

**Comuni di
Pisa e Cascina**



Sindaco di Pisa
MICHELE CONTI

Assessore Urbanistica
MASSIMO DRINGOLI

Sindaco di Cascina
MICHELANGELO BETTI

Assessore Urbanistica
IRENE MASONI

PIANO STRUTTURALE INTERCOMUNALE

APPROVAZIONE AI SENSI DELL'ART. 23 L.R. 65/2014



STUDIO TRASPORTISTICO A SUPPORTO DEL PROGETTO DI COLLEGAMENTO TANVIARIO DA VIALE GRAMSCI ALL'OSPEDALE DI CISANELLO

[ELAB 6 QC] **MODIFICATO**

Responsabile del Procedimento – ing. Daisy Ricci
Garante della informazione e partecipazione– dott.ssa Valeria Pagni

Responsabile Macrostruttura 1- Comune di Cascina – ing. Luisa Nigro

UFFICIO DI PIANO

arch. Sandro Ciabatti – coordinamento tecnico
arch. Alice Lenzi – comune di Cascina

arch. Davide Tonelli – comune di Cascina
geol. Alessandra Pippi – comune di Pisa
dott.ssa Biol. Manuela Ferri – sett. valutazioni Comune di Pisa

Coadiuvato da:

Ufficio Urbanistica, Ufficio Edilizia –comune di Pisa
Ufficio Urbanistica, Ufficio Edilizia –comune di Pisa

INDAGINI DI SUPPORTO

Geol. Roberta Giorgi – indagini geo-geologiche e sismiche

Ing. Gazzini (Hiderogeo Ingegnerie) – indagini idrauliche

Città Futura - ricognizione patrimonio edilizio esistente –
adeguamento PSI al PRC

Scuola Superiore S. Anna: territorio rurale

Dott.ssa Elisabetta Norci: Valutazioni ambientali

Tages Società cooperativa - mobilità

Restituzione grafica e cartografica: dott. Lorenzo Pagnini, dott.ssa Patricia Guerriero, dott.ssa Eni Nurihana



Comune di Pisa



PISAMO
AZIENDA PER LA MOBILITÀ SPA

COLLEGAMENTO TRAMVIARIO DA VIALE GRAMSCI ALL'OSPEDALE CISANELLO

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

STUDI ED INDAGINI PRELIMINARI STUDIO TRASPORTISTICO RELAZIONE STUDIO TRASPORTISTICO



COMUNE DI PISA
Il Dirigente
Ing. Daisy Ricci



PISAMO s.p.a.
Il Direttore Tecnico
Ing. Alessandro Fiorindi



ARCHITECNA ENGINEERING s.r.l.
Il Coordinatore della progettazione
Ing. Santi Caminiti

GRUPPO DI PROGETTAZIONE Progettazione generale e coordinamento ARCHITECNA ENGINEERING s.r.l.  Borgo degli Albizi 16, Firenze www.architecna.it	Progettazione strutturale AICE Consulting s.r.l.  Via G. Boccaccio 20, San Giuliano Terme (PI) www.aiceconsulting.it	Studio ambientale Mancino Studio Tecnico Architettura del territorio  Cordo Italia 156, Pisa www.mancinostudiotecnico.com	Geologia e Geotecnica Dott. Mauro Allagosta geologo Via Vittorio Emanuele II 1, Castelnau Garfagnana (LU)	Studio idraulico Prof. Ing. Stefano Pagliara
	Consulenza architettonica ponte Isolarchitetti s.r.l.  Prof. Arch. A. Isola, Arch. S. Isola, Arch. A. Bonadoni Arch. M. Buttigieg, Arch. F. Bionni, Arch. S. Pignotti via Mazzini 33, Torino www.isolarchitetti.it	Studio trasportistico VIA Ingegneria s.r.l.  via Flaminia 999, Roma www.via.it	Analisi ACB e PEF Cohen&Co s.r.l.  Via Fatebenefratelli 30, Milano www.cohenandco.com	Archeologia Cooperativa Archeologia  cooperativa archeologia via Luigi La Vista 5, Firenze www.archeologia.it

PROGRESSIVO	COMMESSA	FASE	COMPARTO	DOCUMENTO	Em.	REV.	SCALA	NOME FILE
	PL01	SF	TRA	RL001	a	0A	-	PL-01-SF-TRA-RL001A-0A.pdf

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0A	Dicembre 2019	PRIMA EMISSIONE	TAROZZI	NICCHIARELLI	CAMINITI
0B					
0C					

INDICE

1. PREMESSA INTRODUTTIVA.....	4
2. LA TRANVIA NEL CONTESTO PIANIFICATORIO LOCALE.....	6
2.A. PIANIFICAZIONE URBANA DI SETTORE: PGTU E PUMS	6
2.B. PIANIFICAZIONE URBANISTICA GENERALE.....	8
3. L'OFFERTA DI TRASPORTO ATTUALE	10
3.A. PREMESSA.....	10
3.B. LA RETE STRADALE	10
3.C. LA RETE DEL TPL SU GOMMA.....	14
3.D. LA STAZIONE FERROVIARIA DI PISA CENTRALE.....	16
3.E. L'AEROPORTO GALILEO GALILEI	18
3.F. LA CONNESSIONE DIRETTA STAZIONE-AEROPORTO (PISAMOVER)	20
3.G. PARCHEGGI DI INTERSCAMBIO.....	21
4. LA DOMANDA DI TRASPORTO ATTUALE.....	23
4.A. PREMESSA.....	23
4.B. LA ZONIZZAZIONE DI TRAFFICO	23
4.C. LA DOMANDA ATTUALE DI TRASPORTO PRIVATA	25
4.D. LA DOMANDA ATTUALE RELATIVA AL SISTEMA TPL.....	28
5. LO SCENARIO DI PROGETTO	33
5.A. PREMESSA.....	33
5.B. EVOLUZIONE DEMOGRAFICA LOCALE.....	33
5.C. INDICATORI ECONOMICI E TRASPORTISTICI LOCALI	35
5.D. NUOVI SVILUPPI URBANISTICI	37
6. NUOVA LINEA TRAMVIARIA E RELATIVE PREVISIONI DI UTENZA	41
6.A. PREMESSA.....	41
6.B. IL PROGETTO DELLA TRANVIA.....	41
6.C. DOMANDA TENDENZIALE	45
6.D. DOMANDA IN DIVERSIONE MODALE.....	46
6.E. DOMANDA INDOTTA.....	49
6.F. QUADRO RIEPILOGATIVO DELLA DOMANDA ATTESA	51
7. IMPATTO DELLA TRANVIA SULLA MOBILITÀ PRIVATA	55
8. SINTESI E CONCLUSIONI DELLO STUDIO	58

ALLEGATO A: IL MODELLO DI TRAFFICO	I
A.1. MODELLO DI TRAFFICO PRIVATO: PROCEDURE E METODI ADOTTATI	I
A.2. MODELLO DI TRAFFICO COLLETTIVO (TPL): PROCEDURE E METODI ADOTTATI	V
A.3. IL MODELLO DI DIVERSIONE MODALE	VIII
A.4. IL SOFTWARE DI MACROSIMULAZIONE UTILIZZATO: TRANSCAD	X
ALLEGATO B: PROGRAMMA PRELIMINARE DI ESERCIZIO	XII
B.1. PREMESSA E ASSUNTI DI BASE	XII
B.2. DIAGRAMMA DI MARCIA	XIII
B.3. CADENZAMENTO ORARIO GIORNALIERO DEL SERVIZIO PREVISTO	XIV
B.4. STIMA DEL MONTANTE DI SERVIZIO PRODOTTO	XIV

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1 - TRACCIATO DI PROGETTO DELLA LINEA METROBUS (2010)	7
FIGURA 2 - SCHEMA SINOTTICO DELLA LINEA VELOCE CENTRO-CISANELLO (2013)	7
FIGURA 3 - INSERIMENTO DEL CORRIDOIO DELLA TRANVIA NELLA PIANIFICAZIONE URBANISTICA VIGENTE	9
FIGURA 4 - RETE STRADALE DI ADDUZIONE URBANA DI RANGO SOVRACOMUNALE	12
FIGURA 5 - CLASSIFICAZIONE DELLA RETE STRADALE URBANA	13
FIGURA 6 - COMPOSIZIONE ATTUALE DEL SERVIZIO TPL URBANO SU GOMMA	14
FIGURA 7 - MAPPA DELLA RETE ATTUALE DEL TPL URBANO SU GOMMA	15
FIGURA 8 - INTEGRAZIONE DELLA CITTÀ DI PISA NEL SISTEMA FERROVIARIO NAZIONALE/REGIONALE	16
FIGURA 9 - MOVIMENTAZIONE ANNUA PASSEGGERI DELLE PRINCIPALI STAZIONI FERROVIARIE TOSCANE	17
FIGURA 10 - RAFFRONTO STATISTICO TRA I PRINCIPALI AEROPORTI ITALIANI	18
FIGURA 11 - AEROPORTO GALILEI: TREND DELLA MOVIMENTAZIONE PASSEGGERI	19
FIGURA 12 - AEROPORTO GALILEI: PROIEZIONE FUTURA DELLA MOVIMENTAZIONE PASSEGGERI	19
FIGURA 13 - PISAMOVER: ANDAMENTO EFFETTIVO DELL'UTENZA IN FASE DI RAMP-UP	20
FIGURA 14 - PISAMOVER: PROIEZIONE DELL'UTENZA A REGIME	21
FIGURA 15 - LOCALIZZAZIONE DEI PRINCIPALI PARCHEGGI DI INTERSCAMBIO	22
FIGURA 16 - AREA DI STUDIO E RELATIVA ZONIZZAZIONE DEL TRAFFICO	24
FIGURA 17 - RAFFRONTO TRA FLUSSI RILEVATI E FLUSSI STIMATI DAL MODELLO (ORA DI PUNTA AM 08:00-09:00)	27
FIGURA 18 - SCATTER PLOT CONTEGGI/MODELLO (COMPONENTE VEICOLARE PRIVATA)	28
FIGURA 19 - RAFFRONTO UTENZA RILEVATA/UTENZA DA MODELLO (LINEE TPL)	30
FIGURA 20 - SCATTER PLOT UTENZA RILEVATA/UTENZA DA MODELLO (LINEE TPL)	30
FIGURA 21 - SCATTER PLOT UTENZA RILEVATA/UTENZA DA MODELLO (SALITI E DISCESI MACRO-ZONE FERMATA)	31
FIGURA 22 - RAFFRONTO UTENZA RILEVATA/UTENZA DA MODELLO (SALITI/DISCESI MACRO-ZONE FERMATA)	32
FIGURA 23 - PISA: ANDAMENTO DEMOGRAFICO 2001-2018	33
FIGURA 24 - PISA: PROIEZIONI DEMOGRAFICHE 2003-2032	34
FIGURA 25 - PISA: TREND DEMOGRAFICI DI MEDIO PERIODO	34
FIGURA 26 - TASSO PREVISIONALE DI VARIAZIONE DEL PIL REGIONALE (TRIENNIO 2019-2021)	35
FIGURA 27 - TREND DEGLI INDICATORI TURISTICI PISANI (2010-2018)	36
FIGURA 28 - UNIVERSITÀ DI PISA: ISCRITTI 2003-2017 DISTINTI PER PROVENIENZA	36

FIGURA 29 – TREND 2000-2016 DELL’INDICE DI MOTORIZZAZIONE NEL COMUNE DI PISA	37
FIGURA 30 – OSPEDALE CISANELLO: NUOVI ASSETTI DI PREVISIONE.....	38
FIGURA 31 – “STELLA MARIS”: LAY-OUT DELL’AREA E SCHEMA DI PROGETTO	39
FIGURA 32 – INQUADRAMENTO DELL’INTERVENTO RESIDENZIALE “ISOLA VERDE”	40
FIGURA 33 – CONNESSIONE STAZIONE CENTRALE-OSPEDALE CISANELLO: ASSETTO ATTUALE E DI PROGETTO.....	43
FIGURA 34 – CONFRONTO TRA SOLUZIONE A E SOLUZIONE B DI TRACCIATO TRAMVIARIO	44
FIGURA 35 – SCHEMATIZZAZIONE DELLA DIVERSIONE MODALE “ESTERNA” IN PARK&RIDE	48
FIGURA 36 – ZONE DI TRAFFICO CONSIDERATE PER LA STIMA DELLA DOMANDA INDOTTA.....	50
FIGURA 37 – TRASPORTO COLLETTIVO URBANO: PROSPETTO RIEPILOGATIVO DELLA DOMANDA ATTUALE E FUTURA	52
FIGURA 38 – TRANVIA: SEGMENTAZIONE DELLE DIVERSE COMPONENTI DELLA DOMANDA ANNUA STIMATA.....	52
FIGURA 39 – SALITI/DISCESI ALLE/DALLE DIVERSE FERMATE DELLA TRANVIA (TRATTA MONODIREZIONALE W-E STAZIONE C.LE- OSPEDALE CISANELLO)	53
FIGURA 40 – SALITI/DISCESI ALLE/DALLE DIVERSE FERMATE DELLA TRANVIA (TRATTA MONODIREZIONALE E-W OSPEDALE CISANELLO- STAZIONE C.LE).....	54
FIGURA 41 – EFFETTI GENERALI DELLA TRANVIA SUL LIVELLO DI CONGESTIONE DELLA RETE STRADALE.....	55
FIGURA 42 – EFFETTI ATTESI SULLA RETE STRADALE DELLA DIVERSIONE MODALE APPORTATA DALLA TRANVIA (ORIZZONTE 2029).....	57

1. PREMESSA INTRODUTTIVA

Il presente documento reca le analisi e valutazioni trasportistiche connesse al Progetto di fattibilità tecnico-economica della Linea 1 della tranvia di Pisa (Stazione Centrale-Ospedale Cisanello), sviluppate con riferimento alle indicazioni ed ai contenuti riportati nelle “Linee Guida per la Valutazione degli Investimenti in Opere Pubbliche” (allegato A al D.M. 300/2017); in particolare, come richiesto dalle linee guida citate, è stata sviluppata una specifica analisi trasportistica della domanda attesa sulla linea (con orizzonte temporale 10 anni e proiezione ai 10 anni ancora successivi), in ordine alle prevedibili dinamiche evolutive dei fattori demografici, urbanistici e socio-economici locali, nonché alle misure di riassetto del sistema del TPL locale su gomma funzionali a un corretto ed efficace inserimento della nuova linea tranviaria.

Il tracciato proposto si sviluppa in misura nettamente prevalente in sede riservata e copre una distanza monodirezionale di circa 4.3 km (con 13 fermate, separate tra loro da un'interdistanza media di ~400 m), connettendo in modo rapido due tra le principali polarità urbane di Pisa:

- la stazione ferroviaria centrale che, con circa 15 milioni di passeggeri/anno movimentati è al secondo posto dopo Firenze tra le stazioni ferroviarie Toscane per rango di utenza; va osservato che presso la stazione è attestato anche uno dei due capolinea del servizio Pisamover (navetta automatica con trazione a fune per il collegamento diretto con l'Aeroporto Galilei) e che la stazione stessa dista soli 400 m circa dal nuovo hub del trasporto pubblico extraurbano pisano su gomma recentemente ultimato presso la “Sesta Porta” in via Battisti;
- il Polo Ospedaliero Cisanello, di primaria valenza regionale e in corso di ulteriore espansione, destinato a regime a garantire un'offerta di ~1300 posti letto (contro gli oltre 800 già attualmente disponibili) e ad ospitare funzioni didattico-sanitarie strettamente connesse alla Facoltà di Medicina. Il polo Cisanello, inoltre, grazie alla sua dotazione di parcheggi (anch'essi in fase di ulteriore e sensibile potenziamento) si presta a svolgere secondariamente funzioni di park&ride per quota parte degli spostamenti in ingresso a Pisa dalla FI-PI-LI (lato Firenze) e diretti in zona stazione/centro storico, che potrebbero essere efficacemente drenati e intercettati dalla nuova tranvia, con evidenti benefici in termini trasportistici e ambientali.

Lungo il tracciato si trovano altresì importanti istituti scolastici e universitari (in via Croce e via Matteotti), un rilevante centro commerciale (via Cisanello), interventi residenziali (“Comparto Isola Verde”) e ospedalieri (ospedale pediatrico “Stella Maris”) in completamento e/o in avanzata fase di pianificazione (entrambi in via Bargagna).

L'analisi svolta ha preso in considerazione un ambito di studio ricomprensivo tutte le zone di traffico interne al comune di Pisa (secondo una zonizzazione base mutuata dal vigente PGTU; si veda in proposito il la

successiva Figura 16) e, in ottemperanza alle indicazioni fornite dalle citate linee guida ministeriali, è stata sviluppata (in termini previsionali) con riferimento ad un orizzonte temporale base di 10 anni.

Nei capitoli successivi verranno analizzati nello specifico le seguenti tematiche:

- disamina del contesto pianificatorio locale in materia di urbanistica e di mobilità/traffico in cui è calato il progetto della tranvia;
- analisi della domanda di mobilità attuale nel contesto urbano pisano, con riferimento sia alla componente privata sia al trasporto urbano collettivo;
- analisi dell'offerta di trasporto attuale nel contesto urbano pisano, con focus particolare sul sistema del trasporto urbano collettivo;
- analisi degli scenari evolutivi locali attesi, in termini demografici, socio-economici e urbanistici;
- stima della domanda attesa sulla nuova linea tranviaria (con distinzione tra la componente tendenziale, in diversione modale e indotta, ai sensi delle linee guida ministeriali precedentemente citate);
- analisi dei principali impatti attesi a seguito dell'inserimento del tram sul sistema della mobilità privata;
- riepilogo dello studio e conclusioni.

2. LA TRANVIA NEL CONTESTO PIANIFICATORIO LOCALE

2.A. PIANIFICAZIONE URBANA DI SETTORE: PGTU E PUMS

La città di Pisa è dotata dal 2002 di un Piano Urbano Generale del Traffico Urbano (PGTU), adottato in via definitiva con Delibera del Consiglio Comunale n. 4 del 24-01-2002; lo stesso comune ha inoltre recentemente avviato ed attivato le procedure per la redazione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS), a seguito dell'approvazione di un apposito studio propedeutico alla redazione del PUMS medesimo (cfr. *"Piano strategico-ricognitivo delle azioni-interventi di mobilità sostenibile- Relazione Tecnica"*, approvato con Delibera della Giunta Comunale n. 188 del 09-11-2017).

Con riferimento al vigente PGTU, è opportuno osservare come quest'ultimo dia valenza centrale al potenziamento e rilancio del ruolo e della funzione del trasporto pubblico, anche nell'ottica di assicurare una efficace connessione tra le principali polarità urbane e, conseguentemente, consentire una virtuosa diversione modale dal mezzo privato a quello collettivo. Si riporta al riguardo uno stralcio del paragrafo 8.2 della Parte Prima del PGTU *"Diagnosi, obiettivi e strategie del piano"*:

"[...] Vanno poi identificate le linee di forza da intensificare e proteggere, possibilmente con sistemi intelligenti di preferenziamento; fra le direttrici forti verranno valutate le connessioni al sistema dei parcheggi scambiatori, così come andranno verificati i collegamenti tra i terminal extraurbani ed i principali poli attrattori urbani (ospedale, scuole, università), poli che hanno lamentato l'attuale scarsa qualità dei servizi offerti. [...]"

Lo stesso PGTU, inoltre, in sede di proposte attuative prefigura ancora più nello specifico l'opportunità della realizzazione di una dorsale forte tranviaria lungo l'itinerario Stazione Centrale-Cisanello, come chiaramente riscontrabile dallo stralcio sotto riportato (vedasi in paragrafo 9.1 della Parte Seconda del PGTU *"Interventi del piano"*):

"Obiettivo [...] è, ovviamente la riduzione della domanda di trasporto su gomma ed in particolare l'abbassamento delle quantità di moti pendolari per lavoro che si attestano su Pisa, incrementati dall'avvenuto decentramento delle funzioni abitative -un tempo concentrate nella città - verso un hinterland esteso a diversi comuni dell'area. Le stesse ipotesi di realizzazione di una tranvia urbana - secondo una linea che comunque si ritiene debba necessariamente avere come estremi la Stazione Centrale e l'ospedale di Cisanello, in quanto è su tale direttrice che il piano ha localizzato lo sviluppo dei servizi urbani - sono dal regolamento urbanistico correlate alla fattibilità della trasformazione di cui sopra. [...]"

Le indicazioni del PGTU si sono tradotte negli anni successivi in una serie di studi specialistici (promossi dal Comune di Pisa e da Pisamo Srl) volti a individuare la fattibilità di realizzazione di una dorsale TPL forte impostata lungo la direttrice Stazione Centrale-Ospedale Cisanello, che di seguito si citano in ordine cronologico:

- *"Studio di fattibilità per un collegamento rapido di trasporto pubblico Stazione-centro-Cisanello"* (Marzo 2010), in cui si considerava la realizzazione di una linea bus ad alta efficienza tra la zona

della Stazione Centrale e l'Ospedale Cisanello (v. stralcio planimetrico in Figura 1);



Figura 1 - Tracciato di progetto della linea Metrobus (2010)

- “Progetto Preliminare di linea veloce Centro-Cisanello” (Marzo 2013), in cui si ipotizzava la realizzazione di un sistema filoviario tra Piazza Vittorio Emanuele II e l'Ospedale Cisanello (v. schema sinottico della linea riportato in Figura 2)

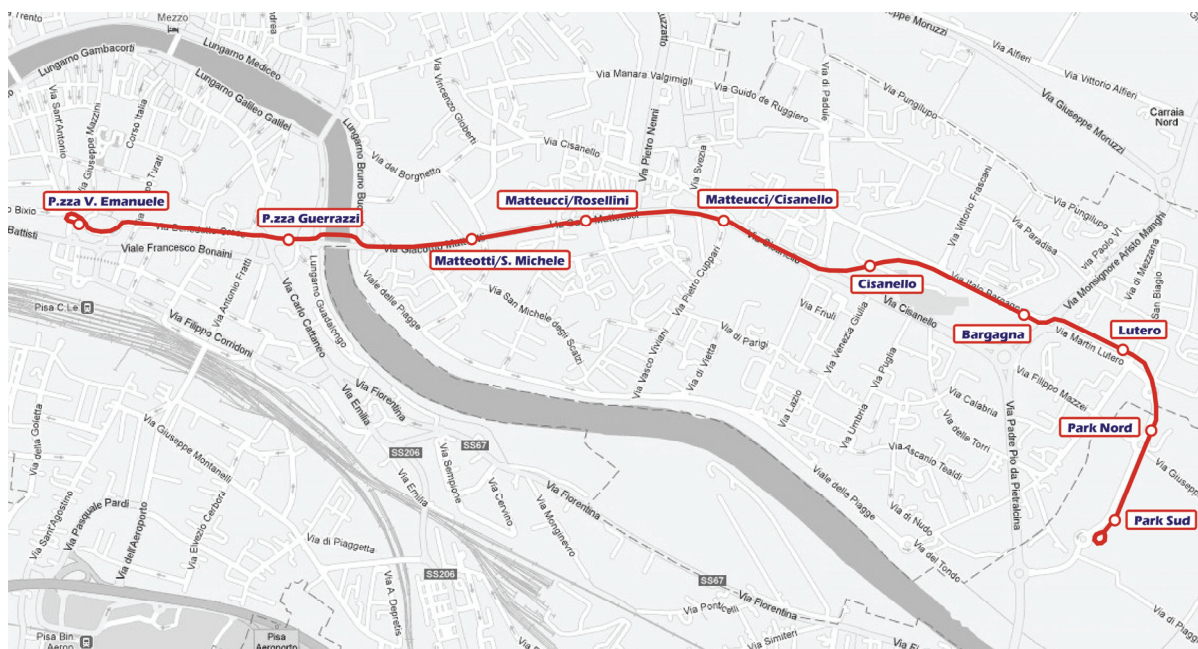


Figura 2 – Schema sinottico della linea veloce Centro-Cisanello (2013)

- aggiornamento 2019 del “Progetto Preliminare di linea veloce Centro-Cisanello” di cui sopra, revisionando nel dettaglio il tracciato e valutando l'opportunità di adozione di rotabili su gomma di tipo “full-electric”.

