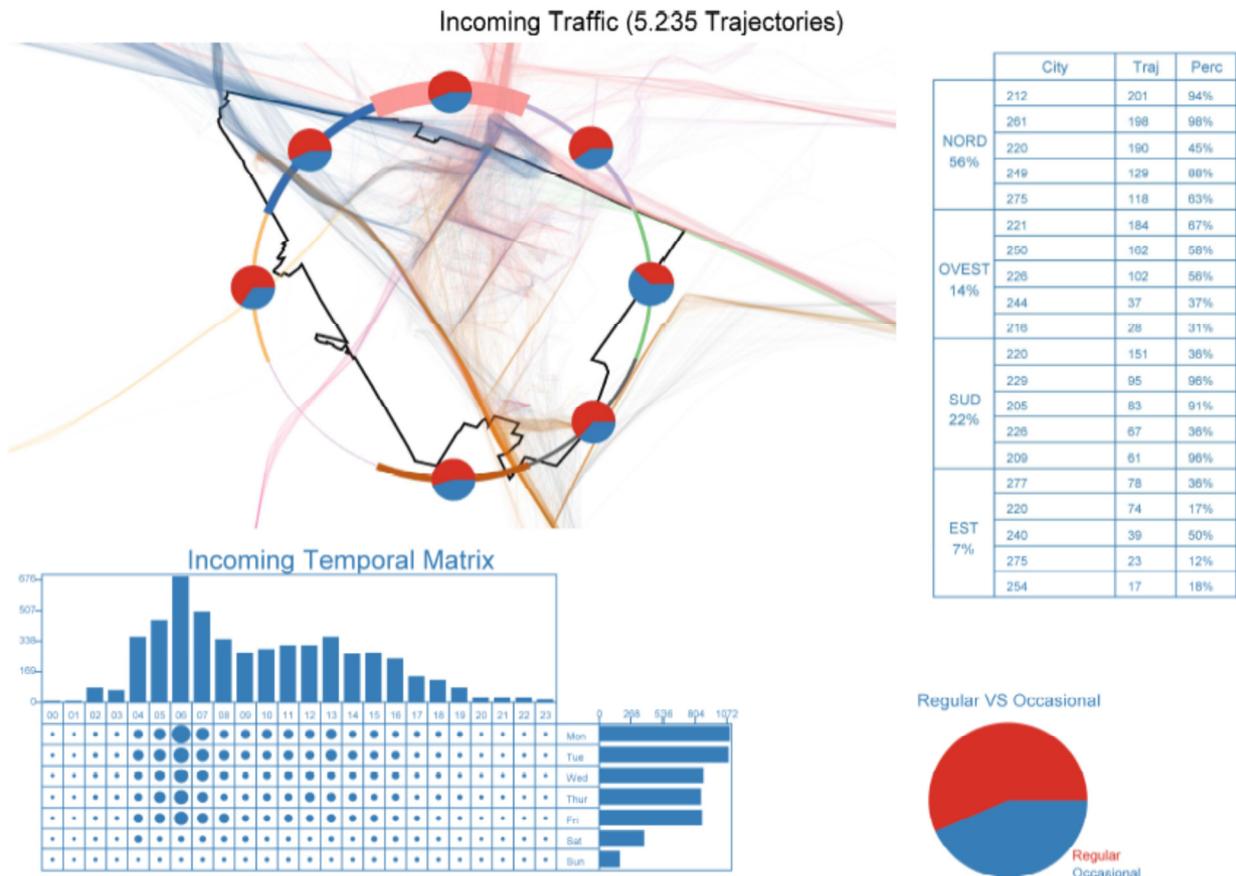


Figura 56: Dettaglio dei flussi di traffico entrante della zona Cisanello.

7.4.3.3 Flussi in uscita

Il flusso in uscita dalla città di Pisa descritto in Figura 57 è simile a quello relativo in entrata. Questo indica che le vie scelte per lasciare la città sono sostanzialmente le stesse di quelle usate per entrare. Il maggior flusso di traffico uscente è nella zona est in direzione della superstrada. Le destinazioni principali sono Cascina, San Giuliano Terme e Livorno e la maggior parte di viaggi sono effettuati sono di tipo sistematico.

I picchi di flusso in uscita si concentrano tra le 15 e le 17.

Analizzando congiuntamente le distribuzioni temporali degli ingressi (Figura 53) e delle uscite, si può riscontrare una coincidenza con gli orari tipici d'ufficio; questo dato conferma la capacità della città di attrarre lavoratori pendolari provenienti dalle aree circostanti.