Si osserva come tutte le ipotesi progettuali sopra descritte, pur contemplando e/o valutando tecnologie di sistema differenti, confermavano l'opportunità di impostare la nuova dorsale forte del TPL pisano lungo la direttrice ovest-est (Stazione Centrale-Ospedale Cisanello), in ordine sia alla priorità delle polarità terminali servite sia ai previsti (e, in misura rilevante, effettivamente attuati o in corso di attuazione) sviluppi urbanistici della città lungo l'itinerario individuato.

Come precedentemente accennato, sono state altresì recentemente avviate le procedure per la stesura del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS), facendo seguito all'approvazione di un apposito studio propedeutico alla redazione del medesimo (cfr. “Piano strategico-ricognitivo delle azioni-interventi di mobilità sostenibile- Relazione Tecnica”, approvato con Delibera della Giunta Comunale n. 188 del 09-11-2017). Anche in tale documento propedeutico al PUMS si conferma l'opportunità/necessità di potenziare in termini di efficienza del TPL la direttrice Stazione Centrale-Ospedale Cisanello, realizzando su di essa la dorsale portante del trasporto collettivo urbano di Pisa. Al riguardo, si riporta di seguito uno stralcio del paragrafo 3.5 (“Progetto Metrobus: Centro-Ospedale Cisanello”) del documento citato:

“[...] Il progetto prevede la realizzazione di un servizio di trasporto pubblico realizzato in sede riservata che collegherà rapidamente il centro città e l'area della Stazione Centrale (p.za Vittorio E.) con l'Ospedale Cisanello. Lungo il percorso servito gravitano alcune importanti polarità urbane, quali il Palazzo dei Congressi sito in v. Matteotti, il comprensorio scolastico superiore sito in v. Croce e le Facoltà di Agraria, Economia e Veterinaria dell'Università di Pisa, situate a c.a. 300 m dalla prevista fermata Metrobus di v. Matteotti. Con il potenziamento del trasporto pubblico e la realizzazione della dorsale ciclabile est-ovest questa direttrice si intende rafforzare come asse portante della mobilità cittadina. [...]”

2.B. PIANIFICAZIONE URBANISTICA GENERALE

La previsione di un collegamento tranviario tra la Stazione e l'Ospedale Cisanello è direttamente integrata nella vigente pianificazione urbanistica comunale (Piano Strutturale Comunale e relativi documenti attuativi); in particolare, le Norme del Regolamento Urbanistico vigente, trattano la tematica della tranvia all'“Articolo 1.4.11 – Tramvia Veloce Stazione-Cisanello”, che di seguito si riporta integralmente:

“Tracciato della linea veloce e deposito dei mezzi, il progetto della linea potrà prevedere opere e modifiche alla viabilità esistente e potrà anche interessare gli spazi adiacenti comunque destinati. Il progetto potrà prevedere anche la realizzazione di elementi infrastrutturali, quali a titolo esemplificativo nuovo ponte sul fiume, sottovia/sottopassi, rotatorie. Al progetto della tranvia veloce è associata la realizzazione dell'area a parcheggio destinata esclusivamente al deposito di autobus e di cui il dimensionamento sarà indicato dal progetto stesso della

tranvia veloce”.

Gli stessi elaborati grafici associati al Regolamento Urbanistico indicano in mappa il corridoio previsto per il tracciato della futura linea Stazione Centrale-Ospedale Cisanello; si vedano a tale proposito gli stralci riportati in Figura 3 delle tavole “Pisa Ovest” (di cui al riquadro A) e “Zona Centro Storico” (di cui al riquadro B) della “*Variante di adeguamento delle previsioni del R.U., dei Piani Attuativi approvati in conformità al R.U. e contestuale adeguamento delle norme*”.

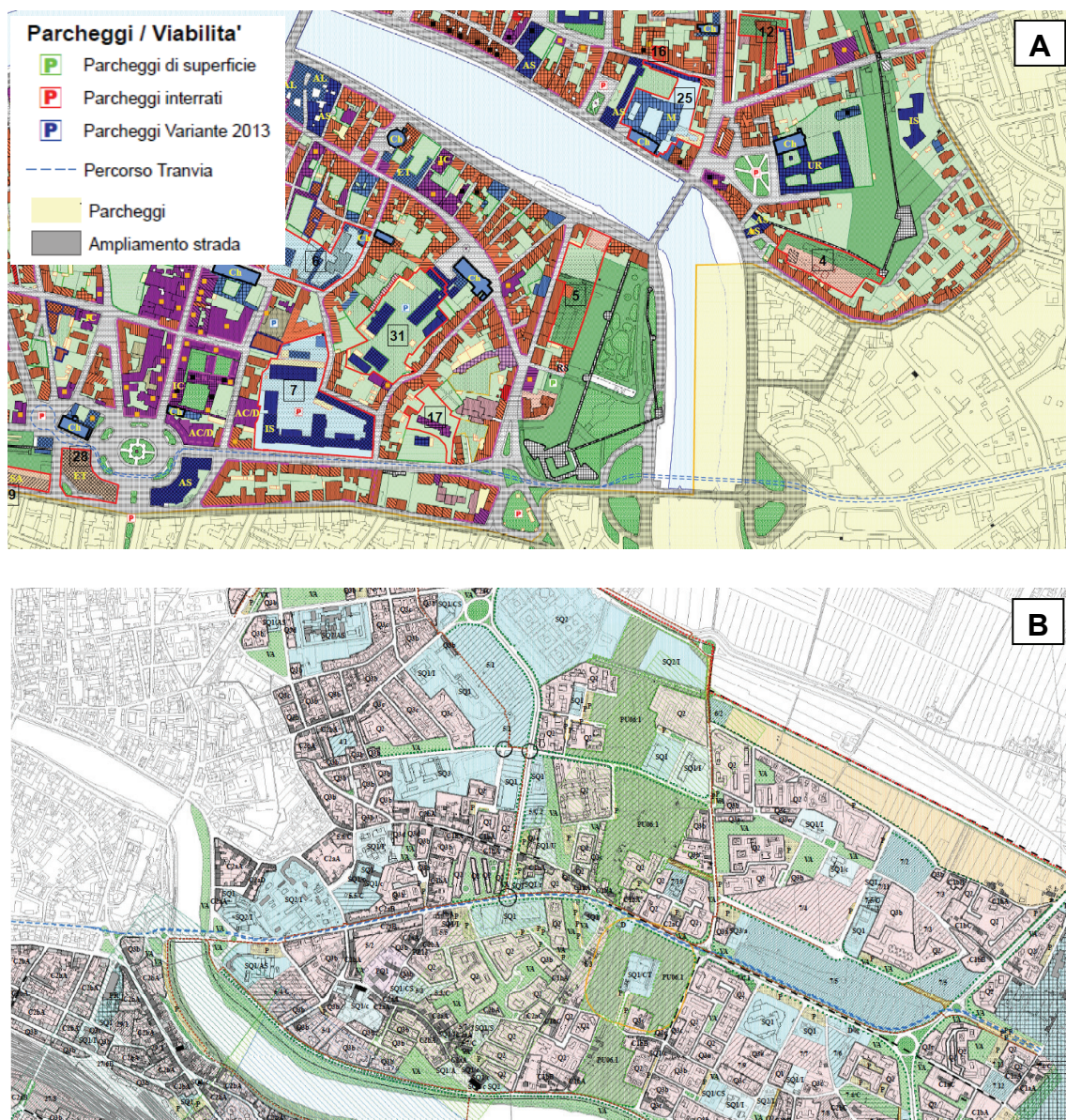


Figura 3 – Inserimento del corridoio della tranvia nella pianificazione urbanistica vigente

3. L'OFFERTA DI TRASPORTO ATTUALE

3.A. PREMESSA

Nel presente capitolo è analizzata l'attuale offerta di trasporto urbano nel Comune di Pisa, con riferimento sia alla rete stradale sia al sistema del trasporto collettivo; vengono inoltre trattati l'hub ferroviario della stazione di Pisa Centrale, l'aeroporto Galileo Galilei, il Pisamover (sistema automatico a fune per la connessione Stazione Centrale-Aeroporto Galilei) e il sistema dei principali parcheggi di interscambio/attestamento.

3.B. LA RETE STRADALE

La città di Pisa è connessa alla rete stradale nazionale e regionale attraverso alcune arterie primarie (vedi Figura 4):

- *Autostrada A12* (Genova-Pisa-Livorno), a carreggiate separate e due corsie per senso di marcia;
- *strada di grande comunicazione Firenze-Pisa-Livorno (FI-PI-LI)* e, in particolare, diramazione Firenze-Pisa (FI-PI); essa si configura come strada a carreggiate separate e due corsie per senso di marcia;
- strade statali e/o regionali con penetrazione/attraversamento dell'agglomerato urbano di Pisa e, in particolare:
 - *SS1 Aurelia*, che lambisce la parte occidentale del territorio comunale e si sviluppa in direzione nord-sud a carreggiata singola e singola corsia per senso di marcia;
 - *SS12 Abetone-Brennero*, che parte da Pisa e si sviluppa verso nord sino al confine austriaco (Passo del Brennero); nella tratta pisana si configura come strada a carreggiata singola e singola corsia per senso di marcia;
 - *ex SS67 Tosco-Romagnola* (ora SP67 Tosco-Romagnola), che si sviluppa da sud-ovest a nord-est collegando la Toscana (Pisa) con l'Emilia-Romagna (Ravenna); essa si configura come strada a carreggiata singola e singola corsia per senso di marcia;
 - *SR206 Pisana-Livornese*, che garantisce il collegamento nord-sud tra Pisa e Cecina (ponendosi come alternativa nell'entroterra alla SS1 Aurelia lungo la medesima direttrice); essa si configura come strada a carreggiata singola e singola corsia per senso di marcia.

La rete extraurbana è completa da alcune altre arterie provinciali di adduzione all'agglomerato di Pisa, tra cui si segnalano la SP224 (Strada Provinciale Marina di Pisa, che garantisce il collegamento della città di Pisa

con suo litorale tirrenico), la SP2 (Strada Provinciale Calcesana, che connette la città agli importanti agglomerati orientali di Cascina e Pontedera), la SP9 (Strada Provinciale San Jacopo, che connette la città agli agglomerati settentrionali di Pontasserchio, Sant'Andrea in Pesciola e Madonna dell'Acqua) e la SP22 (Strada Provinciale del Mare, che mette in comunicazione tra loro, in direzione nord-sud, SS1 Aurelia SP224).

Relativamente alla rete stradale urbana, in ossequio alla classificazione stradale derivante dal vigente Piano Generale del Traffico Urbano (a sua volta sviluppato secondo le “*Direttive per la Redazione, Adozione ed Attuazione dei Piani Urbani del Traffico*” emanate dal Ministero dei Lavori Pubblici nel 1995), si segnalano in ordine di rango, le seguenti arterie (v. Figura 5¹):

- *strade urbane di quartiere (tipo E)*: via Manghi, tratta urbana della SS1 Aurelia, tratta urbana della SP67 (via Fiorentina) tra via Gronchi e via Emilia, SS12 (via Lucchese, tratta in penetrazione nord all'agglomerato urbano), via Pontecorvo (tratta in penetrazione nord all'agglomerato urbano), via Paparelli;
- *strade urbane locali interzonal primarie (tipo EF)*: via Cisanello, via Matteucci, via Matteotti, via Giuliano Da Sangallo, direttrice via Nenni-via Luzzatto-via Volpi, via di Pratale (tratta tra via Volpi e via Da Pontecorvo), asse via Lucchese-via Rindi, direttrice via delle Cascine-via Contessa Matilde-via del Brennero, via San Jacopo (tratta in penetrazione nord all'agglomerato urbano), direttrice via Pietrasantina-via Bonanno Pisano, asse via Battisti-via Bonaini, sistema dei Lungarni sud, via Livornese (tratta in penetrazione ovest all'agglomerato urbano), direttrice via Fratti-via Cavalcavia San Giusto-via dell'Aeroporto/via Pardi, direttrice via Emilia-via Cattaneo;
- *strade urbane locali interzonal secondarie (tipo EF)*: direttrice via De Amicis-via Santa Marta-via Buozzi-via del Borghetto-via Luschi-via Cisanello (sino all'innesto di quest'ultima su via Matteucci), direttrice via Padule-via De Ruggiero, direttrice via San Zeno-via Buonarroti-via San Giovanni in Bosco, via 24 Maggio (tratta in penetrazione nord all'agglomerato urbano), via di Gello (tratta in penetrazione nord all'agglomerato urbano), via Putignano, direttrice via Andrea Pisano-via Michelangelo;
- *strade urbane locali interzonal complementari (tipo EF)*: direttrice via Montanelli-via Sant'Agostino, via Croce, via Calatafimi, via di Oratorio, via Maccatella, via Pungilupo, sistema dei Lungarni nord (indicativamente da ponte della Vittoria a Ponte Solferino), direttrice via Betti-via Gioberti, direttrice via Rustichello-via Nicola Pisano, direttrice via delle Lenze-via Rook-via Tesio, via Nicola Pisano, direttrice via Cei-via Lorenzini-via Roques.

Le restanti strade sono classificate come *strade locali (tipo F)*.

¹ Fonte: PISAMO Srl



Figura 4 – Rete stradale di adduzione urbana di rango sovracomunale

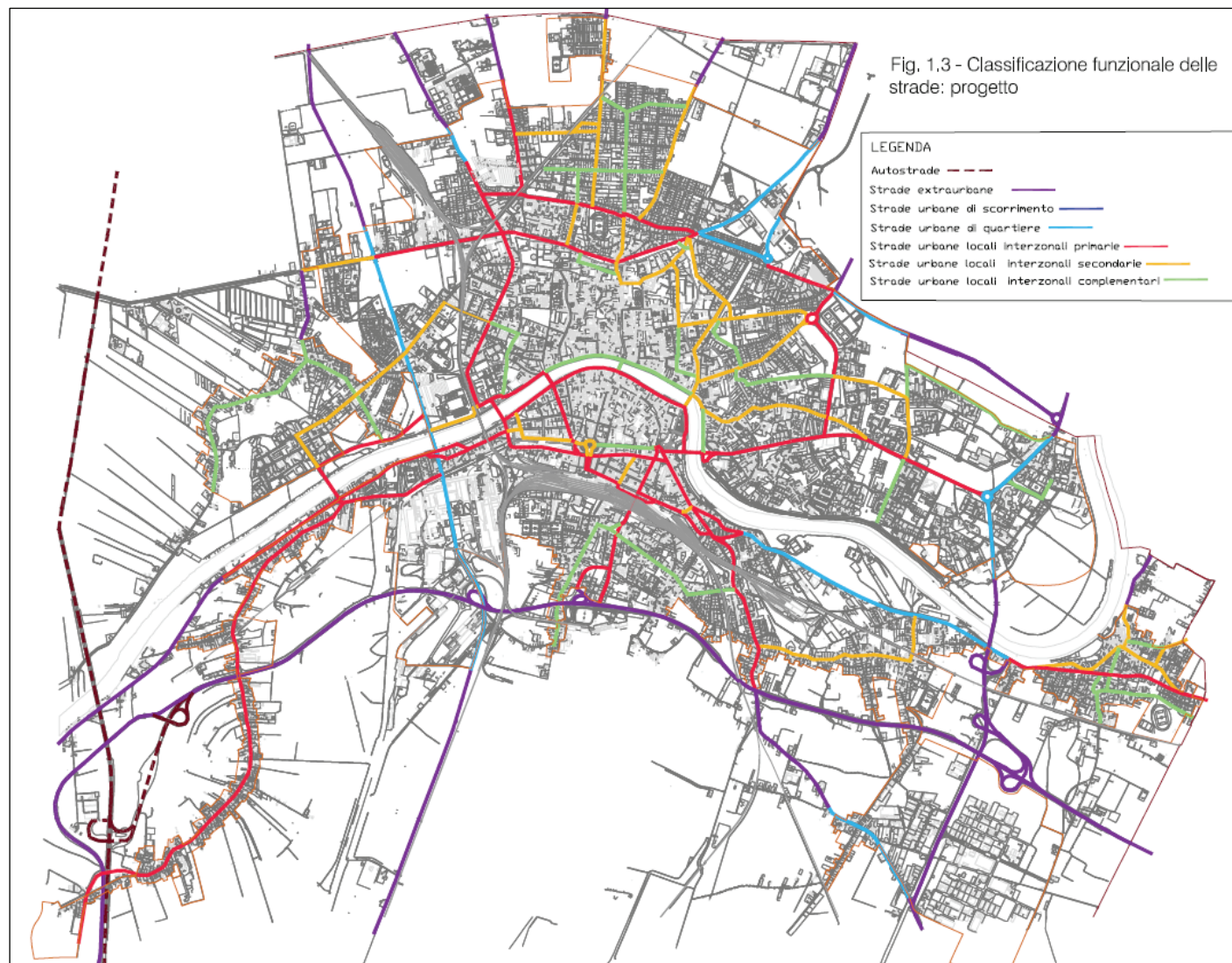


Figura 5 – Classificazione della rete stradale urbana

3.C. LA RETE DEL TPL SU GOMMA

La rete del trasporto pubblico locale su gomma di Pisa consiste attualmente in due Linee ad Alta Mobilità (LAM Rossa, LAM Verde) e in 10 linee bus ordinarie (linee 2, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 13, 14, navetta E) ; nel prospetto sotto riportato si riassumono le caratteristiche principali di dette linee, in termini di servizio offerto e di utenza rilevata.

LINEA	UTENZA 08:00-09:00				
	ORARIO SERVIZIO ^(a)	CORSE/GG (per direzione)	LUNGHEZZA MONODIREZ. (Km) ^(b)	PAX/GIORNO ^(a)	PAX/ANNO
LAM ROSSA (Ospedale-Stazione-Torre-Park Pietr.)	05:40-21:00	~90	~7.7	10300	3090000
LAM VERDE (S. Giusto-Stazione-Pratale)	06:00-21:00	~85	~6.2	5920	1776000
LINEA 2 (Gramsci-D. d'Aosta/Le Maggiola)	06:00-21:00	57	~5.7/6.6	1640	492000
LINEA 4 (Stazione-I Passi)	06:00-21:00	52	~8.0	2650	795000
LINEA 5 (Putignano-Stazione-CEP)	06:00-21:00	~50	~9.5	3690	1107000
LINEA 6 (Stazione-Barbaricina)	06:45-20:45	25	~5.9	570	171000
LINEA 8 (Stazione-Coltano)	06:40-21:00	9	~5.9	100	30000
LINEA 12 (Stazione-Ospedaletto)	05:00-21:30	11	~6.6	150	45000
LINEA 13 (Stazione-Pisanova-Ospedale-Piagge)	06:10-20:40	56	~5.6	3290	987000
LINEA 14 (Stazione-Piagge-Ospedale-Pisanova)	06:10-20:40	48	~5.3	3490	1047000
LINEA 16 (Stazione- NAVETTA E (Pacinotti-La Fontina)	07:30-21:20	33	~6.6/8.6	430	129000
	07:00-20:30	54	~2.5	1170	351000
(a) riferimento: periodo feriale non estivo					
(b) lunghezza monodirezionale media					

Figura 6 – Composizione attuale del servizio TPL urbano su gomma

Le linee LAM servono le dorsali prioritarie del trasporto pubblico su gomma. Si osserva come la loro attuale configurazione derivi da un recente riassetto conseguente all'introduzione del servizio Pisamover per il collegamento diretto tra Stazione Centrale e aeroporto; prima della attivazione di quest'ultimo, infatti, erano operative tre linee ad Alta Mobilità (LAM Rossa: Stazione-Park Pietrasantina/S. Jacopo; LAM Blu: Stazione-Ospedale Cisanello; LAM Verde: Stazione-Pratale), una delle quali (LAM Blu) in esercizio lungo la medesima direttrice che si prevede ora di servire più efficacemente col servizio tranviario proposto.

Come si evince dall'assetto attuale della rete TPL su gomma, la connessione tra Stazione e Ospedale è attualmente garantita da tre linee (LAM Rossa, Linea 13, Linea 14), di cui una caratterizzata da un tragitto più diretto (LAM Rossa, cadenzata ai 10') e due di tipo circolare (Linea 13, Linea 14; entrambe cadenzate ai 15' durante le fasce orarie di punta) con tracciato più perimetrale.

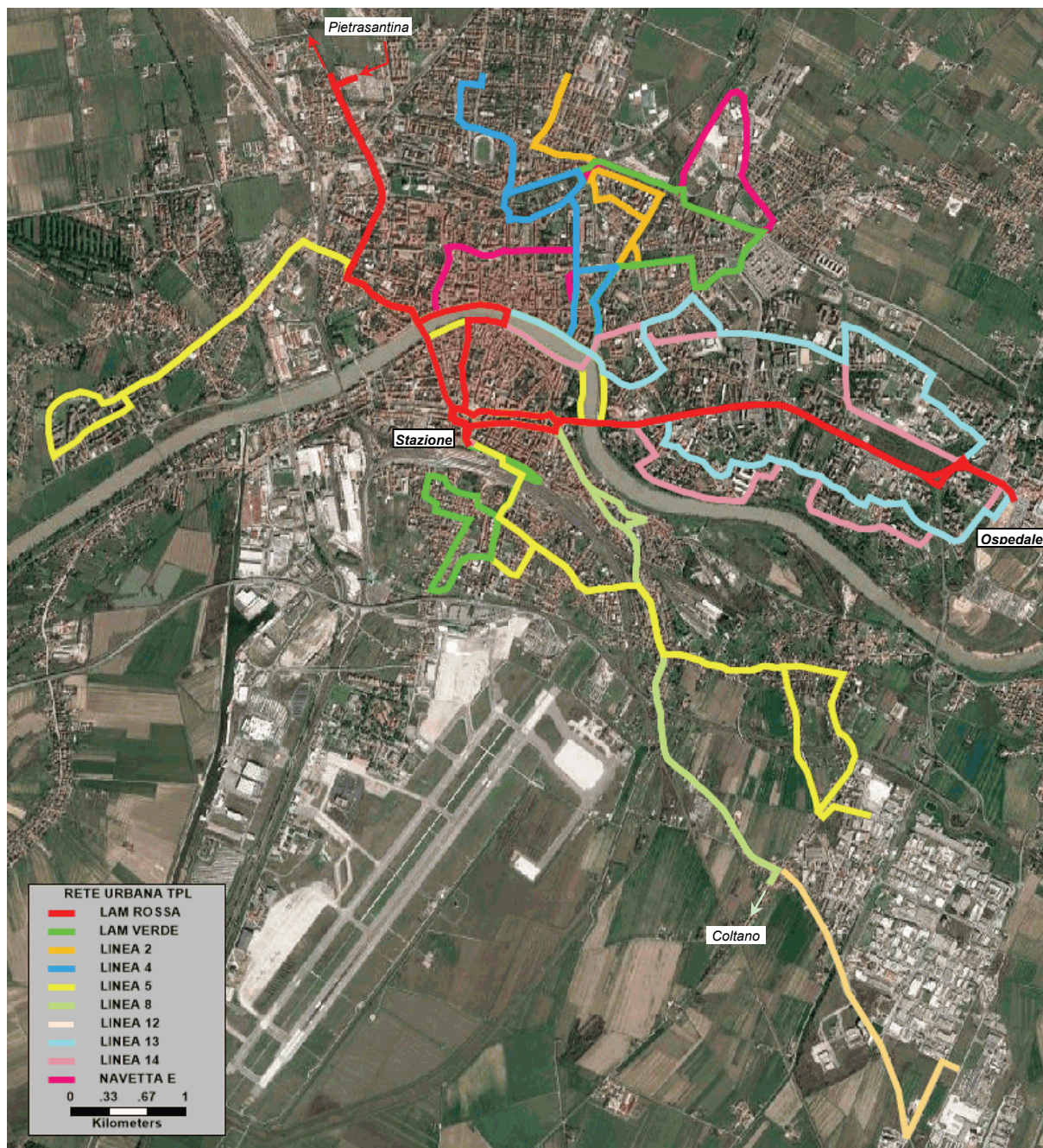


Figura 7 – Mappa della rete attuale del TPL urbano su gomma

È opportuno osservare come alle linee TPL su gomma urbane appena trattate si affianchino i servizi extraurbani da/per le principali agglomerazioni presenti nell'intorno provinciale allargato del capoluogo. Esse insistono in gran parte sul nuovo hub del trasporto pubblico extraurbano pisano su gomma recentemente ultimato presso la "Sesta Porta" in via Battisti (a ~400 m dalla stazione ferroviaria centrale); tra i servizi extraurbani più rilevanti si citano le linee 10 (Pisa-Tirrenia-Livorno) e 190 (Pisa-Cascina-Pontedera), entrambe cadenzate ai 15' in fascia oraria di punta e con numerose fermate interne all'area urbana di Pisa.

3.D. LA STAZIONE FERROVIARIA DI PISA CENTRALE

La città di Pisa è connessa alla rete ferroviaria nazionale e regionale attraverso alcune linee/direttrici che fanno capo alla stazione ferroviaria di Pisa Centrale e, precisamente (vedi Figura 8):

- *ferrovia Pisa-Livorno-Roma;*
- *ferrovia Genova-Pisa;*
- *ferrovia Pisa-Lucca;*
- *ferrovia Pisa-Collesalveti-Vada.*

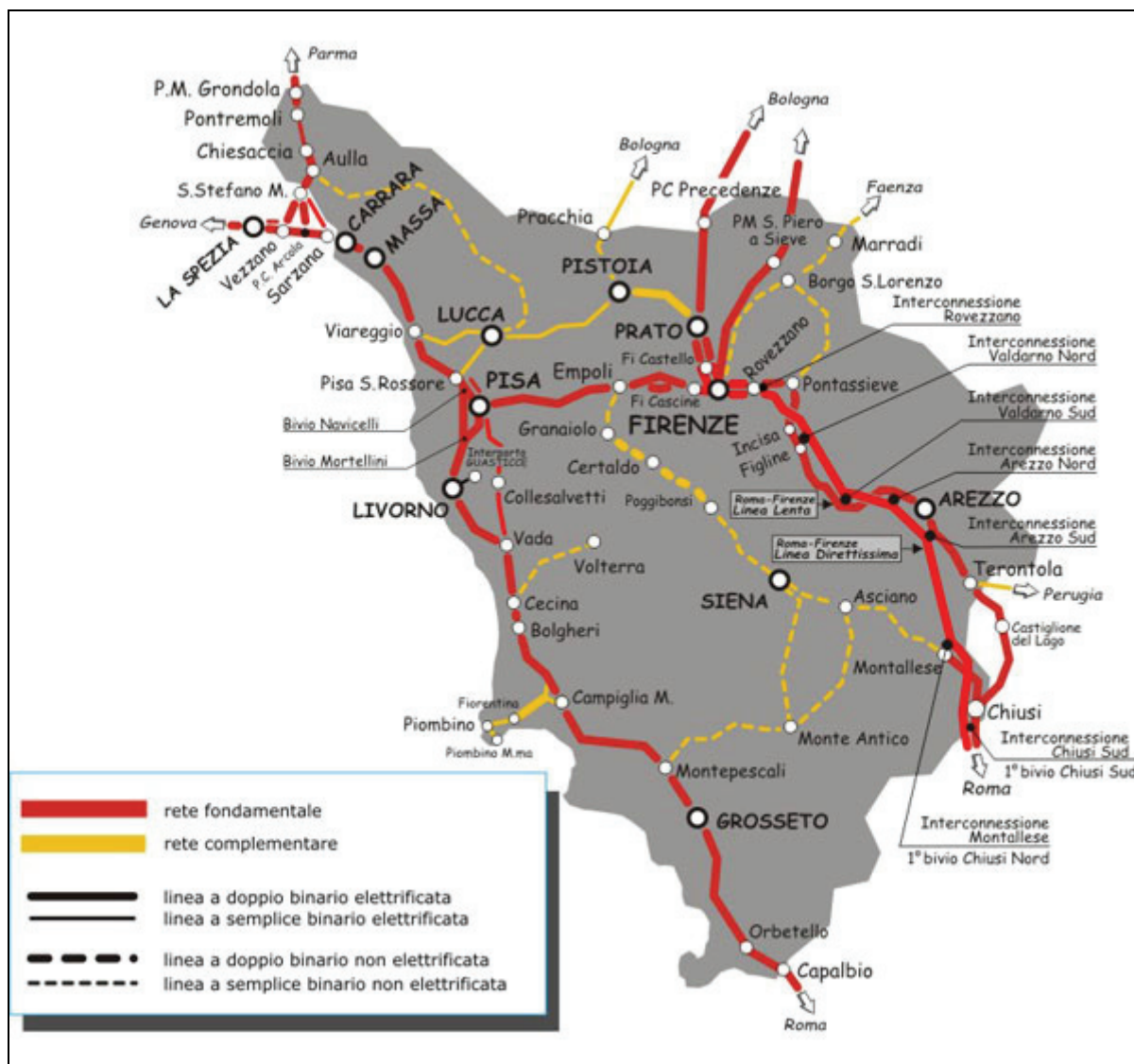


Figura 8 – Integrazione della città di Pisa nel sistema ferroviario nazionale/regionale

Secondo i dati forniti dal Gruppo FS Spa (vedi Figura 9²), la stazione di Pisa Centrale è la seconda in Toscana per movimentazione annua di passeggeri (dopo Firenze Santa Maria Novella) ed è tra le stazioni di medio rango (vedi gruppo "Centostazioni") più rilevanti d'Italia.

A titolo indicativo, secondo le rilevazioni condotte in seno allo studio di domanda per la navetta Pisamover³ (collegamento diretto tra stazione di Pisa Centrale e aeroporto, trattato di seguito in uno specifico paragrafo), ogni giorno partono dalla stazione di Pisa tra le 06:00 e le 11:00 circa 3080 passeggeri (con una proiezione annua, per la sola fascia oraria in questione, di circa 1.58 milioni di passeggeri).

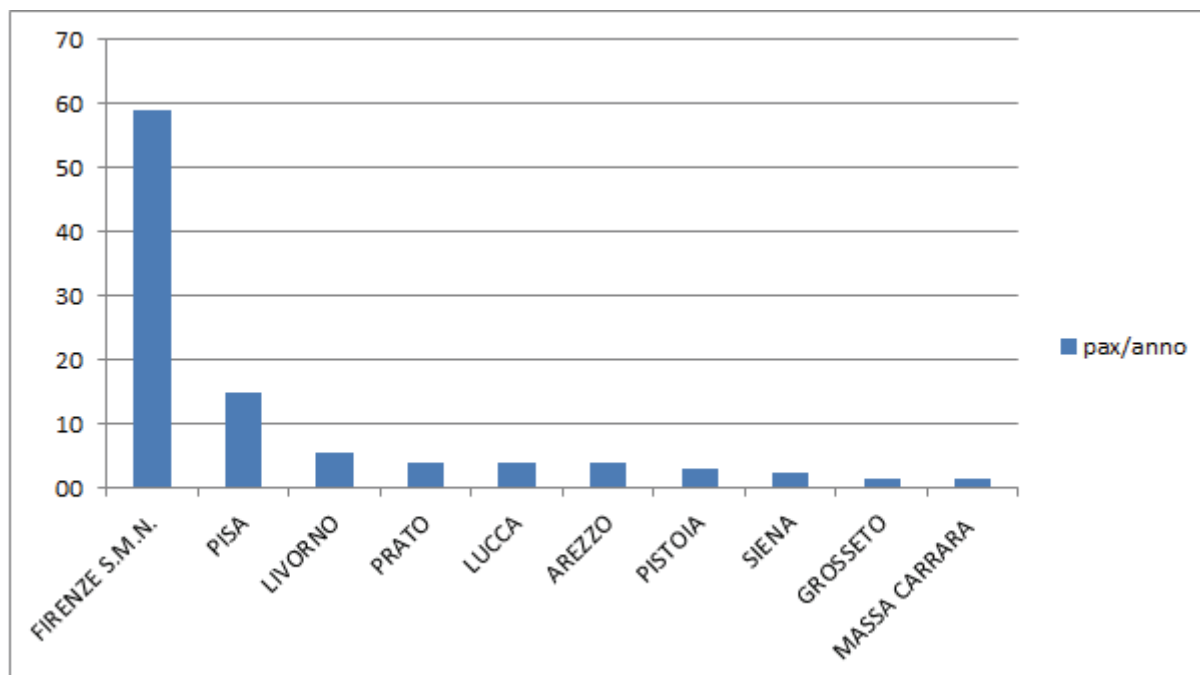


Figura 9 – Movimentazione annua passeggeri delle principali stazioni ferroviaria toscane

È opportuno evidenziare come la stazione ferroviaria, in ragione della sua collocazione baricentrica, si configuri come principale polo di interscambio plurimodale pisano; essa infatti:

- permette un agevole interscambio con la quasi totalità delle linee bus urbane (LAM Rossa; LAM Verde; linee 2, 4, 5, 6, 8, 12, 13, 14, 16), attestate presso di essa o nelle sue immediate vicinanze (via Gramsci);
- è direttamente connessa all'Aeroporto Galilei, attraverso la navetta Pisamover (attestata sul fronte sud della stazione medesima);

² Fonte: dati Grandistazioni Rail (Gruppo FS), RFI ("Centostazioni")

³ LeightFisher, "Pisa People Mover - Demand and Revenue Study", Dicembre 2015

- dista circa 400 m dall'hub del trasporto pubblico extraurbano pisano su gomma recentemente ultimato presso la "Sesta Porta" in via Battisti;
- si trova a circa 200 m di distanza dal parcheggio interrato di Piazza Vittorio Emanuele II (~380 posti auto).

3.E. L'AEROPORTO GALILEO GALILEI

L'Aeroporto Galileo Galilei, con circa 5.5 milioni di passeggeri/anno è all'undicesimo posto tra gli aeroporti italiani e ampiamente al primo posto in regione Toscana (vedi Figura 10, riquadro A); lo stesso aeroporto Galilei è al decimo posto in Italia (e nettamente al primo in Toscana) nel settore cargo, con una movimentazione merci annua superiore a 11 600 tons (vedi Figura 10, riquadro B).

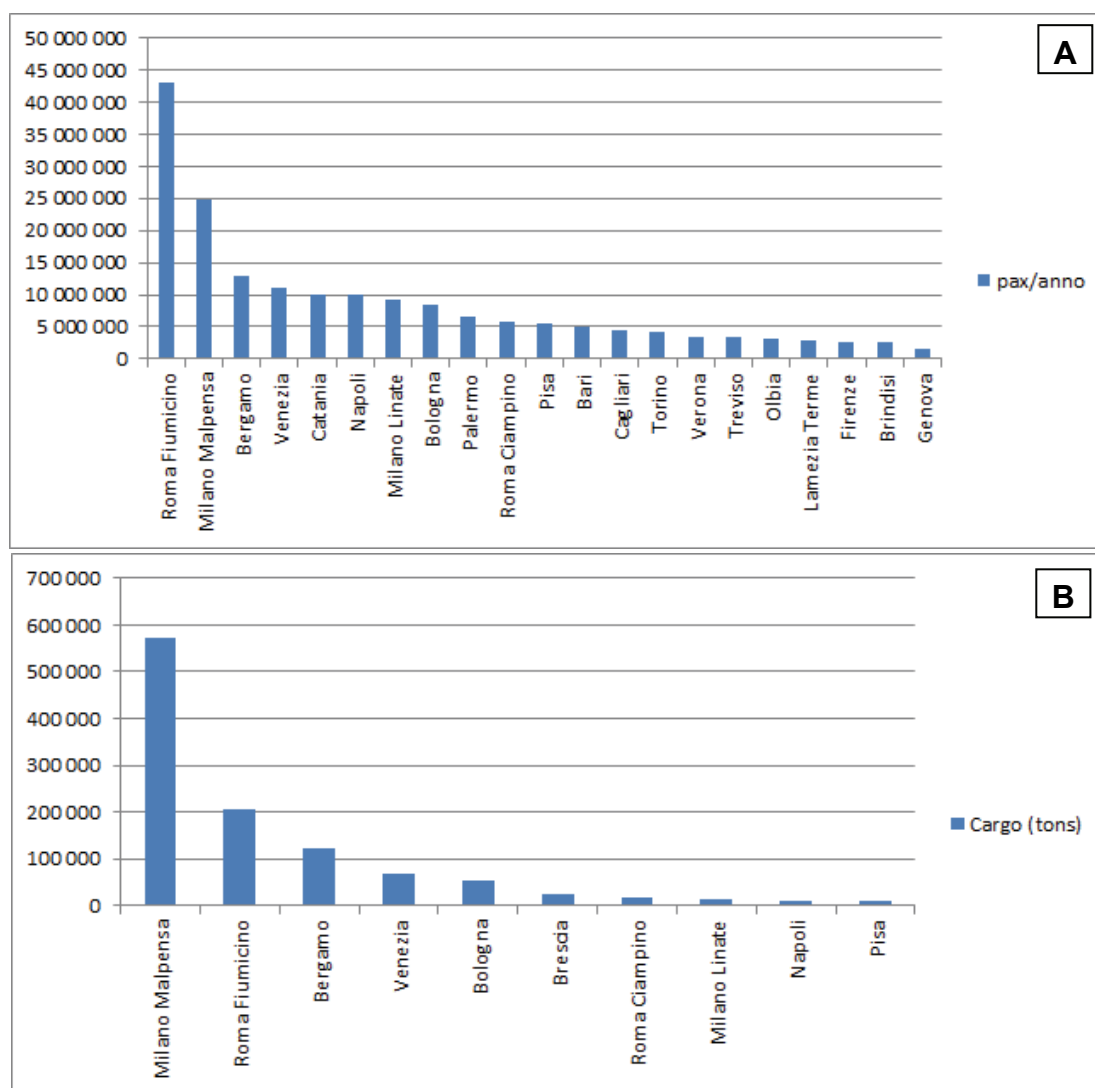


Figura 10 – Raffronto statistico tra i principali aeroporti italiani

In termini di utenza, il Galilei si trova in un trend di pressoché costante crescita, che lo ha portato nell'ultimo decennio dai circa 4 milioni di passeggeri del 2009 agli attuali 5.5 milioni di passeggeri movimentati all'anno (vedi Figura 11, recante statistiche tratte da Assaeroporti).

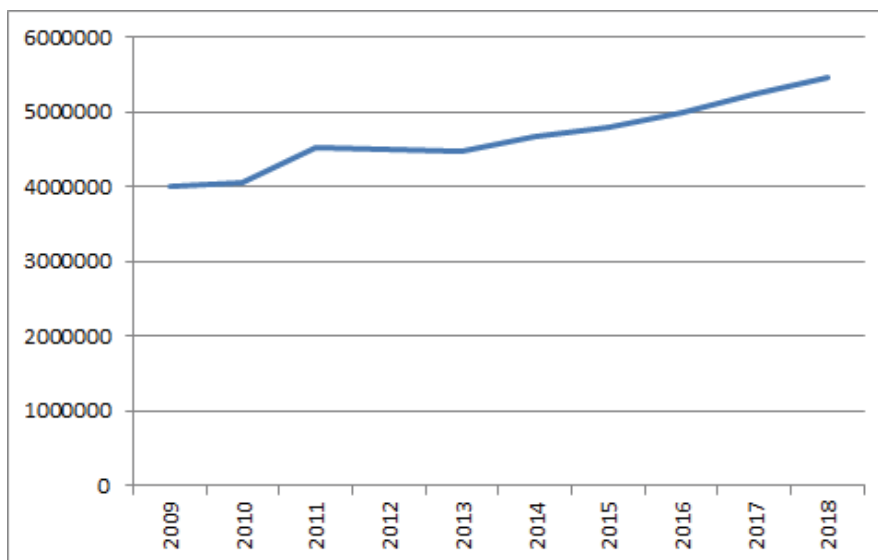


Figura 11 – Aeroporto Galilei: trend della movimentazione passeggeri

In base a recenti studi specialistici condotti sull'infrastruttura aeroportuale pisana (cfr. LeightFisher, "*Pisa People Mover - Demand and Revenue Study*", Dicembre 2015), si prevede nel medio-lungo termine il raggiungimento di una utenza di soglia a regime dell'ordine dei 7 milioni di passeggeri (vedi Figura 12).

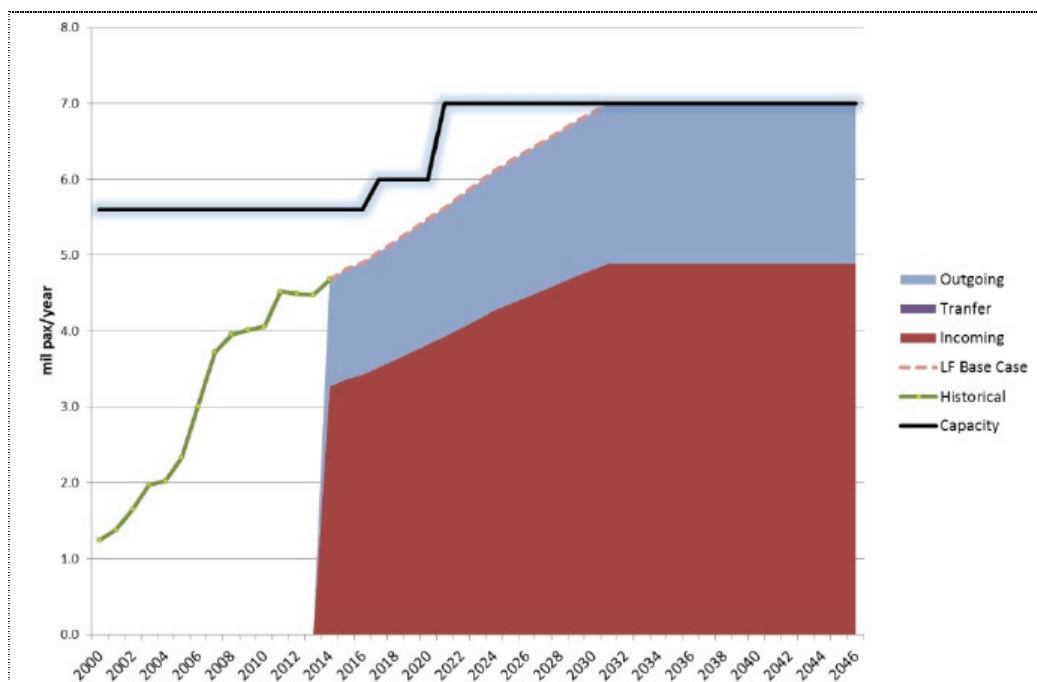


Figura 12 – Aeroporto Galilei: proiezione futura della movimentazione passeggeri

3.F. LA CONNESSIONE DIRETTA STAZIONE-AEROPORTO (PISAMOVER)

La crescita dell'Aeroporto Galilei descritta al paragrafo precedente si è accompagnata ad un programma di progressiva implementazione delle infrastrutture al servizio e al contorno di quest'ultimo.

Tra le realizzazioni recenti (2017) più significative vi è quella del *Pisamover*, navetta automatica a trazione a fune (tecnologia Leitner) per il collegamento tra stazione di Pisa Centrale e aeroporto Galilei; il tracciato, lungo circa 1.8 km e percorso dalle navette in ~5', presenta una ulteriore fermata intermedia in corrispondenza della zona dei parcheggi di interscambio Aurelia-Goletta (~1300 posti auto complessivi).

Il Pisamover, ancora in fase di ramp-up, ha attualmente un'utenza di ~1.25 milioni di passeggeri/anno⁴ (vedi Figura 13).

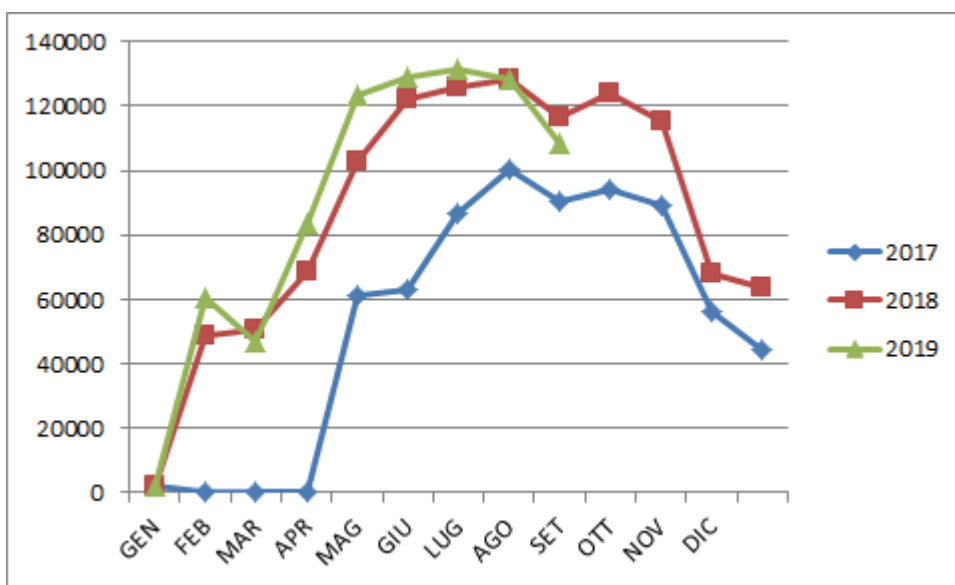


Figura 13 – Pisamover: andamento effettivo dell'utenza in fase di ramp-up

Gli studi trasportistici tematici condotti in sede di progettazione del Pisamover⁵ stimano a regime (scenario di medio termine) il raggiungimento di una utenza di soglia dell'ordine di ~2.5 milioni di passeggeri/anno (vedi Figura 14).