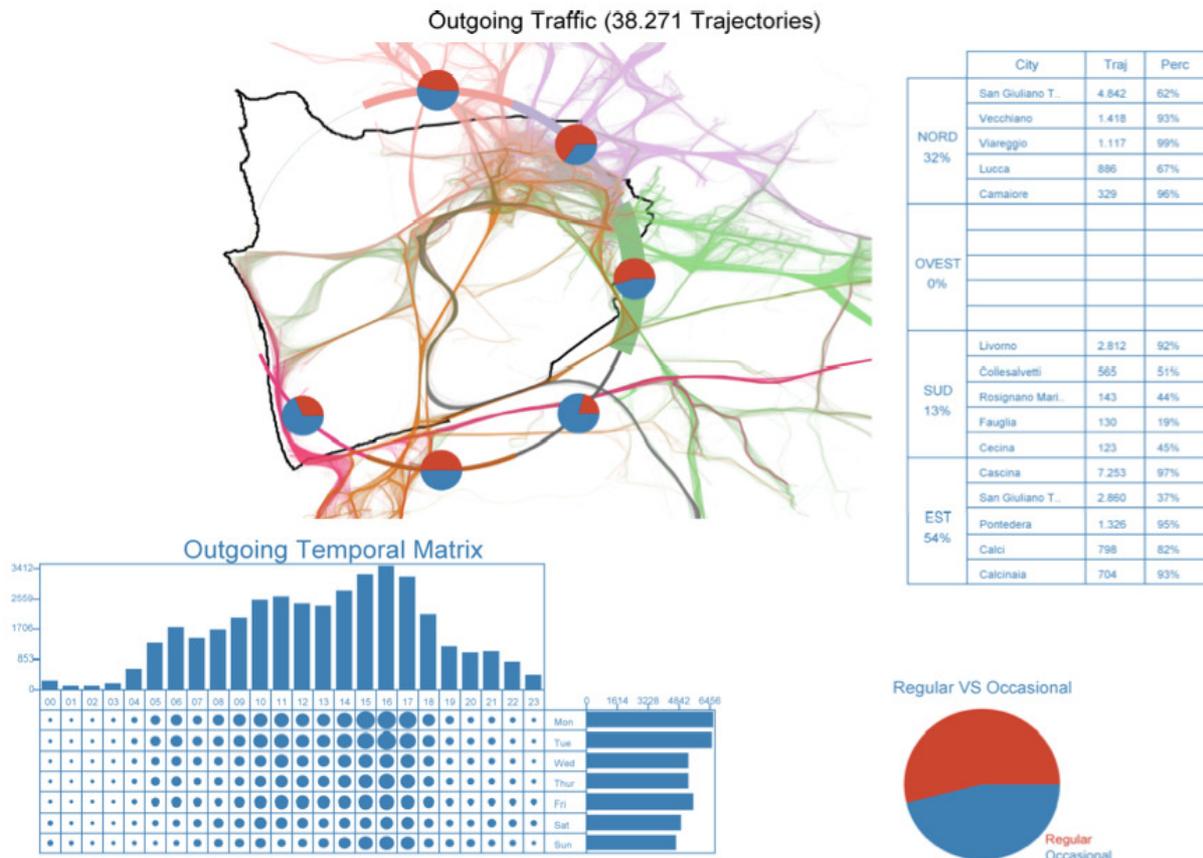


Figura 57: Flussi di traffico in uscita dalla città di Pisa

7.4.4 Analisi dei bordi

Questa analisi ha lo scopo di identificare i confini reali esistenti sul territorio valutando le connessioni tra le varie aree utilizzando dati di flusso automobilistico. In particolare si può valutare se i confini amministrativi sono compatibili con l'attuale domanda di mobilità e se esistono confini alternativi.

Valutando i flussi tra aree (Figura 58) e aggregando quelle che contengono stessa origine e destinazione (Figura 59), si trovano le zone caratterizzate da stessa mobilità.

Come si può notare in Figura 60 (B) le nuove comunità non corrispondono esattamente alla suddivisione amministrativa ufficiale. Tuttavia, è interessante notare come le aree di Calci, Vicopisano e Cascina siano accorpate a Pisa in modo analogo a come gli esperti del territorio stanno proponendo per una futura riorganizzazione delle municipalità.