⁴ Fonte: PISAMO Srl

⁵ Fonte: LeightFisher, "Pisa People Mover - Demand and Revenue Study", Dicembre 2015

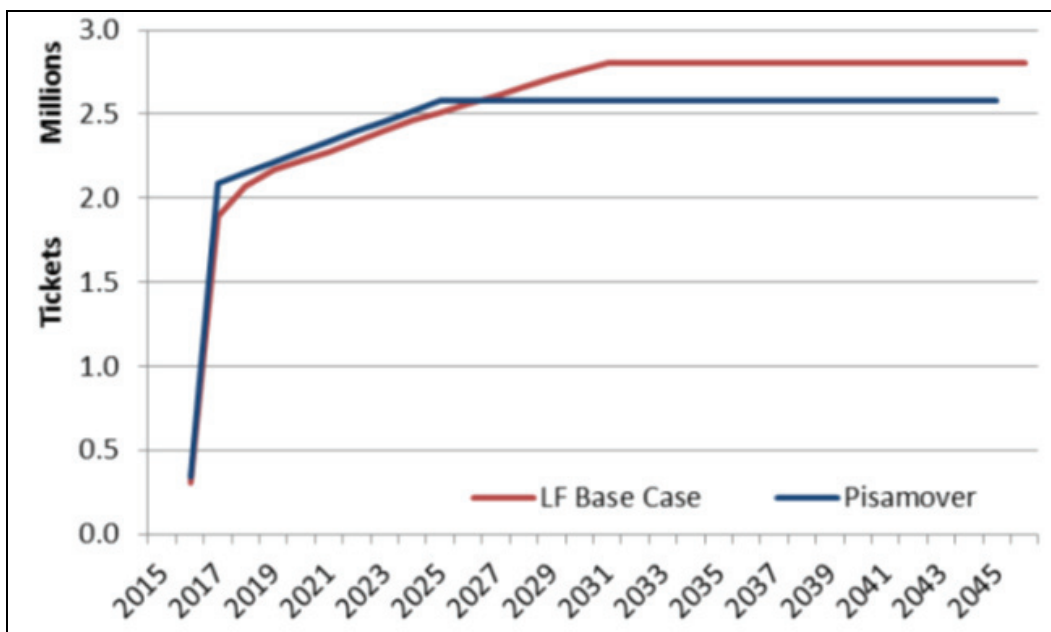


Figura 14 – Pisamover: proiezione dell'utenza a regime

3.G. PARCHEGGI DI INTERSCAMBIO

Pisa è dotata di alcuni importanti parcheggi di interscambio al cordone dell'agglomerato; in particolare si segnalano (vedi Figura 15):

- P1. parcheggio Paparelli/Brennero, che offre ~750 posti auto in via Paparelli (in corrispondenza della zona di penetrazione urbana della SS12 Abetone-Brennero); il parcheggio è servito dalle linee bus LAM Verde e Navetta E;
- P2. parcheggio Pratale, che offre ~160 posti auto in via Pratale (a circa 500 m dal parcheggio Paparelli, attrezzato anche per camper/caravan); il parcheggio è servito dalle linee bus LAM Verde e Navetta E;
- P3. parcheggio Pietrasantina, che offre ~750 posti auto e ~90 posti bus/pullman in via Pietrasantina (a pochi minuti a piedi da Piazza dei Miracoli e in corrispondenza della zona di penetrazione urbana della SP9 San Jacopo e di via Pietrasantina); il parcheggio è servito dalla linea bus LAM Rossa;
- P4. parcheggi Aurelia-Goletta (zona aeroporto), che offrono ~1 300 posti auto e una possibilità di interscambio diretto con la navetta Pisamover.

Tra gli altri parcheggi primari presenti in città (pur con funzioni non prettamente o non solamente di interscambio), si segnalano anche:

P5. sistema di parcheggi in zona Ospedale Cisanello (via Lutero, “sigaro” via Trivella, Ponte delle Bocchette) per complessivi ~2 600 posti auto prioritariamente (ma non esclusivamente) destinati alle funzioni ospedaliere; va segnalato come i progetti in corso di attuazione per il potenziamento dell’ospedale contemplino la realizzazione di ulteriori ~1600 posti auto in corrispondenza del “sigaro” di via Trivella; il sistema dei parcheggi in zona Cisanello è servito dalle linee bus LAM Rossa, 13 e 14;

P6. parcheggio interrato di Piazza Vittorio Emanuele II, che offre ~380 posti auto diretta prossimità della stazione ferroviaria di Pisa Centrale.



Figura 15 – Localizzazione dei principali parcheggi di interscambio

4. LA DOMANDA DI TRASPORTO ATTUALE

4.A. PREMESSA

Nel presente capitolo è analizzata la domanda di trasporto attuale nel Comune di Pisa, con riferimento sia alla componente privata (moto, auto, veicoli pesanti) sia alla componente del trasporto collettivo. L'analisi di seguito esposta parte dalla definizione dell'ambito di analisi e della zonizzazione di traffico adottata, per poi trattare le singoli componenti di domanda (privata, trasporto collettivo).

4.B. LA ZONIZZAZIONE DI TRAFFICO

Ai fini della definizione e schematizzazione della domanda di traffico è stata adottata una zonizzazione del comune di Pisa e delle agglomerazioni/polarità adiacenti direttamente mutuata dal vigente PGTU e dai connessi studi tematici⁶.

Nel complesso si hanno 67 zone di traffico (ciascuna delle quali è stata schematizzata da uno specifico centroide, vedi Figura 16), di cui 50 zone interne e 17 zone esterne come riassunto nella tabella sottostante.

CENTROIDI INTERNI	• centroidi da 1 a 24 • centroidi da 26 a 29 • centroidi da 34 a 38 • centroidi da 40 a 43 • centroidi da 45 a 52	• centroide 56 • centroide 77 • centroidi da 109 a 111 • centroide 118
CENTROIDI ESTERNI	• centroide 59 (via Livornese) • centroide 65 (via Condotti) • centroide 101 (viale Cascine) • centroide 102 (SS1 Aurelia nord) • centroide 103 (via Pietrasantina) • centroide 104 (via Gello) • centroide 105 (SP67 Tosco-Rom.) • centroide 106 (SS1 Aurelia sud)	• centroide 107 (SP224 Marina PI) • centroide 112 (SP9/San Jacopo) • centroide 113 (SS12 Brennero) • centroide 114 (FI-PI-LI ovest) • centroide 115 (FI-PI-LI est) • centroide 115 (FI-PI-LI est) • centroide 116 (SR206) • centroide 117 (SP2 Calcesana)

Si osserva come, ai fini di una omogeneità di analisi, è stata adottata la medesima zonizzazione (di cui sopra) sia per la componente di domanda privata sia per la domanda relativa al TPL.

⁶ Dati resi disponibili da PISAMO Srl attraverso la società Polinomia Srl (Milano). Detta zonizzazione è stata adattata e aggiornata per il presente studio, apportando alcuni correttivi, anche ai fini di una migliore rappresentazione dello stato attuale (anno 2019) rispetto all'assetto urbano coevo al PGTU (2002); in particolare il comparto ospedaliero (in ragione della sua espansione avvenuta negli ultimi 15 anni) è stato rappresentato attraverso 2 distinti centroidi (110: area ospedaliera nord; 111 area ospedaliera sud).

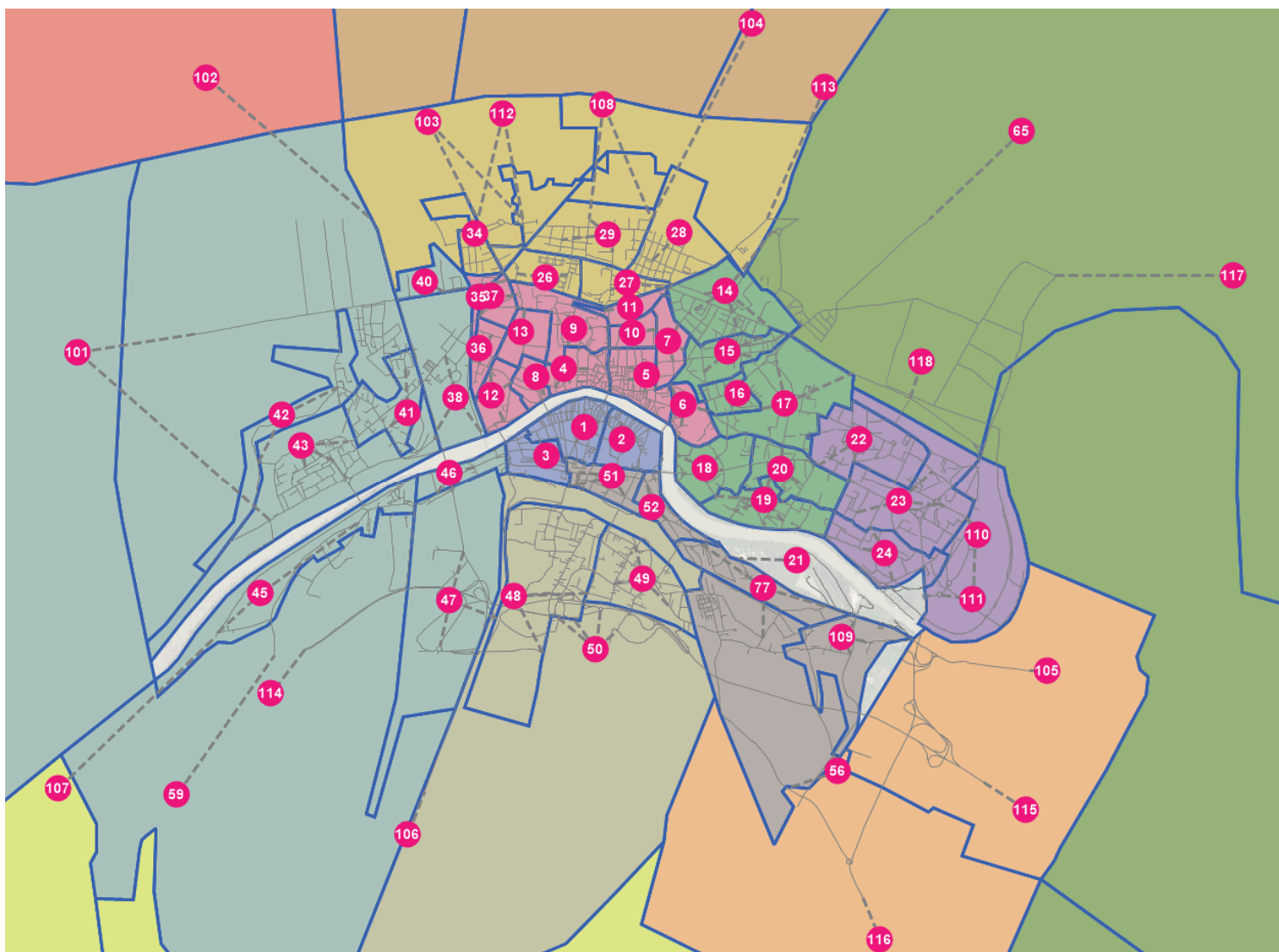


Figura 16 – Area di studio e relativa zonizzazione del traffico

4.C. LA DOMANDA ATTUALE DI TRASPORTO PRIVATA

Occorre in premessa al presente paragrafo evidenziare come il Comune di Pisa abbia recentemente avviato le procedure per la stesura del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS), nell'ambito del quale verranno affrontate (su scala urbana e suburbana) le tematiche connesse alla domanda di trasporto e alla sua diversione modale, unitamente alle strategie generali di governance della mobilità stessa anche nell'ottica della sostenibilità ambientale. Allo stato attuale, il Comune di Pisa è comunque dotato di un proprio PGTU (2002), da cui è stata tratta e adottata, ai fini di un suo aggiornamento funzionale e finalizzato al progetto della tranvia, sia la zonizzazione di traffico (vedi paragrafo precedente) sia la matrice base origine/destinazione (*matrice O/D*) degli spostamenti nell'ora di punta (AM 08:00-09:00) con riferimento tanto alla componente privata (trattata di seguito) quanto alla componente inerente il TPL (trattata nel paragrafo successivo).

La matrice O/D del PGTU relativa alla mobilità privata è stata in questa sede sottoposta ad un procedimento di aggiornamento, calibrazione e validazione, anche sulla base di una apposita campagna di indagini e rilevazioni di traffico condotte nel corso nell'ottobre 2019 (periodo di rilievo/indagine 7-10 ottobre 2019). In particolare, ai fini della definizione aggiornata della matrice O/D sono stati utilizzati i seguenti dati di traffico:

- rilevazione delle manovre di svolta (ora di punta AM 08:00-09:00, periodo 7-10 ottobre 2019) in corrispondenza delle seguenti intersezioni al cordone:
 - N1. intersezione via Cisanello Ghezzano/via Manghi/via Giovannini;
 - N2. intersezione via San Pio da Pietralcina/via Trivella;
 - N3. intersezione via Gronchi/via Emilia;
 - N4. intersezione SS1 Aurelia/viale delle Cascine;
 - N5. intersezione SS1 Aurelia/via Fossa Ducaria;
 - N6. intersezione SS1 Aurelia/via Chiassatello/via Livornese;
 - N7. intersezione SS12/via Lucchese;
 - N8. intersezione via dell'Aeroporto/via Pardi/via F.lli Antoni;
- ulteriori rilevazioni 2019 (ora di punta AM 08:00-09:00, maggio 2019) condotte ai fini del progetto di linea TPL veloce Stazione-Cisanello in corrispondenza di via Bargagna, via Manghi, via Lutero, via Cisanello (sezioni tra via Nenni e via Manghi), via Nenni, via Maccatella, via Padule e Ponte della Vittoria (nodi in destra e sinistra d'Arno);
- dati di traffico messi a disposizione per il presente studio da Pisamo srl, relativamente a:
 - contatrafico automatici (sistema "flow-sensor" del Comune di Pisa), con particolare riferimento a: via

Emilia, via Gandhi, via D'Annunzio);

- flussi in ingresso alla ZTL in corrispondenza dei varchi regolamentati (via Roma, via Turati, via Mazzini, via Toselli, via S. Paolo, via Silvestri, Piazza Toniolo, via S. Antonio, via S. Lorenzo, via Santa Bibbiana, via Di Simone, via San Ranierino, vicolo da Scorno, via Santa Maria, via delle Belle Donne, via Galli Tassi, via Curtatone);
- flussi di traffico derivanti dallo “Studio di riorganizzazione della geometria di circolazione sul Ponte della Vittoria e micro-simulazione degli effetti” (Pisamo srl, Dicembre 2016).

Come anticipato, la matrice O/D base del PGTU è stata sottoposta ad apposita procedura di calibrazione e validazione mediante il modello di assegnazione del traffico privato descritto in ALLEGATO A al presente studio (vedi paragrafo A.1); nel complesso, sono state selezionate 43 sezioni di controllo/verifica del traffico (vedi Figura 17), utilizzate per calibrare il modello di assegnazione della mobilità privata e verificarne la rispondenza con i dati effettivi rilevati sul campo.

Nella tabella in Figura 17 sono riportati sia i flussi rilevati sia quelli stimati dal modello sulle 43 sezioni di controllo; tra di esse sono state evidenziate (campitura azzurra) quelle localizzate lungo il tracciato previsto della tranvia. La verifica della corretta calibrazione della matrice attuale di traffico e, conseguentemente, del livello di rispondenza del modello di traffico privato alle rilevazioni condotte sul campo, è stata condotta attraverso l'analisi incrociata di tre parametri statistici (illustrati nel dettaglio nell'ALLEGATO A al presente studio, vedi in particolare paragrafo A.1):

1. %RMSE;
2. scatter plot e indice di correlazione R^2 ;
3. GEH.

Relativamente al primo parametro, si ha un %RMSE ~9.7 con riferimento sia alle 43 sezioni nel loro complesso sia a quelle localizzate lungo il tracciato previsto per la tranvia.

Dalla verifica condotta in termini di scatter plot (vedi grafico in Figura 18) si è ottenuto un indice di correlazione (R^2) ~0.98.

Per quanto concerne il terzo parametro di verifica (GEH), si è ottenuto quanto segue:

- GEH~4.1 con riferimento alle rilevazioni nel loro complesso;
- GEH<5 per l'87.7% delle singole sezioni di controllo. rispondenza del modello.

Tutte e tre i parametri di verifica adottati indicano un'adeguata calibrazione della matrice O/D attuale e del modello di traffico privato adottato.

SEZIONE DI CONTROLLO			CONTEGGI		MODELLO		GEH	
			AB	BA	AB	BA	AB	BA
1	SS1 AURELIA	intersezione con via Livornese - ramo N	1190	1320	1172	1184	0.5	3.8
2	SS1 AURELIA	intersezione con via Livornese - ramo S	1160	1260	1257	1185	2.8	2.1
5	SS1 AURELIA	intersezione con viale Cascine - ramo N	960	550	962	549	0.1	0.1
6	SS1 AURELIA	intersezione con viale Cascine - ramo S	900	680	864	687	1.2	0.3
7	VIA CISANELLO GHEZZANO	intersezione con via Giovannini	1010	600	945	628	2.1	1.1
8	V. SAN PIO DA PIETRALCINA	intersezione con via Trivella - ramo N	2330	2330	2300	2390	0.6	1.2
9	VIA SAN PIO DA PIETRALCINA	intersezione con via Trivella - ramo S	2390	3260	2354	3326	0.7	1.2
10	VIA GRONCHI	intersezione con via Emilia- ramo N	1188	894	1194	851	0.2	1.5
11	VIA FIORENTINA	flow sensor tra via Emilia e via Gronchi	410	790	590	805	8.0	0.5
12	V. GIOVANNINI	intersezione con via Manghi	780	590	775	616	0.2	1.1
13	LUNGARNO FIBONACCI	innesto su Ponte della Vittoria - senso unico direz. N	-	780	-	702	-	2.9
14	LUNGARNO BUOZZI	innesto su Ponte della Vittoria	550	-	506	-	1.9	-
15	PIAZZA CADUTI DI CEFALONIA	innesto su Ponte della Vittoria - senso unico direz. S	250	-	199	-	3.4	-
16	VIALE DELLE CASCINE	intersezione con SS1 - ramo W	390	290	300	283	4.8	0.4
17	VIALE DELLE CASCINE	intersezione con SS1 - ramo E	350	430	291	510	3.3	3.7
18	VIA LUCCHESI	intersezione con SS12 - ramo N	870	1020	816	914	1.9	3.4
19	SS12 ABETONE BRENNERO	intersezione con via Lucchese - ramo W	1070	1080	889	1020	5.8	1.8
20	SS12 ABETONE BRENNERO	intersezione con via Lucchese - ramo E	1280	1440	1133	1363	4.2	2.1
21	VIA LIVORNESE	intersezione con SS1 - senso unico direz. W	250	-	144	-	7.6	-
22	VIA GANDHI	flow sensor tra a nord intersezione via Paparelli	430	200	441	147	0.5	4.0
23	VIA MACCATELLA	intersezione con via Cisanello	290	190	267	163	1.3	2.0
24	VIA TRIVELLA	intersezione con via San Pio da Pietralcina	130	1010	129	1012	0.1	0.0
25	SR206	intersezione con via Gronchi	1425	714	1429	719	0.1	0.2
26	LUNGARNO D'ANNUNZIO	flow sensor a ovest Ponte CEP	360	-	360	-	0.0	-
28	VIA PARDI	intersezione con via dell'Aeroporto	520	780	589	801	2.9	0.7
29	VIA FRATELLI ANTONI	intersezione con via dell'Aeroporto	-	520	-	353	-	8.0
30	VIA DELL'AEROPORTO	intersezione con via Pardi - ramo S	300	300	303	260	0.2	2.4
31	VIA EMILIA	intersezione con via Gronchi - ramo W	831	414	756	390	2.7	1.2
32	VIA CHIASSATELLO	intersezione con SS1 - senso unico direz. E	220	-	242	-	1.4	-
33	VIA DELL'AEROPORTO	intersezione con via Pardi - ramo N	640	900	585	770	2.2	4.5
34	VIA NENNI	intersezione con via Matteucci	350	580	572	600	10.3	0.8
39	VIA CISANELLO	intersezione con via di Padule - ramo E	1190	1370	1430	1435	6.6	1.7
35	PONTE DELLA VITTORIA	-	700	1150	663	1156	1.4	0.2
36	VIA MATTEUCCI	intersezione con via Nenni - ramo W	840	1140	871	1116	1.1	0.7
37	VIA MATTEUCCI	intersezione con via Nenni - ramo E	900	970	906	1057	0.2	2.7
38	VIA CISANELLO	intersezione con via di Padule - ramo W	1090	1250	906	1057	5.8	5.7
40	VIA BARGAGNA	intersezione con via Manghi	360	450	322	375	2.1	3.7
41	VIA MANGHI	intersezione con via Giovannini	1450	1230	1420	1262	0.8	0.9
42	VIA MANGHI	intersezione con via Bargagna- ramo S	1390	1100	1209	1088	5.0	0.4
43	VIA LUTERO	intersezione con via Manghi	490	370	556	331	2.9	2.1

Figura 17 – Raffronto tra flussi rilevati e flussi stimati dal modello (ora di punta AM 08:00-09:00)

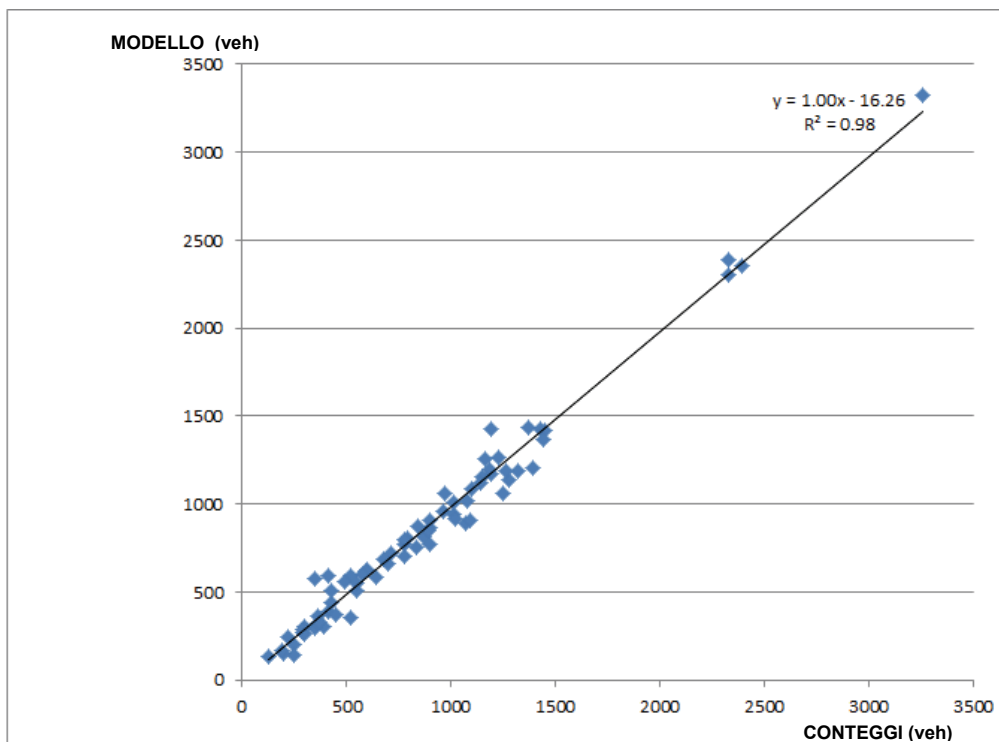


Figura 18 – Scatter plot conteggi/modello (componente veicolare privata)

4.D. LA DOMANDA ATTUALE RELATIVA AL SISTEMA TPL

Come già accennato nel paragrafo precedente, in assenza del PUMS (attualmente in fase di propedeutica alla sua elaborazione), anche per la componente TPL si è fatto riferimento sia alla zonizzazione di traffico (vedi paragrafo precedente) sia alla matrice base origine/destinazione (*matrice O/D*) degli spostamenti nell'ora di punta (AM 08:00-09:00) desumibili dal vigente PGTU (2002) e dagli studi tematici ad esso connessi.

Anche la matrice O/D del PGTU relativa alla componente TPL è stata dunque in questa sede sottoposta ad un procedimento di aggiornamento, calibrazione e validazione, anche sulla base di una apposita campagna di indagini e rilevazioni di traffico condotte nel corso nell'ottobre 2019 (periodo di rilievo/indagine 7-10 ottobre 2019). In particolare, ai fini della definizione aggiornata della matrice O/D sono stati utilizzati i seguenti dati:

- rilevazione dei saliti/discesi nell'ora di punta AM su tutte le linee e da tutte le fermate del TPL urbano su gomma (ora di punta AM 08:00-09:00, periodo 7-10 ottobre 2019);
- dati di utenza 2017-2019 del Pisamover (messi a disposizione da Pisamo Srl) e rilevazione effettuata in sito dei saliti/discesi dalla navetta in questione (fascia oraria di punta AM 08.00-09:00, 9 ottobre 2019);
- dati e analisi d'archivio relativi al sistema del TPL pisano (messi a disposizione da Pisamo Srl) ed, in particolare:

- “Piano Particolareggiato del Trasporto Pubblico Urbano”, elaborato dal Comune di Pisa nel Novembre 2002 (cfr. “Sezione 1 – Analisi Conoscitiva”);
- risultanze dell’indagine condotta nel 2009 dal Consorzio Pisano Trasporti (CPT)⁷ in ordine all’utenza delle diverse linee del TPL urbano su gomma, mediante campagna di conteggi dei saliti/discesi (da ogni fermata) su tutte le linee urbane su gomma.

Come anticipato, la matrice O/D base del PGTU è stata sottoposta ad apposita procedura di calibrazione e validazione mediante il modello di assegnazione del traffico su mezzo collettivo descritto in ALLEGATO A al presente studio (vedi paragrafo A.2).

La verifica di rispondenza del modello alle indagini di campo è stata condotta con sia riferimento all’utenza complessiva delle singole linee del TPL (unitamente al Pisamover) in fascia oraria di punta AM (08:00-09:00) sia ai saliti/discesi da macro-zone di fermata opportunamente selezionate per ciascuna linea (parametro quest’ultimo assai impegnativo da riprodurre con modello, in quanto implicante complesse dinamiche comportamentali dell’utenza nelle modalità di effettuazione dell’itinerario O/D prefissato e, conseguentemente, degli eventuali necessari cambi di linea); tanto per la verifica in termini di utenza complessiva di ciascuna linea quanto per la verifica relativa alle macro-zone di fermate, sono state incrociate le risultanze dell’analisi di due parametri statistici (illustrati nel dettaglio nell’ALLEGATO A al presente studio):

1. GEH;
2. scatter plot e indice di correlazione R^2 .

La verifica relativa all’utenza complessiva delle linee (vedi Figura 19), ha fornito le seguenti risultanze:

- GEH~0.7 con riferimento alle rilevazioni nel loro complesso (con GEH<5 per la totalità delle linee considerate);
- indice di correlazione (R^2) ~0.98 derivante dallo scatter plot (vedi grafico in Figura 20).

⁷ Periodo di rilevazione: marzo/maggio 2009

UTENZA 08:00-09:00			
LINEA	RILIEVO	MODELLO	GEH
L2 (S-N)	90	66	2.7
L2 (N-S)	74	69	0.6
L5 (S-N)	172	174	0.1
L5 (N-S)	184	189	0.3
L13 (W-E)	209	189	1.4
L13 (E-W)	109	101	0.8
L6 (N-S)	25	12	3.1
L6 (S-N)	33	47	2.2
L16 (N-S)	20	12	1.9
L16 (S-N)	6	18	3.6
E (N-S)	172	184	0.9
E (S-N)	24	18	1.4
L14 (E-W)	209	236	1.8
L14 (W-E)	187	181	0.4
L4 (N-S)	70	62	1.0
L4 (S-N)	164	124	3.3
L8 (N-S)	2	0	2.0
L8 (S-N)	9	0	4.2
LAM VERDE (S-N)	289	329	2.3
LAM VERDE (N-S)	100	99	0.1
LAM ROSSA (S-N)	513	493	0.9
LAM ROSSA (N-S)	379	399	1.0
PISAMOVER (N-S)	150	150	0.0
PISAMOVER (S-N)	150	150	0.0
	3340	3301	0.7

Figura 19 – Raffronto utenza rilevata/utenza da modello (linee TPL)

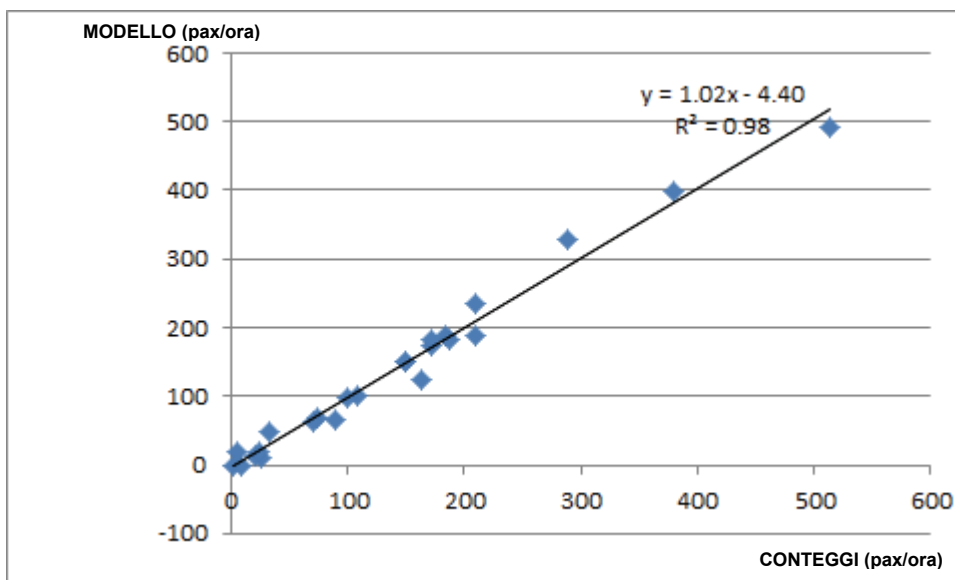


Figura 20 – Scatter plot utenza rilevata/utenza da modello (linee TPL)

La verifica relativa ai saliti/discesi delle diverse linee in corrispondenza delle macro-zone di fermata considerate (vedi Figura 22), ha fornito le seguenti risultanze:

- GEH~1.3 con riferimento alle rilevazioni nel loro complesso dei passeggeri saliti e GEH~0.5 con riferimento alle rilevazioni nel loro complesso dei passeggeri discesi (con GEH<5 per l'86.4% delle macro-zone di fermata considerate);
- indice di correlazione (R^2) prossimo a ~0.9 derivante dallo scatter plot (vedi grafico in Figura 21) dei passeggeri (saliti e discesi).

In riferimento sia all'utenza delle diverse linee sia ai saliti/discesi presso le macro-zone di fermata, entrambi i parametri di verifica adottati indicano un'adeguata calibrazione della matrice O/D attuale e del modello di traffico collettivo adottato.

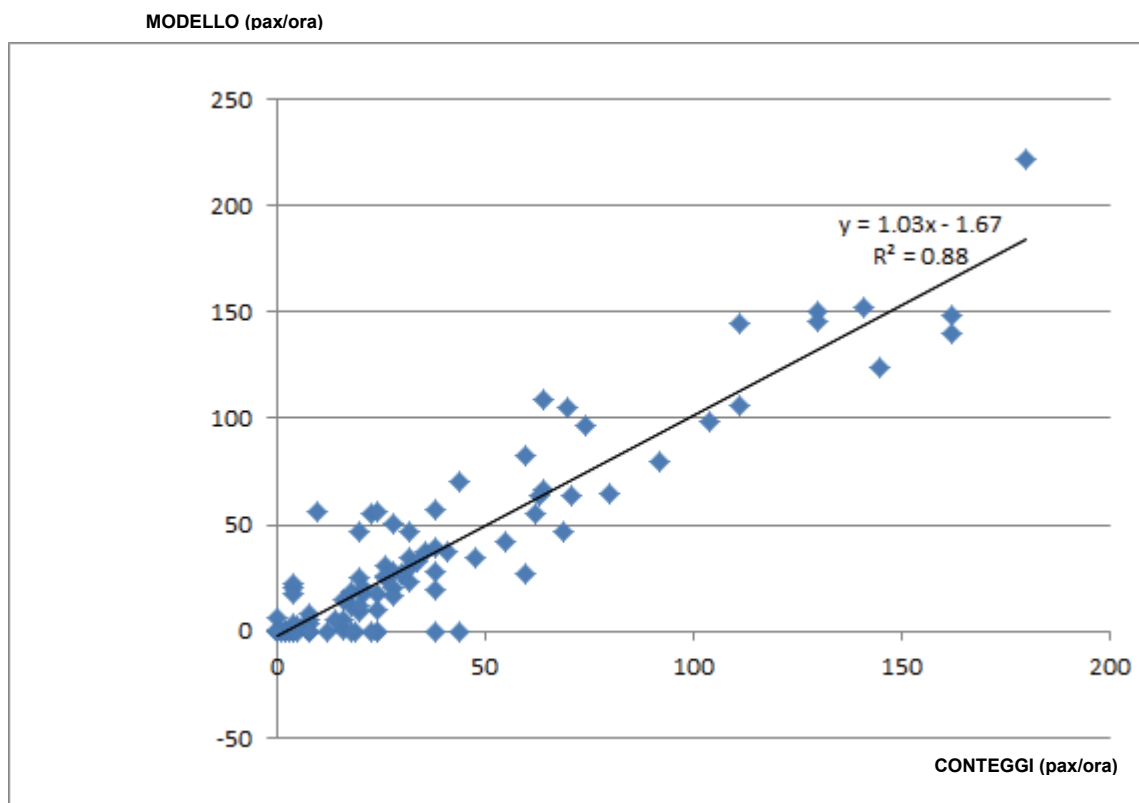


Figura 21 – Scatter plot utenza rilevata/utenza da modello (saliti e discesi macro-zone fermata)



LINEA	MACROFERMATA	CODICE FERME (da modello)	UTENZA 08:00-09:00					
			RILIEVO		MODELLO		GEH	
			ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF
L2 (S-N)	ZONA STAZIONE	1231, 1230, 1229, 1228	64	0	66	0	0.3	-
L2 (S-N)	LUNGARNO N	1227, 1226, 1225, 1224	4	24	0	0	2.8	6.9
L2 (S-N)	ZONA PRATALE	1235, 1236, 1237	4	8	0	8	2.8	0.1
L2 (N-S)	ZONA BATELLI	1257, 1256, 1255	24	4	0	0	6.9	2.8
L2 (N-S)	LUNGARNO S	1249, 1248, 1247	0	8	0	6	-	0.9
L2 (N-S)	ZONA STAZIONE	1244, 1243, 1241	0	36	0	37	-	0.2
L5 (S-N)	ZONA PUTIGNANO	917, 918, 916, 915	60	0	82	0	2.7	-
L5 (S-N)	ZONA AEROPORTO	910, 909, 908	28	4	51	22	3.6	5.0
L5 (S-N)	ZONA STAZIONE	920, 921, 907	16	80	1	65	5.1	1.7
L5 (S-N)	LUNGARNO S	903, 902, 901, 900, 899	24	32	10	34	3.4	0.4
L5 (S-N)	ZONA CEP	929, 930, 931, 932	0	28	0	28	-	0.0
L5 (N-S)	ZONA CEP	943, 944, 945, 946, 947, 948, 949	104	12	99	0	0.5	4.9
L5 (N-S)	LUNGARNO N	938, 937, 936, 935	0	20	7	25	3.7	1.1
L5 (N-S)	ZONA STAZIONE	956, 957, 934, 933	60	24	27	56	4.9	5.1
L5 (N-S)	ZONA AEROPORTO	958, 959, 960	0	20	0	9	0.0	2.8
L5 (N-S)	ZONA PUTIGNANO	970, 971, 972, 973, 974	0	32	1	30	1.2	0.4
L13 (W-E)	ZONA STAZIONE	1414, 1415, 1416	111	2	106	0	0.4	2.0
L13 (W-E)	LUNGARNO N	1418, 1419, 1420, 1421	55	38	42	0	1.9	8.7
L13 (W-E)	ZONA OSPEDALE	1428, 1402	4	44	0	71	2.8	3.5
L13 (E-W)	ZONA OSPEDALE	1446, 1432	26	0	31	0	0.9	-
L13 (E-W)	ZONA STAZIONE	1443, 1444, 1445	4	71	0	63	2.8	0.9
L6 (N-S)	ZONA CEP	1903, 1509, 1517, 1518, 1516, 1515, 1514	18	2	12	0	1.6	2.0
L6 (N-S)	ZONA STAZIONE	1519, 1520	0	19	0	0	-	6.2
L6 (S-N)	ZONA STAZIONE	1766, 1765	2	5	0	0	2.0	3.2
L6 (S-N)	ZONA CEP	1753, 1752, 1751, 1750, 1749, 1748, 1767	4	26	4	25	0.1	0.2
L16 (N-S)	ZONA STAZIONE	1276, 1264, 2020	18	0	18	0	0.1	-
L16 (S-N)	ZONA STAZIONE	1293, 1294, 1295	0	5	0	2	-	1.4
E (N-S)	ZONA PRATALE	1590, 1589, 1595	130	0	150	0	1.7	-
F (N-S)	ZONA UNIVERSITA'	1585, 1584, 1583, 1582	2	111	0	145	2.0	3.0
E (S-N)	LUNGARNO N	1597, 1603	21	1	18	0	0.7	1.4
E (S-N)	ZONA PRATALE	1604, 1598, 1605	2	4	0	18	2.0	4.2
L14 (E-W)	ZONA OSPEDALE	1576, 1569	38	0	57	0	2.7	-
L14 (E-W)	ZONA STAZIONE	1557, 1556, 1555	0	62	0	55	-	0.9
L14 (W-E)	ZONA STAZIONE	1729, 1730, 2022	162	23	149	0	1.1	6.8
L14 (W-E)	ZONA OSPEDALE	1746, 1747	0	34	0	32	-	0.3
L4 (N-S)	ZONA STADIO	1915, 1916, 1917, 1918	30	8	28	4	0.5	1.6
L4 (N-S)	LUNGARNO	1923, 1924, 1925	2	28	0	20	2.0	1.6
L4 (N-S)	ZONA STAZIONE	1929, 1930, 1931	0	26	0	26	-	0.0
L4 (S-N)	ZONA STAZIONE	1954, 1953, 1952	92	0	80	0	1.3	-
L4 (S-N)	LUNGARNO	1950, 1949, 1948, 1947	4	8	20	0	4.6	4.0
L4 (S-N)	ZONA STADIO	1937, 1936, 1935	0	20	0	12	0.5	2.1
L8 (N-S)	ZONA STAZIONE	1296, 1297, 2021	0	0	0	0	-	-
L8 (S-N)	ZONA STAZIONE	1552, 1553, 1554	0	8	0	0	-	4.0
LAM VERDE (S-N)	ZONA AEROPORTO	1629, 1608, 1619	69	0	47	0	2.9	-
LAM VERDE (S-N)	ZONA STAZIONE	1621, 1622, 1623, 1624	141	18	152	0	0.9	6.0
LAM VERDE (S-N)	LUNGARNO N	1626, 1627, 1630, 1607	23	64	56	109	5.2	4.9
LAM VERDE (S-N)	ZONA PRATALE/CNR	1612, 1611, 1610, 1609	44	48	0	35	9.4	2.1
LAM VERDE (N-S)	ZONA PRATALE/CNR	1631, 1650	20	8	47	0	4.7	4.0
LAM VERDE (N-S)	LUNGARNO S	1648, 1647, 1646	0	16	0	15	-	0.3
LAM VERDE (N-S)	ZONA STAZIONE	1654, 1643, 1632	32	28	23	17	1.7	2.3
LAM VERDE (N-S)	ZONA AEROPORTO	1641, 1640, 1639, 1638, 1637, 1636, 1635, 1634, 1633	24	32	17	46	1.5	2.3
LAM ROSSA (S-N)	ZONA OSPEDALE	1986, 1985	70	0	105	0	3.7	-
LAM ROSSA (S-N)	ZONA PONTE VITTORIA	1979, 1978, 1977	2	38	0	39	1.9	0.2
LAM ROSSA (S-N)	ZONA STAZIONE	1973, 1975, 2023	145	74	124	96	1.8	2.4
LAM ROSSA (S-N)	ZONA TORRE	1966, 1965, 1964	10	180	57	222	8.1	2.9
LAM ROSSA (N-S)	ZONA TORRE	1989, 1990, 1991	41	21	37	20	0.6	0.2
LAM ROSSA (N-S)	ZONA LUNGARNO	1996, 1997, 1998	16	38	5	28	3.2	1.8
LAM ROSSA (N-S)	ZONA STAZIONE	2001, 2002, 2003	162	63	140	64	1.8	0.1
LAM ROSSA (N-S)	ZONA PONTE VITTORIA	2006, 2007	14	38	5	19	2.8	3.5
LAM ROSSA (N-S)	ZONA OSPEDALE	2012, 2013	3	130	0	146	2.4	1.3
			1865	1673	1807	1651	1.3	0.5

Figura 22 – Raffronto utenza rilevata/utenza da modello (saliti/discesi macro-zone fermata)

5. LO SCENARIO DI PROGETTO

5.A. PREMESSA

Nel presente capitolo è analizzato lo scenario evolutivo previsto, sia in termini socio-economici generali (trend demografici, indicatori economici e trasportistici locali) sia in relazione agli sviluppi urbanistici in fase di realizzazione e/pianificazione avanzata nell'area di influenza della nuova tranvia.

5.B. EVOLUZIONE DEMOGRAFICA LOCALE

In base ai dati ISTAT, la popolazione residente a Pisa ammontava a fine 2018 a ~88 880 abitanti; analizzando il trend di medio periodo (2001-2018) si osserva come ad una fase di sensibile calo demografico occorsa nella prima decade del nuovo millennio sia seguita una fase di ripresa che ha riportato la popolazione attuale sostanzialmente a livelli di quella del 2001. In termini tendenziali, pur con transitorie disomogeneità degli andamenti annuali, è in corso un trend di lieve crescita.

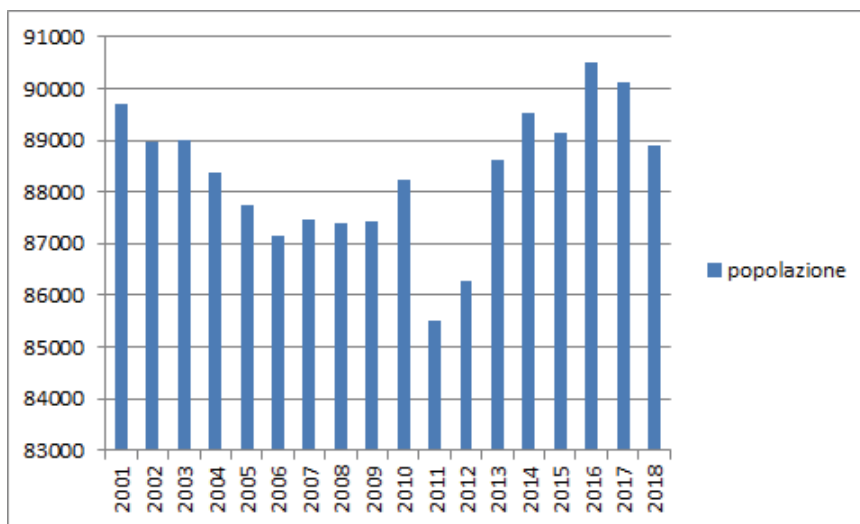


Figura 23 – Pisa: andamento demografico 2001-2018

L'andamento atteso della popolazione residente nel comune di Pisa nel medio-lungo periodo (2003-2032) è stata oggetto nel 2003 di uno specifico studio elaborato dall'amministrazione comunale (cfr. Comune di Pisa, "Proiezioni demografiche 2003-2032"), nel quale si prefiguravano cinque possibili scenari evolutivi (vedi Figura 24):

- *scenario centrale*: evoluzione ritenuta più probabile all'epoca dello studio, in ordine ai dati pregressi effettivi;
- *scenari alto*: ipotesi con "dinamica forte", basata sulla crescita nel tempo dei bassi tassi di fecondità risultanti all'epoca della stesura dello studio;
- *scenario basso*: ipotesi con "dinamica debole", basata sul mantenimento nel tempo dei bassi tassi

di fecondità risultanti all'epoca della stesura dello studio;

- *scenario estremo 1*: scenario in cui si contemplava una proiezione a migrazioni nulle (poco verosimile, ma in grado di mettere in luce e quindi simulare l'effetto del solo movimento naturale della popolazione);
- *scenario estremo 2*: scenario in cui si ipotizzava un aumento sensibile del fenomeno immigratorio, tale da riportare alla fine del periodo di analisi (2032) la popolazione su valori in linea con quelli iniziali (2003).

Scenari	Tassi di variazione del periodo			
	2003/2012	2012/2022	2022/2032	2003/2032
Ipotesi Centrale	-4.34%	-3.74%	-2.60%	-10.32%
Ipotesi Alta	-3.48%	-1.98%	-1.17%	-6.50%
Ipotesi Bassa	-4.98%	-5.16%	-4.03%	-13.52%
Ipotesi Estrema 1	-5.40%	-10.27%	-12.71%	-25.90%
Ipotesi Estrema 2	-3.34%	-0.07%	3.54%	0.001%

Figura 24 – Pisa: proiezioni demografiche 2003-2032

Il tasso effettivo di crescita della popolazione nell'ultimo decennio (dati 2009-2018) è risultato pari a ~3.9%, in linea con quanto prefigurato per il periodo 2022-2032 dallo scenario estremo 2 menzionato in precedenza; ciò è essenzialmente ascrivibile all'effettivo aumento e incidenza dei fenomeni immigratori in atto, i cui effetti si sono esplicitati anticipatamente rispetto agli scenari previsionali del 2003. Appare dunque plausibile ipotizzare nel medio periodo (2019-2029) il mantenimento di tale tasso di crescita, anche in considerazione della trasformazione del fenomeno immigratorio in fattore endemico e non più transitorio; ciò porta alla possibile proiezione demografica riportata graficamente in Figura 25.

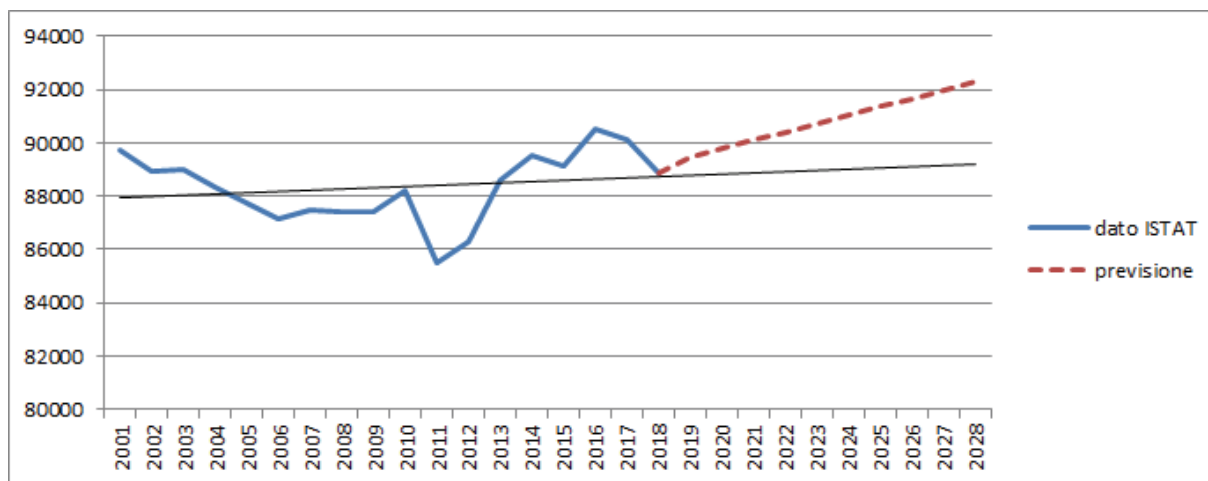


Figura 25 – Pisa: trend demografici di medio periodo

5.C. INDICATORI ECONOMICI E TRASPORTISTICI LOCALI

Dal "Documento di Economia e Finanza Regionale 2020 (DEFR 2020)" della Regione Toscana, quantunque la variazione percentuale del **Prodotto Interno Lordo (PIL) regionale** si conferma su soglie più alte rispetto alla media nazionale, emerge una flessione economica congiunturale anche a livello locale (vedi Figura 26). Si riporta a tale proposito, uno stralcio di quanto enunciato a pagina 6 del documento di programmazione citato:

"I segnali raccolti a livello nazionale e confermati anche in ambito regionale suggeriscono inoltre che proprio nel 2018 si è assistito ad un rallentamento progressivo della dinamica di crescita [...]. Considerando i risultati delle previsioni IRPET il profilo per l'economia toscana (e anche per la media nazionale) sarà quello di una crescita modesta per tutto il triennio 2019-2021 tanto lenta da poter parlare per il nostro sistema di un ritorno ad una fase di stagnazione".