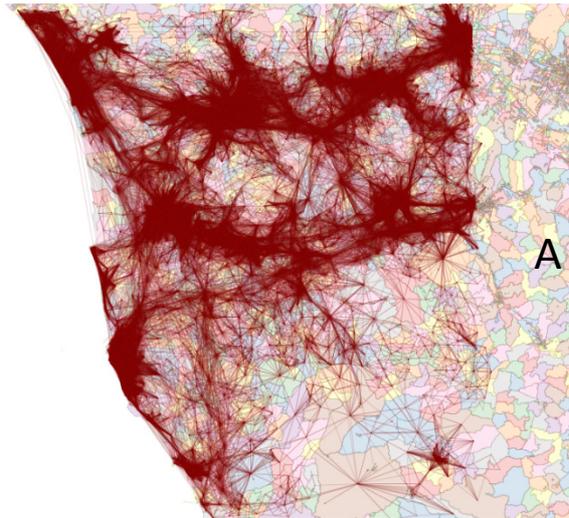


Figura 58: Rete di interconnessioni creata dai flussi

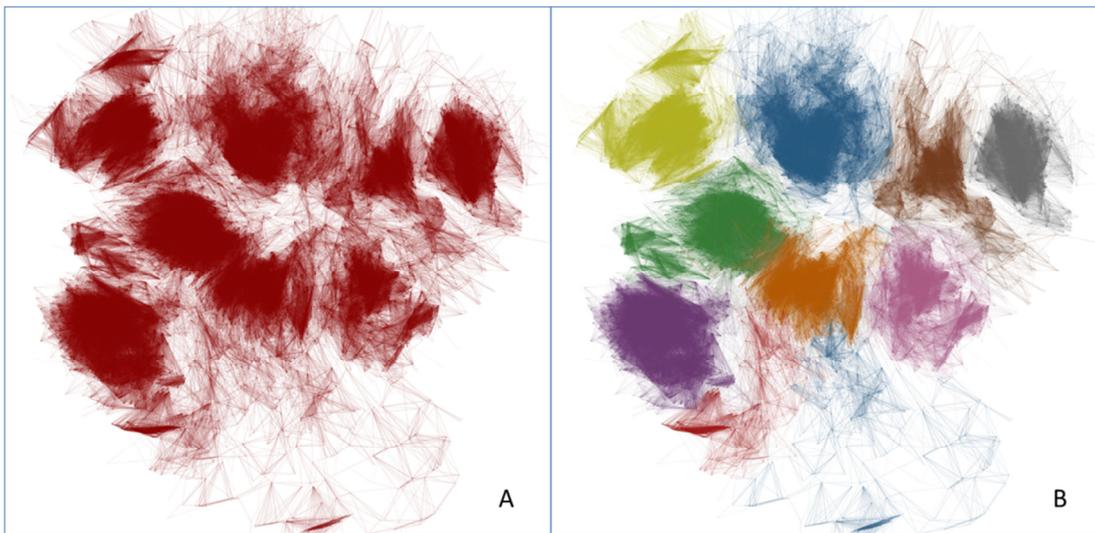


Figura 59: Aree identificate da stessa mobilità

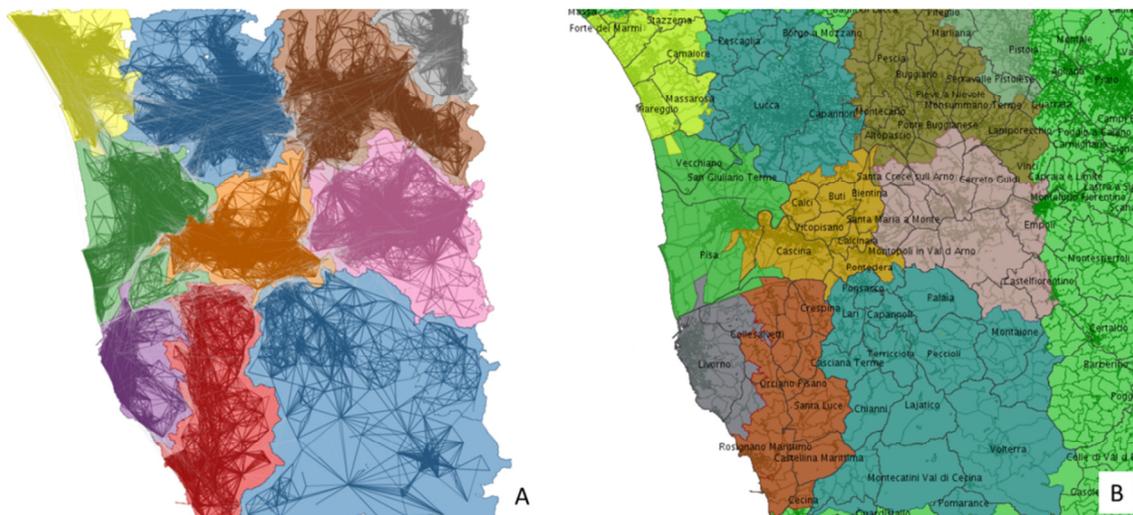


Figura 60: Identificazione delle regioni (A); Confronto con la geografia reale (B)

8 Bibliografia

Cen01. (2001). *Censimento Istat 2001*.

Istat11. (s.d.). Tratto da Istituto Nazionale di Statistica: www.istat.it