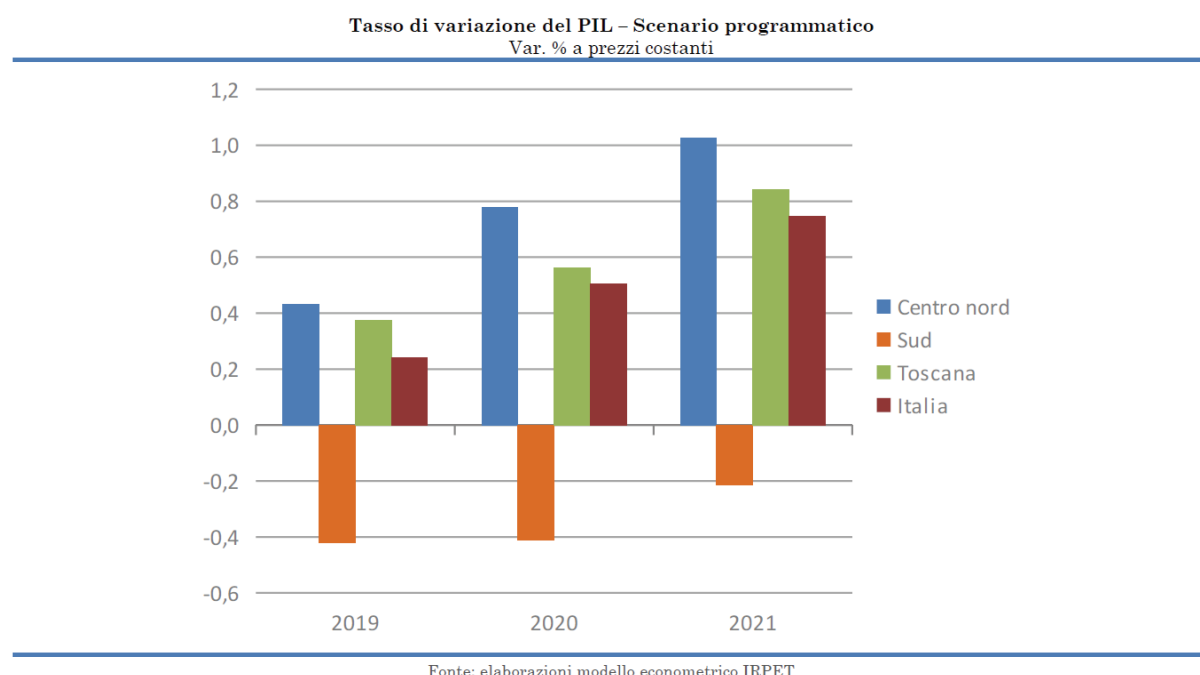


Figura 26 – Tasso previsionale di variazione del PIL regionale (triennio 2019-2021)

Pur nello scenario-quadro appena esposto, va comunque evidenziata la vivacità di due settori portanti dell'economia pisana: il settore turistico e il settore universitario (con il relativo indotto).

Per quanto concerne il **settore turistico**, si è registrato nel periodo 2010-2018 un incremento del 39,6% degli arrivi e del 10,1% delle presenze (corrispondenti rispettivamente ad un +4,4% e un +1,1% su base annua); tale trend (vedi anche Figura 27) se da un lato attesta la ben nota tendenza a un turismo sempre più caratterizzato da una riduzione media dei tempi di permanenza, dall'altro attesta certamente il dinamismo di uno dei settori economici principali della città di Pisa.

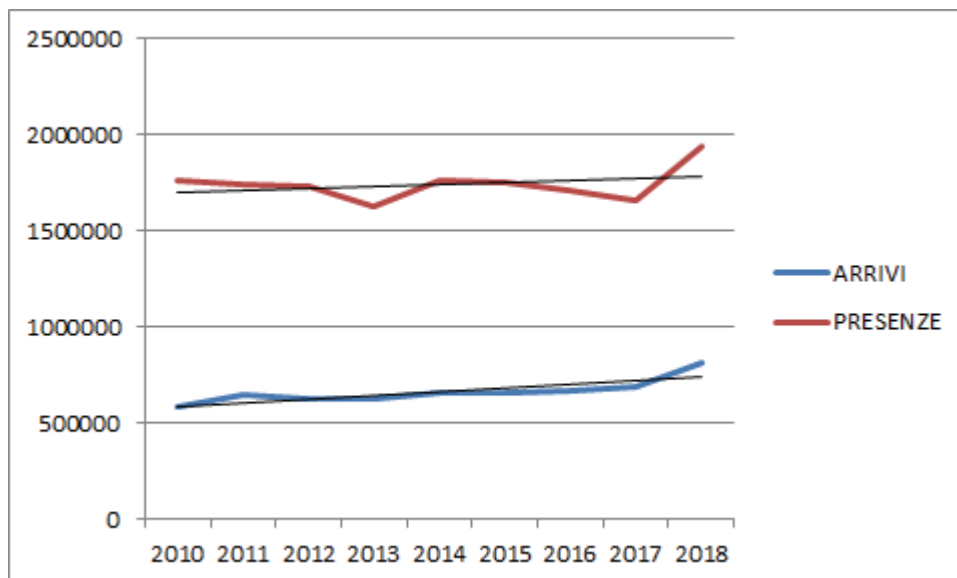


Figura 27 – Trend degli indicatori turistici pisani (2010-2018)

Relativamente al **polo universitario pisano**, anche i dati più recenti confermano come esso si configuri come uno dei più rilevanti in ambito nazionale in relazione al rapporto tra numero di iscritti (~50000) e popolazione totale residente nel comune (~89000).

Il numero degli iscritti ha conosciuto un forte incremento tra il 2003 ed il 2007 (passando da ~29000 a ~44500), per poi attestarsi su soglie sostanzialmente simili a quelle attuali (vedi Figura 28⁸).



Figura 28 – Università di Pisa: iscritti 2003-2017 distinti per provenienza

⁸ Fonte: Regione Toscana, portale web "Toscana Open Research", vedi dati relativi a "Andamento del numero degli iscritti per Ateneo"

Sotto il profilo più prettamente trasportistico, se da un lato si è registrata una flessione dell'indice di motorizzazione privata (quantunque sia opportuno osservare come il numero di vetture ogni 1000 abitanti, in un confronto di lungo periodo, rimanga attestato nel 2016 su livelli simili al 2000; vedi anche Figura 29), dall'altro si è rafforzato e/o consolidato in maniera significativa il ruolo di due hub primari del trasporto pisano e regionale (vedi trattazione più diffusa di questi temi ai precedenti paragrafi 3.D e 3.E, a cui si rimanda):

- *la stazione ferroviaria*, che con ~15 milioni di passeggeri/anno movimentati è la seconda della regione toscana;
- *l'aeroporto Galilei*, che con ~5.5 milioni di passeggeri/anno trasportati è la prima infrastruttura regionale di questo tipo (e l'undicesima su scala nazionale, con ulteriori interessanti proiezioni di sviluppo e crescita nel medio periodo).

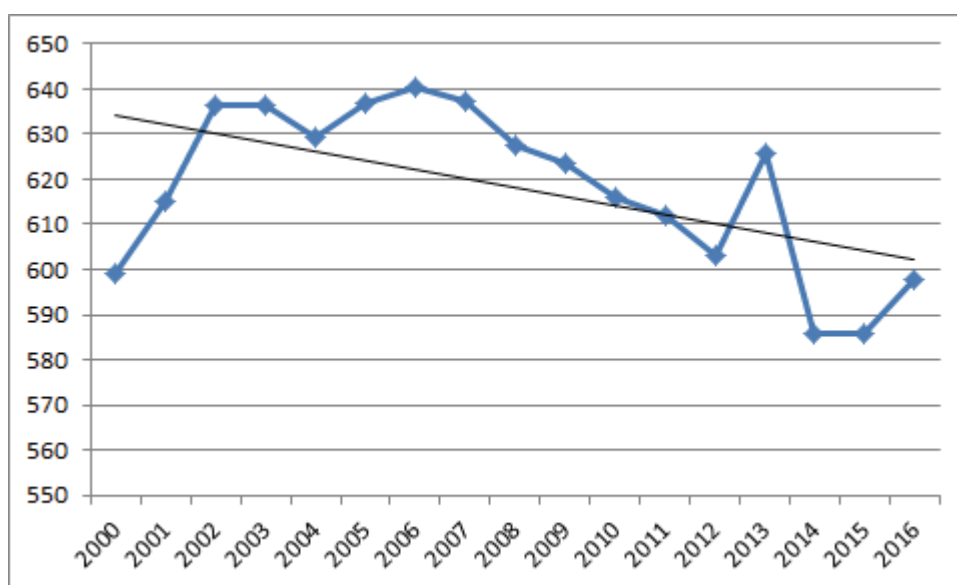


Figura 29 – Trend 2000-2016 dell'indice di motorizzazione nel comune di Pisa

5.D. NUOVI SVILUPPI URBANISTICI

Il quadrante est della città di Pisa (lungo il quale si prevede di impostare il nuovo tracciato tranviario) è interessato da alcuni rilevanti interventi urbanistici, in corso di completamento e/o in avanzata fase di pianificazione:

- *espansione/ampliamento dell'Ospedale Cisanello* (unitamente al sistema di parcheggi ad esso connesso);
- *realizzazione dell'ospedale pediatrico "Stella Maris"*, su parte dell'area attualmente ineditificata tra via Bargagna e via Cisanello;
- *completamento dell'intervento residenziale "Isola Verde"* (fronte nord di via Bargagna), da tempo già parzialmente realizzato al grezzo.

L'espansione/ampliamento dell'Ospedale Cisanello (di cui al "Piano Particolareggiato relativo al Polo Ospedaliero Universitario di Cisanello", approvato con delibera del Consiglio Comunale n. 5 del 26-01-2006) interesserà una superficie territoriale di circa 12 ettari, in adiacenza (fronte sud) alle strutture ospedaliere esistenti (che si estendono su una superficie complessiva di circa 23 ettari). L'intervento previsto è destinato ad incrementare l'offerta di posti letto portandola su soglie dell'ordine dei 1100-1350 (contro i circa 800-900 attuali) e a localizzare in zona Cisanello importanti spazi ospedaliero-didattici connessi alla Facoltà di Medicina dell'Università di Pisa; il progetto prevede altresì un potenziamento dell'infrastrutturazione al contorno, con particolare riferimento alla realizzazione di ulteriori ~1600 posti auto all'interno del cosiddetto "sigaro" di via Trivella (vedi Figura 30).

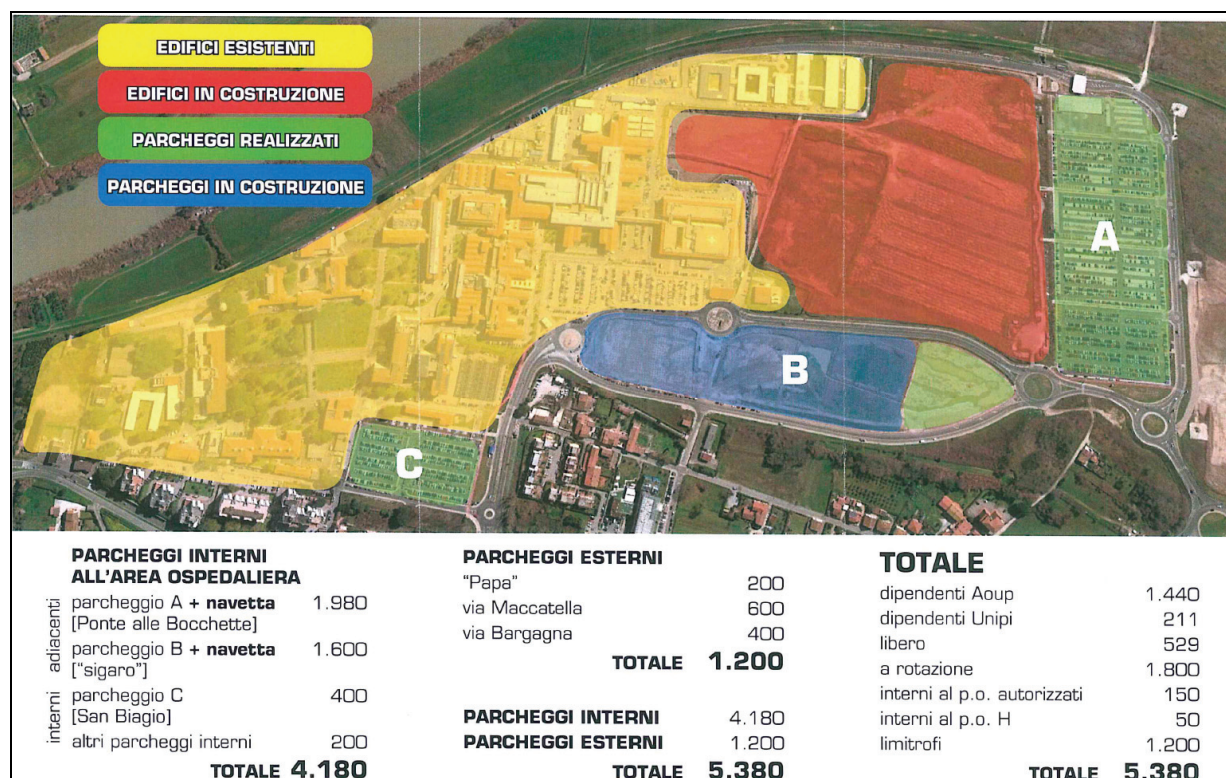


Figura 30 – Ospedale Cisanello: nuovi assetti di previsione

La realizzazione del nuovo Ospedale pediatrico "Stella Maris" (di cui alla Scheda-Norma 7.5 "Cisanello-Parco centrale" del vigente Regolamento edilizio del Comune di Pisa) interessa, come detto, parte dell'area attualmente ineditata tra via Bargagna e via Cisanello. L'intervento è pianificato su una superficie territoriale di ~27800 mq e presenta una capacità edificatoria massima di ~12000 mq; oltre alla struttura ospedaliera propriamente detta, si prevede la realizzazione all'intorno di un parco urbano (vedi Figura 31: nel riquadro A il lay-out generale dell'area, nel riquadro B la scheda architettonica dell'intervento).

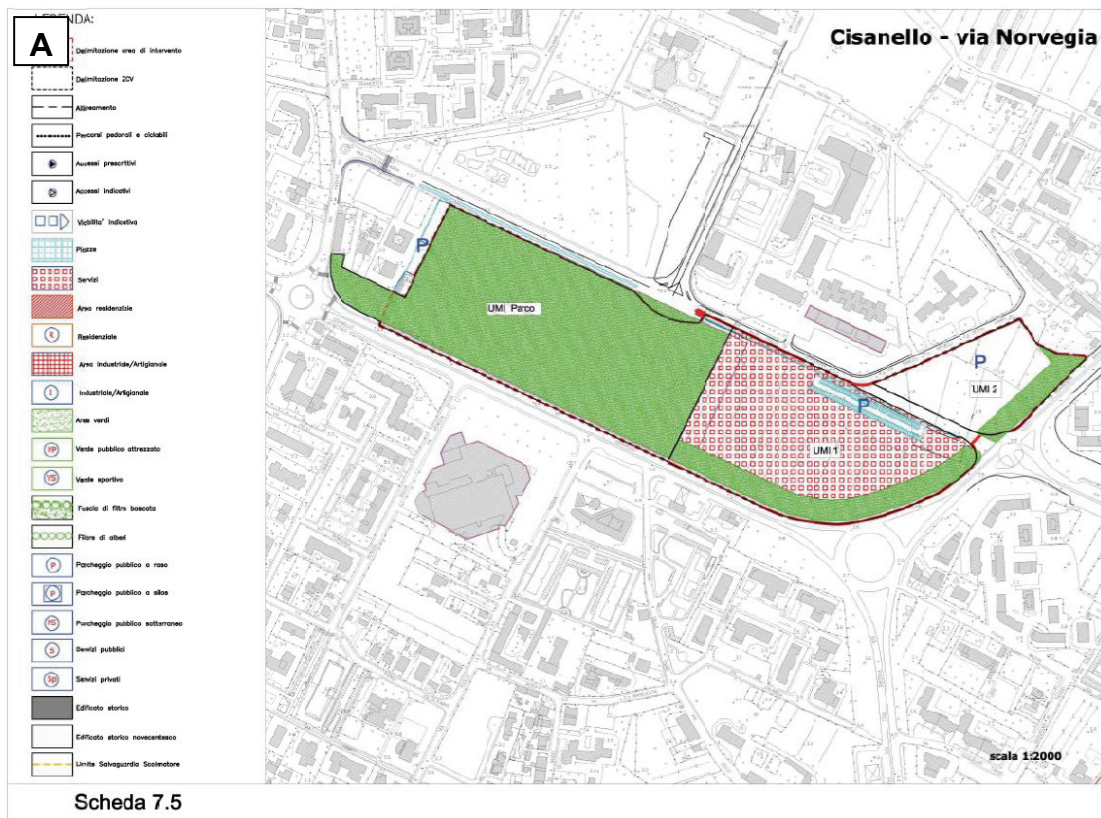


Figura 31 – “Stella Maris”: lay-out dell’area e schema di progetto

Con recenti deliberazioni, il Consiglio Comunale di Pisa ha assentito al completamento dell'intervento residenziale "Isola Verde" (di cui alla Scheda-Norma 7.4 "*Cisanello-via Bargagna*" del vigente Regolamento edilizio del Comune di Pisa), localizzato sul fronte nord di via Bargagna (vedi inquadramento in Figura 32) e da tempo già parzialmente realizzato al grezzo; a lavori ultimati, saranno disponibili circa 90 nuove unità immobiliari residenziali, affiancate da attività commerciali e direzionali complementari.

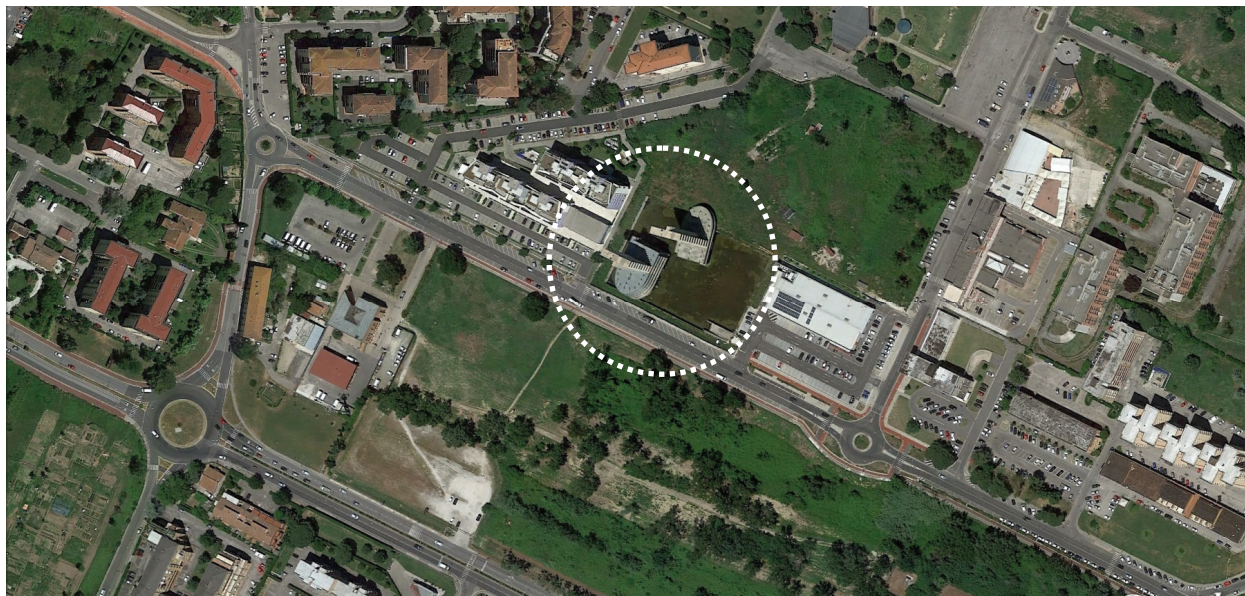


Figura 32 – Inquadramento dell'intervento residenziale "Isola Verde"

6. NUOVA LINEA TRAMVIARIA E RELATIVE PREVISIONI DI UTENZA

6.A. PREMESSA

Nel presente capitolo è analizzato il progetto della nuova tranvia, con particolare riferimento al livello di domanda attesa, valutandone (come indicato nelle “Linee Guida per la Valutazione degli Investimenti in Opere Pubbliche” - allegato A al D.M. 300/2017) la componente tendenziale, quella in diversione modale (in ordine a uno specifico modello previsionale dello shift modale atteso) e quella indotta.

6.B. IL PROGETTO DELLA TRAMVIA

Il presente Progetto di fattibilità tecnico-economica per la tranvia di Pisa prevede, come già anticipato, la realizzazione di una dorsale forte del trasporto pubblico urbano lungo la direttrice ovest-est (Stazione Centrale-Ospedale Cisanello), in ordine sia alla priorità delle polarità terminali servite sia ai previsti (e, in misura rilevante, effettivamente attuati o in corso di attuazione) sviluppi urbanistici della città lungo l'itinerario individuato; ciò, peraltro, si inserisce in maniera organica nel contesto pianificatorio locale vigente, con riferimento tanto alla pianificazione urbanistica (Piano Strutturale Comunale e relativi atti/documenti attuativi) quanto a quella specificamente trasportistica (PGTU vigente e “*Piano strategico-ricognitivo delle azioni-interventi di mobilità sostenibile- Relazione Tecnica*” propedeutico alla redazione del PUMS).

In sede di definizione del tracciato sono state poste a confronto due diverse possibili opzioni alternative:

- **SOLUZIONE A:** tratta in approccio all'Ospedale Cisanello realizzata in allineamento a via Bargagna, con successiva prosecuzione longitudinale su via Martin Lutero;
- **SOLUZIONE B:** tratta in approccio all'Ospedale Cisanello realizzata in allineamento alla direttrice via Cisanello-via Manghi, con successiva prosecuzione longitudinale su via Martin Lutero.

Come risulta evidente dal raffronto planimetrico (vedi Figura 33) le due soluzioni differiscono tra loro relativamente alla soluzione di tracciato adottata per la tratta compresa tra via Padule e via Martin Lutero.

Anche a seguito di un confronto con l'amministrazione proponente, è emerso come allo stato dell'attuale livello di approfondimento progettuale la “soluzione A” si riveli preferibile sia in termini tecnici sia per ragioni di inserimento urbanistico; in particolare essa, sotto il profilo strettamente trasportistico da un lato non induce soggezioni sulla direttrice primaria di scorrimento via Cisanello-via Manghi, dall'altro (grazie al suo allineamento lungo via Bargagna) possa consentire di servire in modo diretto sia il previsto ospedale pediatrico “Stella Maris” sia il rilevante insediamento residenziale “Isola Verde” (progetti entrambi descritti nel precedente paragrafo 5.C), con evidenti benefici in termini di utenza potenziale sul nuovo sistema tramviario e di incentivo alla diversione modale verso il TPL di quote significative dei nuovi carichi urbanistici attesi.

La soluzione preferenziale (SOLUZIONE A), presenta le seguenti caratteristiche tecniche essenziali:

- lunghezza tratta andata (Stazione Centrale-Ospedale Cisanello): 4413 m (di cui in promiscuo 167 m);
- lunghezza tratta ritorno (Ospedale Cisanello- Stazione Centrale): 4443 m (di cui in promiscuo 133 m);
- lunghezza tratte a binario singolo:
 - andata: 505 m;
 - ritorno: 528 m;
- numero di fermate: 13 (12 per ogni tratta monodirezionale, con interdistanza media ~400 m);
- consistenza parco rotabili: 8;
- cadenzamento nominale ordinario in fascia di punta: 7' (si veda anche il "*Programma Preliminare di Esercizio*" riportato in ALLEGATO B al presente studio).

È opportuno notare come, in base ai dati appena esposti, la linea si sviluppi quasi interamente in sede riservata (~97% della lunghezza del tracciato), con residuali tratte in promiscuo (~3% della lunghezza del tracciato).

Attualmente la tratta tra Stazione Centrale e Ospedale Cisanello è operata da tre diverse linee del TPL urbano su gomma (vedi Figura 33 riquadro A):

- **LAM ROSSA**: essa collega tra loro la zona di Piazza dei Miracoli (con possibile interscambio al Parcheggio Pietrasantina), la Stazione Centrale e l'Ospedale Cisanello; in particolare, la tratta di collegamento tra Stazione Centrale e Ospedale Cisanello è impostata lungo il percorso via Bonaini (andata)/via Croce (ritorno)-Ponte della Vittoria-via Matteotti-via Matteucci-via Cisanello-via Manghi-via Lutero, con un intervallo tra corse successive di 10';
- **LINEA 13**: essa collega i medesimi terminali attraverso una circuitazione oraria Stazione Centrale-zona Pisanova-Ospedale (andata) e Ospedale Cisanello-zona Piagge-Stazione Centrale (ritorno), , con un intervallo tra corse successive di 15';
- **LINEA 14**: essa svolge l'omologo ruolo della Linea 13, collegando i medesimi terminali attraverso una circuitazione antioraria Stazione Centrale-zona Piagge-Ospedale (andata) e Ospedale Cisanello-zona Pisanova-Stazione Centrale (ritorno), con un intervallo tra corse successive di 15' nelle fasce di punta..

Congiuntamente all'introduzione della Linea 1 della tranvia, ai fini di ottimizzare in seno complessivo il sistema del TPL nei suoi nuovi assetti e di razionalizzare l'offerta evitando duplicazioni/sovrapposizioni di più linee su tratte o per connessioni omologhe, si prevede di (vedi Figura 33 riquadro B):

- riconfigurare il tracciato della LAM ROSSA, limitandolo al collegamento tra Stazione Centrale-Parcheggio Pietrasantina (in quanto la connessione Stazione Centrale-Ospedale Cisanello verrà operata, lungo la medesima tratta, dalla nuova tranvia);
- riconfigurare la frequenza delle linee 13 e 14, portando l'intervallo tra corse successive a 25' (ciò

per contemperare la presenza della nuova linea tranviaria – in grado di assicurare la connessione reciproca dei medesimi capolinea delle linee 13 e 14 in tempi più rapidi e con maggiore frequenza – con l'esigenza di mantenere comunque attive le connessioni alle zone Pisanova e Piagge garantite delle linee 13 e 14).

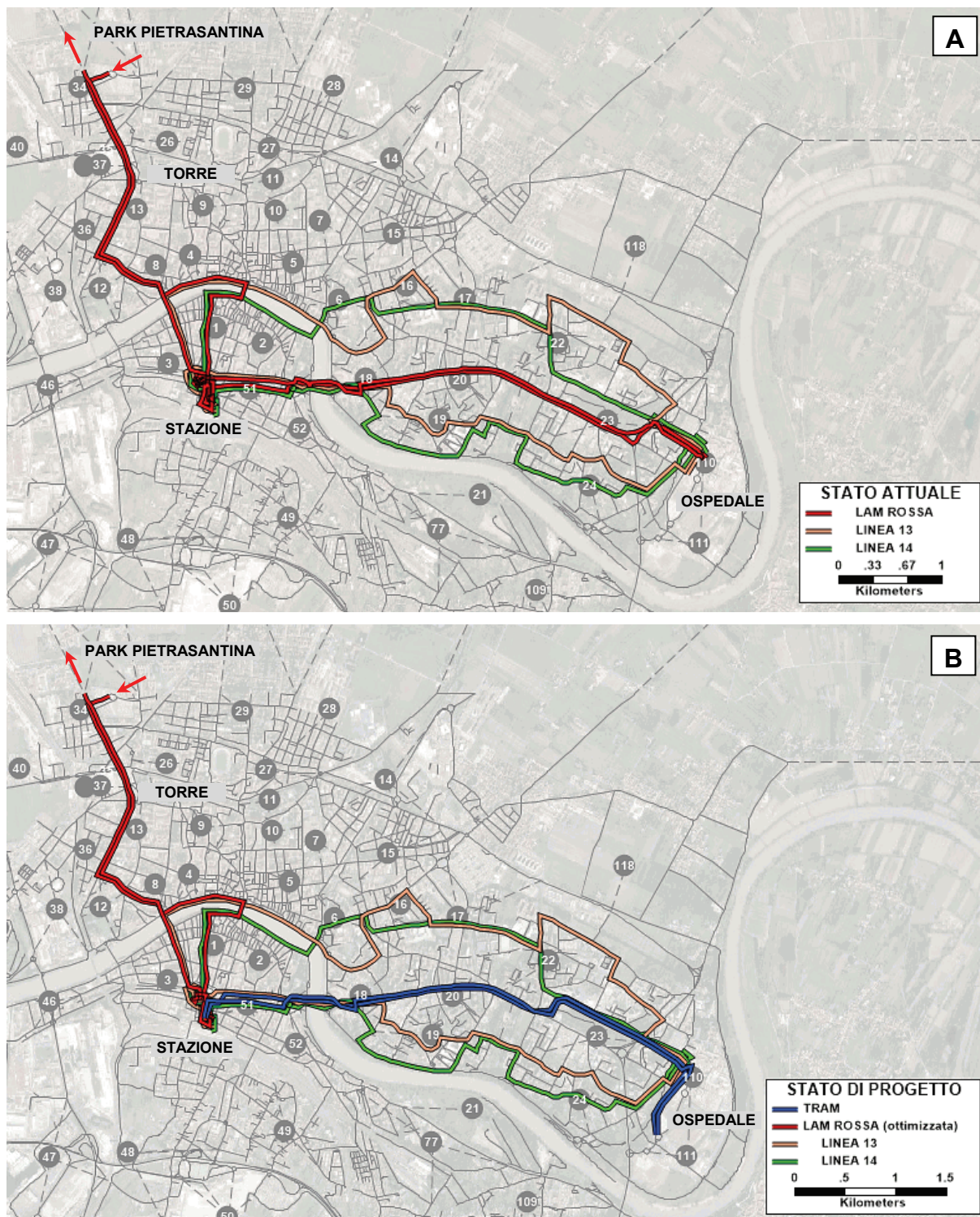


Figura 33 – Connessione Stazione Centrale-Ospedale Cisanello: assetto attuale e di progetto

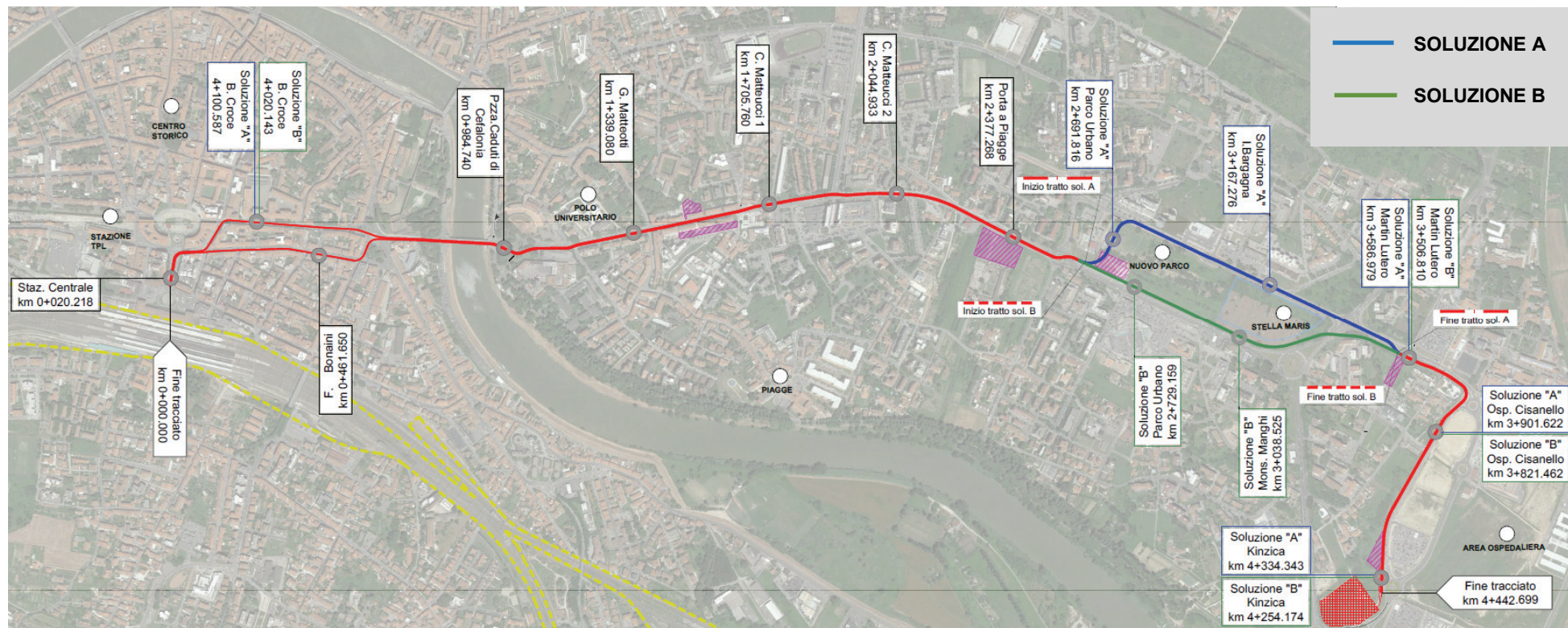


Figura 34 – Confronto tra Soluzione A e Soluzione B di tracciato tranviario

6.C. DOMANDA TENDENZIALE

La componente di domanda tendenziale afferente alla tranvia in progetto è stata valutata in coerenza con quanto indicato nelle “Linee Guida per la Valutazione degli Investimenti in Opere Pubbliche” (allegato A al D.M. 300/2017), ossia considerando lo scenario programmatico di “Business as usual”, al netto delle componenti di domanda in diversione modale e indotta (ciascuna oggetto di specifica e separata valutazione, riportata nei paragrafi successivi del presente capitolo).

La proiezione della domanda nell’orizzonte temporale di analisi indicato dalle Linee Guida ministeriali per infrastrutture similari (10 anni) è stata effettuata attraverso la duplice valutazione dei seguenti parametri:

- A. coefficienti di crescita annua della domanda su scala urbana, stimati e ricavati a seguito della valutazione dei principali parametri demografici e socio-economici locali (tema diffusamente trattato nel precedente capitolo 5, a cui si rimanda);
- B. specifici apporti incrementali alla domanda derivanti dalla realizzazione degli interventi urbanistici in fase di completamento e/o in avanzata fase di pianificazione ricadenti nell’intorno (e, dunque, nell’area di influenza) della nuova infrastruttura (tema anch’esso già diffusamente trattato nel precedente capitolo 5, a cui si rimanda).

Per quanto riguarda la crescita annua attesa della domanda su scala urbana (punto A), in ragione del lieve incremento demografico registrato (indotto, come già evidenziato, anche da consistenti fenomeni immigratori, destinati peraltro verosimilmente a non esaurirsi in un arco temporale limitato), della limitata (quantunque positiva) variazione del PIL regionale attesa nel triennio 2019-2021, della crescita e/o consolidamento di alcuni poli urbani strategici anche in chiave economica (aeroporto Galilei, Stazione Centrale, polo universitario) e dell’incremento significativo (specie sotto il profilo degli arrivi) dei flussi turistici, si ritiene credibile e cautelativo ipotizzare:

- un incremento annuo della domanda ~0.5% nel prossimo decennio (orizzonte 2029)⁹;
- una stabilizzazione della domanda nel decennio successivo (orizzonte 2039).

Per quanto concerne gli specifici apporti incrementali alla domanda derivanti dalla realizzazione degli interventi urbanistici previsti nell’intorno del tracciato tranviario in progetto¹⁰ (punto B: espansione/ampliamento dell’Ospedale Cisanello, realizzazione dell’ospedale pediatrico “Stella Maris” su parte dell’area attualmente ineditificata tra via Bargagna e via Cisanello, completamento dell’intervento

⁹ Corrispondente a fine decennio (orizzonte 2029) a una crescita tendenziale complessiva della domanda del 5% rispetto ai valori attuali

¹⁰ In base allo stato di avanzamento dei reciproci iter progettuali e/o attuativi, è plausibile ipotizzare che il completamento di tali interventi avvenga totalmente (o, quanto meno, in massima parte) a monte dell’attivazione del nuovo servizio tranviario

residenziale “Isola Verde” sul fronte nord di via Bargagna) si è proceduto, in ragione della rispettiva consistenza, ad una stima dei corrispondenti spostamenti indotti sulla base di consolidate metodiche fornite dalla letteratura di settore¹¹.

Dall'applicazione del modello di assegnazione del traffico su mezzo collettivo (descritto in ALLEGATO A al presente studio) sulla base della domanda tendenziale (orizzonte 2029) determinata in base ai criteri precedentemente descritti, si ricava sulla tranvia la seguente previsione di utenza:

- utenza oraria complessiva (fascia oraria di punta AM 08:00-09:00): ~675 passeggeri;
- utenza giornaliera media (tipico giorno feriale): ~7 250 passeggeri¹²;
- utenza annua: ~2 175 000 passeggeri¹³.

6.D. DOMANDA IN DIVERSIONE MODALE

L'analisi della componente di domanda in diversione modale è finalizzata a rappresentare e stimare l'effetto della nuova infrastruttura in termini di cambiamento d'abitudine/attitudine dell'utenza nella scelta della modalità con cui compiere i vari spostamenti interzonalari tra origini/destinazioni ricadenti nell'ambito di analisi (e, dunque, nell'ambito di influenza attesa della nuova tranvia). La stima in questione è stata condotta valutando due possibili effetti della nuova tranvia in termini di split modale:

- A. effetti sulla diversione modale negli spostamenti interni all'area di studio (ossia sugli spostamenti interzonalari tra centroidi interni all'area di studio, ricadenti nell'area di influenza della tranvia);
- B. effetti (in termini di diversione modale) sugli spostamenti di penetrazione da centroidi esterni a zone

¹¹ In particolare sono state adottati i criteri suggeriti dall'Institute of Transportation Engineers (ITE) nel “*Trip Generation Manual*” (9th Edition, 2012). In estrema sintesi, secondo la metodologia proposta la determinazione dei flussi veicolari orari di punta (AM, PM) e giornalieri attesi nei diversi periodi settimanali (feriali da lunedì a venerdì, sabato, domenica) viene svolta partendo dalla valutazione delle previsioni insediative (tipo di destinazione d'uso e relativa consistenza) connesse alla realizzazione di nuovi comparti ed applicando specifici valori medi caratteristici ovvero specifiche relazioni empiriche (in entrambi i casi ricavati dall'ITE sulla base di un accurato monitoraggio ultradecennale di svariate effettive esperienze misurate sul campo).

Relativamente alla ripartizione modale di detti spostamenti addizionali indotti dagli interventi urbanistici previsti, nella presente stima della domanda tendenziale è stato mantenuto il medesimo split modale interzonale riscontrabile dello scenario attuale (gli effetti della tranvia in termini di diversione modale, infatti, sono stati trattati separatamente nel successivo paragrafo – operando dunque una specifica stima della componente di domanda in diversione modale – come indicato dalle Linee Guida ministeriali di riferimento).

¹² Utenza giornaliera media ottenuta applicando all'utenza oraria complessiva (derivata direttamente dal modello di assegnazione di traffico su mezzo collettivo) il rapporto utenza giornaliera/utenza oraria (~10.8; cfr. indagine 2009 del Consorzio Pisano Trasporti/CPT in ordine all'utenza delle diverse linee del TPL urbano su gomma) della ex linea LAM Blu (Stazione Centrale-Ospedale Cisanello) che fino al 2017 svolgeva un servizio analogo a quello della tranvia in progetto (lungo sostanzialmente il medesimo tracciato)

¹³ Utenza annua ottenuta a partire dall'utenza giornaliera media (tipico giorno feriale) e considerando forfettariamente 300 giorni feriali equivalenti per anno solare

interne all'area di studio grazie a nuove opportunità di park&ride connesse alla tranvia.

Per quanto concerne gli effetti sulla diversione modale negli spostamenti interni all'area di studio (ossia sugli spostamenti interzonali tra centroidi interni all'area di studio, ricadenti nell'area di influenza della tranvia; vedi punto A), sulla base di un set di interviste raccolte sul campo nell'ambito della già citata campagna di rilievo/indagine del 7-10 ottobre 2019, è stato implementato, calibrato e validato un apposito "*modello logit binomiale*" (vedi "*Modello di diversione modale*", descritto in descritto in ALLEGATO A al presente studio).

In estrema sintesi, il modello in questione ha consentito di stimare lo shift ottenibile nello scenario di progetto (con inserimento organico della tranvia nella nuova rete urbano del TPL) tra le modalità di spostamento su mezzo privato e quelle su mezzo pubblico (TPL), in termini probabilistici in base ad una funzione di utilità percepita dall'utenza in ordine all'opzione considerata e legata a specifici parametri (per l'opzione mezzo privato: tempo di viaggio su mezzo privato, costo del parcheggio a destinazione, tempo necessario per trovare parcheggio a destinazione; per l'opzione TPL: tempo di viaggio a bordo mezzo, perditempo legato a tempi di accesso alle fermate, perditempo legati a trasferimenti/cambi di mezzo, costo di bigliettazione).

Relativamente agli effetti (in termini di diversione modale) sugli spostamenti di penetrazione da centroidi esterni a zone interne all'area di studio grazie a nuove possibilità di park&ride connesse alla tranvia (vedi punto B), essi sono essenzialmente ascrivibili all'opportunità che si potrà avere con la nuova infrastruttura di intercettare quota parte degli spostamenti in ingresso dall'esterno (e, in particolare, con provenienza est dal ramo FI-PI della FI-PI-LI), che potranno essere in quota parte drenati sul sistema dei parcheggi (in corso di ulteriore potenziamento) presenti e/o previsti in adiacenza al capolinea est della tranvia in zona Cisanello con successivo cambio di mezzo e utilizzo della tranvia per recarsi nelle zone centrali e/o presso altre destinazioni ubicate nell'intorno della nuova infrastruttura. Al fine di operare una stima prudenziale di tali spostamenti evitando il rischio di sovrastima degli stessi sono state fatte le seguenti assunzioni:

- è stata circoscritta la quota parte degli spostamenti intercettabili con la nuova tranvia a quelli in ingresso da est (ramo FI-PI della FI-PI-LI), limitatamente a quelli con destinazione ricompresa in un intorno di raggio ~400 m rispetto alla Stazione Centrale (vedi centroidi 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 51, 52 in Figura 35) e/o con destinazione ricompresa tra le zone di traffico direttamente interessate/servite dalla tranvia (vedi centroidi 17, 18, 19, 20, 22, 23 in Figura 35);
- del totale degli spostamenti in ingresso dall'esterno che rispondono ai requisiti di cui al punto precedente (~540 veicoli/ora in fascia AM 08:00-09:00), si ipotizza di poterne intercettare con park&ride in zona Cisanello (e successivo utilizzo della tranvia) una aliquota dell'ordine del 10-15%¹⁴; corrispondente a ~60 veicoli/ora (e, conseguentemente, corrispondenti a un minimo di 60

¹⁴ Si evidenzia come l'efficacia della diversione modale descritta (park&ride connesso al tram) degli spostamenti in penetrazione esterna potrà essere accresciuta (anche in termini di incidenza percentuale) se accompagnata da efficaci sistemi di segnalazione/indirizzamento verso la zona parcheggi di Cisanello, nonché da specifiche politiche di regolamentazione del traffico in accesso alle zone centrali

utenti/ora sulla tranvia derivanti da tale diversione modale “esterna”).

In base ai criteri e alle assunzioni appena descritti, dall'applicazione dei modelli di diversione modale e di assegnazione del traffico su mezzo collettivo (descritti in ALLEGATO A al presente studio), si ricava per la tranvia la seguente stima della componente di utenza in diversione modale:

- utenza oraria complessiva (fascia oraria di punta AM 08:00-09:00): ~290 passeggeri;
- utenza giornaliera media (tipico giorno ferial): ~3 130 passeggeri¹⁵;
- utenza annua: ~939 000 passeggeri¹⁶.

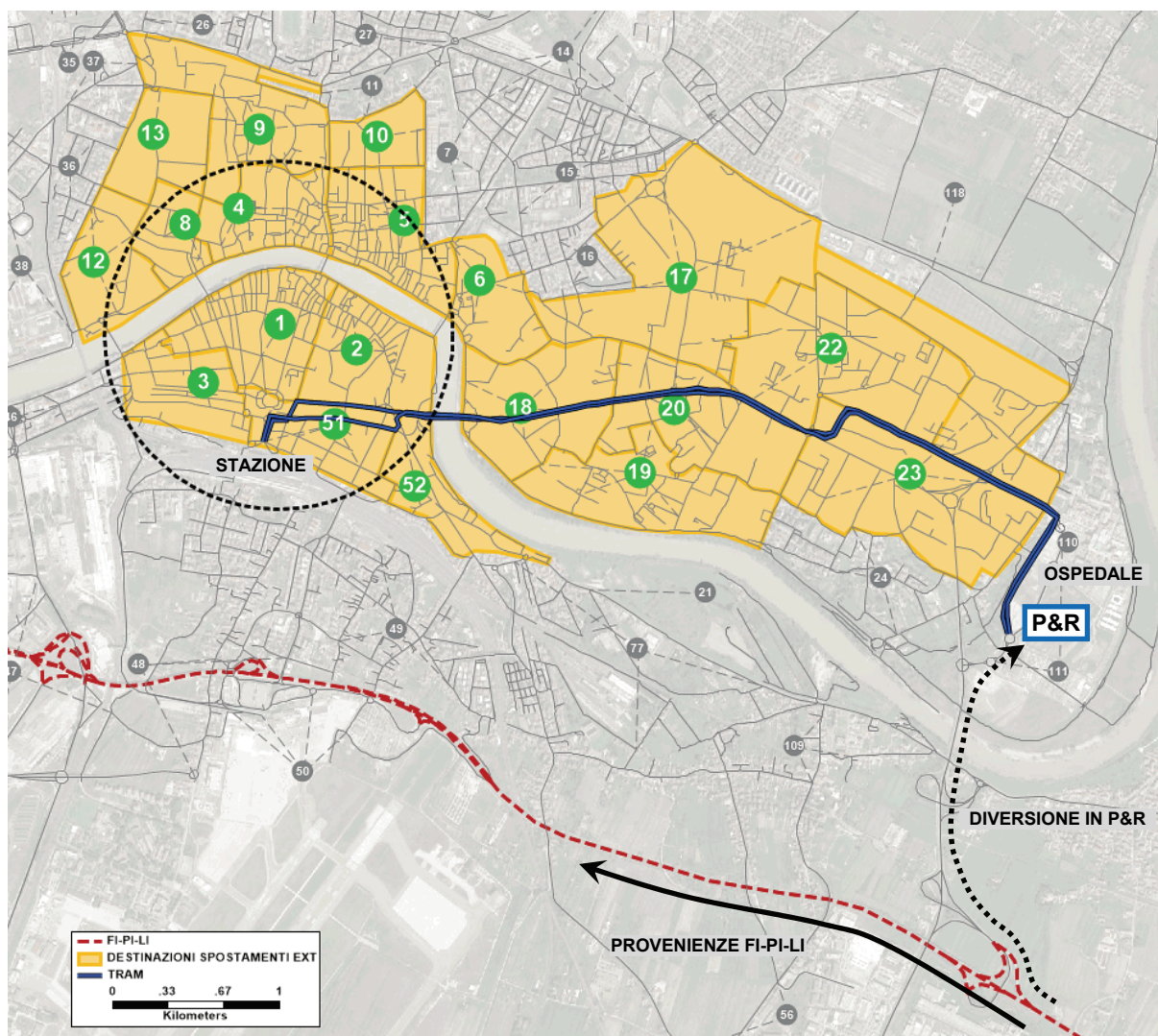


Figura 35 – Schematizzazione della diversione modale “esterna” in park&ride

¹⁵ Vedi nota 12

¹⁶ Vedi nota 13

6.E. DOMANDA INDOTTA

L'analisi della componente di domanda indotta è finalizzata a rappresentare e stimare il possibile numero di utenti destinati a compiere spostamenti (attualmente non effettuati) in ragione dell'introduzione della nuova infrastruttura. Nel caso specifico della tranvia di Pisa, è verosimile ipotizzare che la nuova linea (per via della sua maggiore regolarità, velocità e frequenza rispetto all'attuale servizio di TPL su gomma operante lungo la medesima direttrice) offra occasione di effettuazione di spostamenti ad oggi non compiuti, quali ad esempio i movimenti "secondari" di addetti dell'Ospedale Cisanello e/o di parenti di ricoverati che grazie al tram potrebbero compiere (in modo rapido e senza le problematiche connesse al parcheggio in caso di utilizzo del mezzo privato) spostamenti tra Ospedale e centro cittadino per effettuare acquisti (ad esempio beni di conforto per i pazienti), commissioni o altro ancora (ad esempio pausa-pranzo effettuata in zona centrale per gli addetti e/o gli studenti ospitati nel polo ospedaliero).

Come nel caso della componente di domanda in diversione modale trattata nel paragrafo precedente, anche per quanto concerne la domanda indotta è stata condotta una valutazione secondo criteri prudenziali al fine di evitare rischi di sovrastima; in particolare:

- si è assunto di limitare il potenziale ingenerarsi di domanda indotta alle sole aree ricadenti nell'intorno del tracciato della nuova tranvia e, in particolare, ad una distanza massima di ~500 m, convenzionalmente considerata come massima distanza che ogni componente dell'utenza (compresa quella "debole") è disposta a coprire a piedi per raggiungere la fermata più vicina (tale condizione è soddisfatta dalle zone di traffico rappresentate dai centroidi 1, 2, 3, 6, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 51, 52, 110, 111 di cui alla Figura 36);
- le zone di traffico indicate al punto precedente si caratterizzano attualmente per ~770 spostamenti interzonali reciproci nell'ora di punta AM (08:00-09:00) effettuati su mezzo di trasporto collettivo (TPL); l'effetto della nuova tranvia in termini di generazione di domanda indotta è stata forfettariamente tradotto in un incremento dell'ordine del 10% di tali spostamenti attuali interzonali su mezzo collettivo, corrispondente a ~70 utenti/ora indotti sulla nuova tranvia¹⁷.

In base ai criteri e alle assunzioni appena descritti, dall'applicazione del modello di assegnazione del traffico su mezzo collettivo (descritto in ALLEGATO A al presente studio), si ricava per la tranvia la seguente stima della componente di utenza indotta:

- utenza oraria complessiva (fascia oraria di punta AM 08:00-09:00): ~70 passeggeri;

¹⁷ In considerazione della prevalenza, tra i collegamenti interzonali garantiti dalla nuova tranvia, della connessione diretta tra Stazione Centrale e Ospedale Cisanello, gli spostamenti indotti (~70 utenti/ora bidirezionali) sono stati forfettariamente attribuiti a quest'ultima relazione (schematizzata, nel presente modello di traffico, dal collegamento tra i centroidi 51 – zona Stazione Centrale – e 110/111 – zona Ospedale Cisanello -)

- utenza giornaliera media (tipico giorno feriale): ~760 passeggeri¹⁸;
- utenza annua: ~228 000 passeggeri¹⁹.

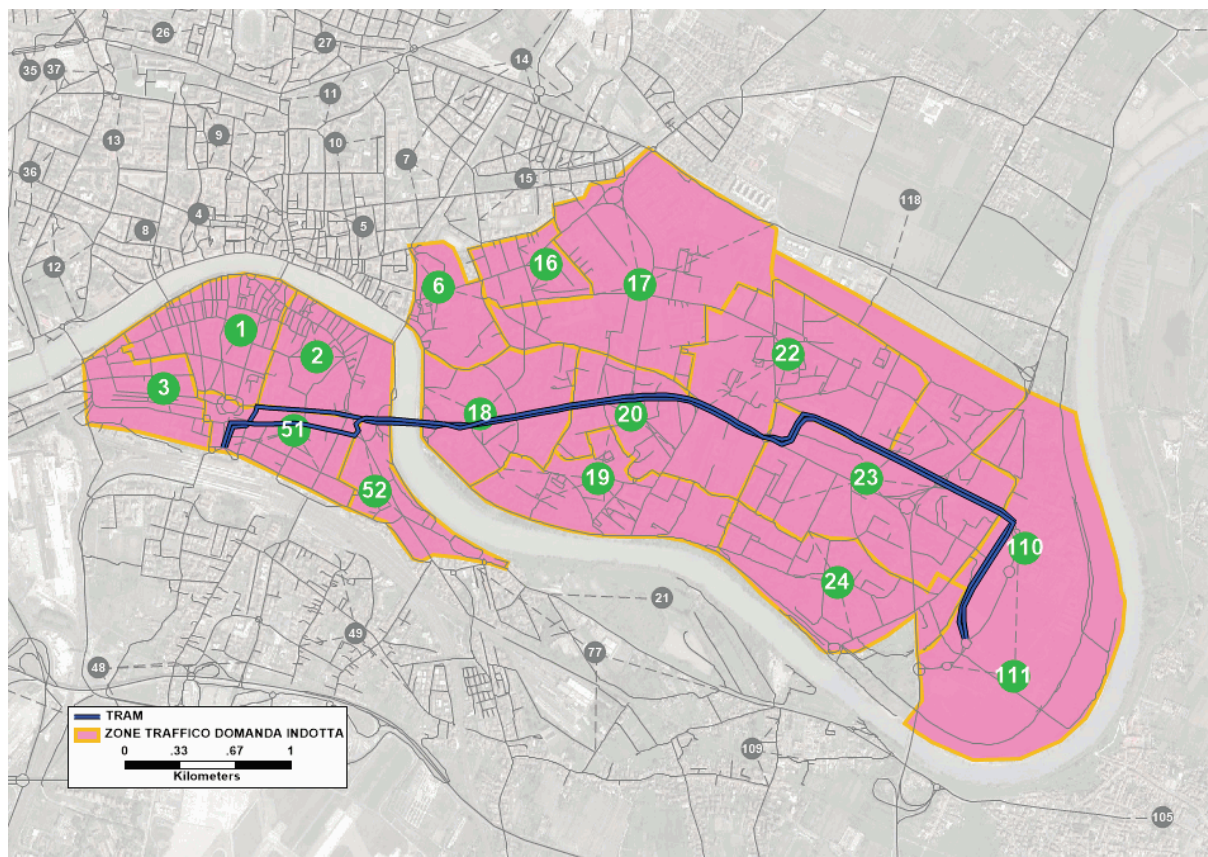


Figura 36 – Zone di traffico considerate per la stima della domanda indotta

¹⁸ Vedi nota 12

¹⁹ Vedi nota 13

6.F. QUADRO RIEPILOGATIVO DELLA DOMANDA ATTESA

Nella tabella successivamente riportata in Figura 37, si riassume la domanda attuale del sistema di trasporto urbano collettivo pisano (TPL su gomma, Pisamover), quella tendenziale stimata nel 2029 (con ipotesi di inserimento della tranvia unitamente agli interventi connessi di riconfigurazione del sistema del TPL attuale descritti al precedente paragrafo 6.B, senza tuttavia considerare le componenti di domanda in diversione modale e indotta) e infine quella effettiva di progetto attesa nel 2029 (con inserimento della tranvia, includendo anche i contributi di domanda in diversione modale e indotta).

Nella successiva Figura 38, la domanda attesa relativa alla tranvia con orizzonte temporale decennale (2029) è stata segmentata esplicitando (per voci distinte) le componenti tendenziale, in diversione modale e indotta, in ottemperanza alle indicazioni al riguardo contenute nelle “Linee Guida per la Valutazione degli Investimenti in Opere Pubbliche” (allegato A al D.M. 300/2017); nel complesso, la domanda attesa nello scenario di progetto è la seguente:

- utenza oraria complessiva (fascia oraria di punta AM 08:00-09:00): ~1 034 passeggeri;
- utenza giornaliera media (tipico giorno feriale): ~11 140 passeggeri²⁰;
- utenza annua: ~3 342 000 passeggeri²¹.

Nelle Figure 39, 40 si riportano infine i grafici relativi alla previsione/ricostruzione su base modellistica dei saliti/discesi alle/dalle diverse fermate della tranvia nell'ora di punta AM 08:00-09:00 del tipico giorno feriale infrasettimanale (scenario di progetto anno 2029), riferiti rispettivamente alle tratte monodirezionali W-E (Stazione Centrale-Ospedale Cisanello) e E-W (Ospedale Cisanello-Stazione Centrale).

²⁰ Vedi nota 12

²¹ Vedi nota 13

TIPO DI TRASPORTO COLLETTIVO	INDICATORE DI DOMANDA	SCENARIO ATTUALE	SCENARIO TENDENZIALE (2029)	SCENARIO DI PROGETTO (2029)
RETE URBANA BUS	<i>DOMANDA GIORNALIERA (pax/giorno)</i>	33 400	29 380	30 560
	<i>DOMANDA ANNUA (pax/anno)</i>	10 020 150	8 814 140	9 168 140
PISAMOVER^(*)	<i>DOMANDA GIORNALIERA (pax/giorno)</i>	3 800	7 600	7 600
	<i>DOMANDA ANNUA (pax/anno)</i>	1 140 000	2 280 000	2 280 000
TRAM	<i>DOMANDA GIORNALIERA (pax/giorno)</i>	-	7 250	11 140
	<i>DOMANDA ANNUA (pax/anno)</i>	-	2 175 000	3 342 000

(*) dati attuali: dati di utenza 2018/2019 forniti da PISAMO Spa; proiezione 2029: LeightFisher, "Pisa people Mover - Demand and Revenue Study", Dicembre 2015 (vedasi "Low case")

Figura 37 – Trasporto collettivo urbano: prospetto riepilogativo della domanda attuale e futura

	SEGMENTAZIONE DOMANDA (anno 2029)
TENDENZIALE	2 175 000
DIVERSIONE MODALE	939 000
INDOTTA	228 000

Figura 38 – Tranvia: segmentazione delle diverse componenti della domanda annua stimata

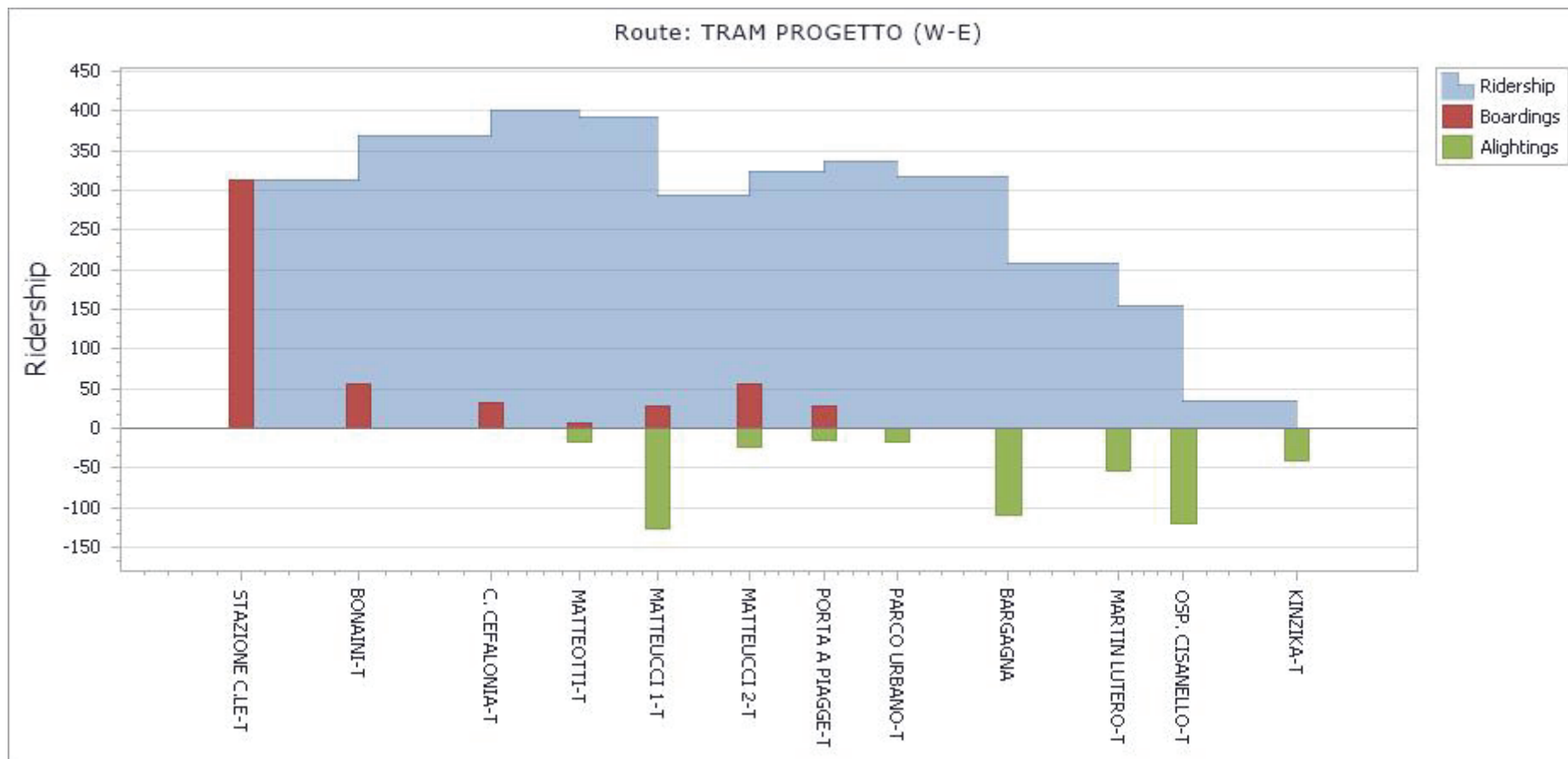


Figura 39 – Saliti/discesi alle/dalle diverse fermate della tranvia (tratta monodirezionale W-E Stazione C.le-Ospedale Cisanello)

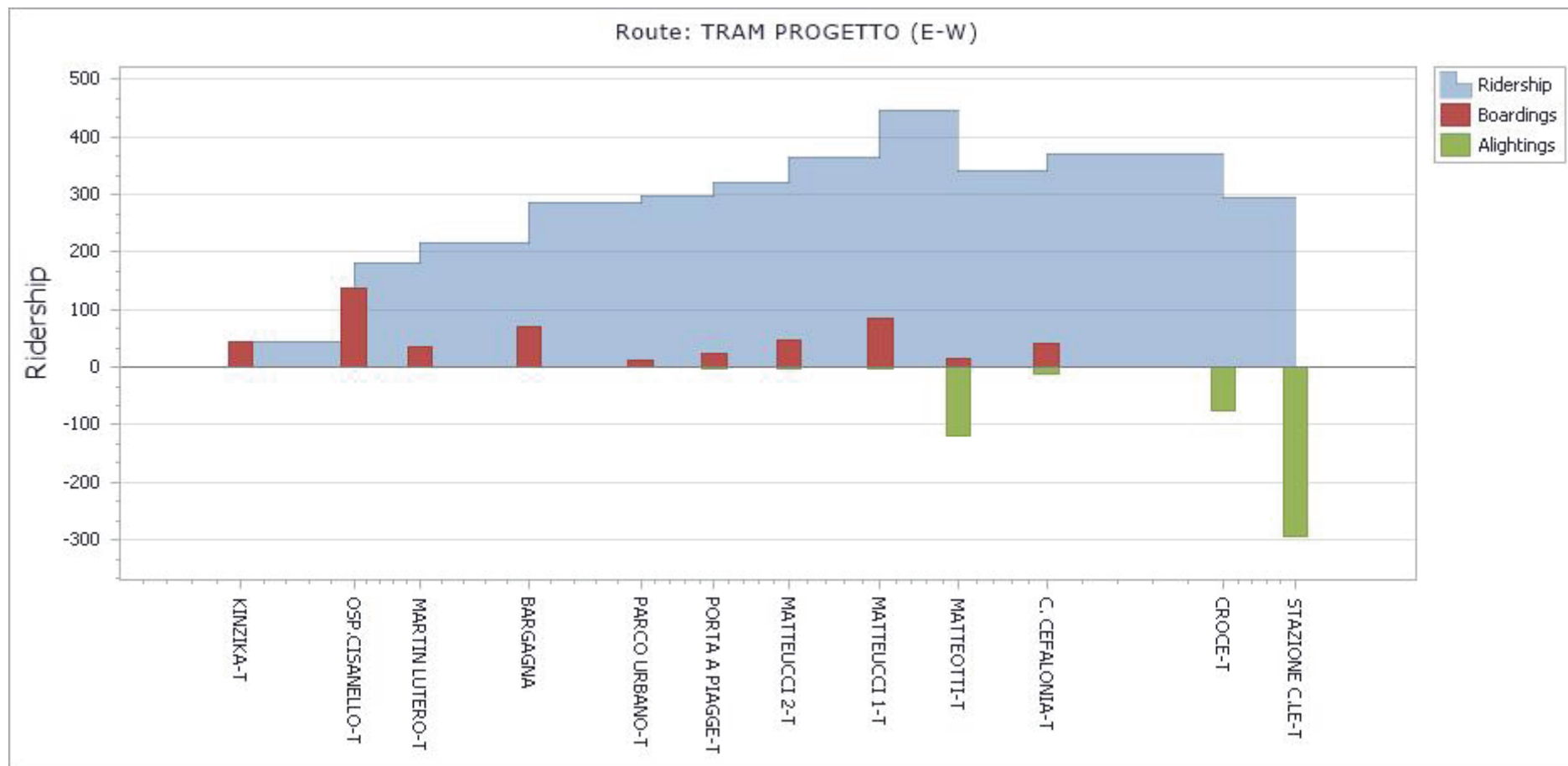


Figura 40 – Saliti/discesi alle/dalle diverse fermate della tranvia (tratta monodirezionale E-W Ospedale Cisanello-Stazione C.I.e)

7. IMPATTO DELLA TRANVIA SULLA MOBILITÀ PRIVATA

Come già illustrato nel capitolo 2, il progetto di una linea forte del TPL (quale la tranvia in progetto) lungo la dorsale Stazione Centrale-Ospedale Cisanello è inserito organicamente sia nel vigente Piano Generale del Traffico Urbano/PGTU sia negli studi propedeutici alla redazione (recentemente attivata) del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile/PUMS (cfr. *“Piano strategico-ricognitivo delle azioni-interventi di mobilità sostenibile- Relazione Tecnica”*, approvato con Delibera della Giunta Comunale n. 188 del 09-11-2017).

In particolare, la nuova tranvia (grazie alla sostanziale assenza o residualità delle tratte in promiscuo) è destinata ad assicurare, lungo la propria direttrice primaria di competenza, un servizio caratterizzato da elevati standard di affidabilità, regolarità e significativa velocità commerciale (specie in comparazione con l'attuale servizio bus LAM Rossa operante sulla stessa tratta); la trazione elettrica, inoltre, è pienamente in linea con gli obiettivi di diminuzione degli impatti della circolazione dei mezzi (vedi emissioni atmosferiche inquinanti, emissioni acustiche, etc) con particolare riferimento (ma non solo) alle zone centrali (vedi tratta ovest di approccio alla zona di Piazza Vittorio Emanuele II/Stazione Centrale).

Nello specifico, la nuova tranvia (in ragione degli standard prestazionali prefissati e della conseguente appetibilità del servizio offerto) è destinata ad apportare un significativo contributo in termini sia di shift modale verso il sistema TPL per gli spostamenti intrazonali all'interno della propria area di influenza, sia di offrire nuove opportunità di ingresso in città dall'esterno (in particolare per i movimenti di penetrazione esterna da est lungo il ramo FI-PI della FI-PI-LI) attraverso attestamento periferico in park&ride (vedi sistema dei parcheggi, in corso di ulteriore implementazione/ampliamento, in zona Ospedale Cisanello e, dunque, in prossimità del capolinea est del tram) e successivo impiego della tranvia per accedere alle zone centrali (temi trattati diffusamente nel precedente paragrafo 6.D, a cui si rimanda).

Gli effetti generali attesi della tranvia sulla rete privata sono riportati nella tabella in Figura 41, recante (in termini annui) il montante delle percorrenze (veic x km) e del tempo di percorrenza (veic x h) su mezzo privato della rete ricompresa nell'area di studio; in particolare, viene proposto un raffronto tra scenario attuale, scenario tendenziale 2029 (orizzonte 2029, con introduzione della tranvia, senza considerare gli effetti di quest'ultima in termini di diversione modale) e scenario di progetto 2029 (orizzonte 2029, con introduzione della tranvia e considerando gli effetti di quest'ultima in termini di diversione modale).

	PARAMETRI DI RETE (valori annuali)	
	PERCORRENZE RETE (veic x km)	TEMPO TOTALE PERCORRENZA RETE (veic x h)
SCENARIO ATTUALE	377 726 667	7 631 667
SCENARIO TENDENZIALE (2029)	405 443 333	8 832 000
SCENARIO DI PROGETTO (2029)	403 343 333	8 760 000

Figura 41 – Effetti generali della tranvia sul livello di congestione della rete stradale

Nella successiva Figura 42 si riporta un flussogramma recante la comparazione (effettuata mediante il modello di traffico privato descritto nell'ALLEGATO A al presente studio) tra flussi veicolari privati attesi sulla rete ricompresa nell'ambito di studio considerato (con particolare riferimento all'intorno allargato del tracciato tranviario) nello scenario tendenziale (orizzonte 2029, con introduzione della tranvia, senza considerare gli effetti di quest'ultima in termini di diversione modale) e nello scenario di progetto (orizzonte 2029, con introduzione della tranvia e conseguenti effetti di quest'ultima in termini di diversione modale); le colorazioni verde e rossa indicano rispettivamente riduzioni e aumenti di flussi veicolari nel raffronto tra scenario di progetto e scenario tendenziale.

Come del resto prevedibile, il nuovo sistema tranviario è destinato a indurre (per effetto del *modal split* conseguente alla sua stessa introduzione) significative riduzioni dei flussi veicolari privati (mediamente stimate, da modello, tra i -50 e i -100 veicoli totali bidirezionali/ora circa sulle diverse sezioni stradali interessate) sia lungo tutta la dorsale primaria di connessione tra la zona stazione e il polo Cisanello (via Matteotti-via Matteucci-via Cisanello) sia in corrispondenza delle relative arterie di adduzione (via Padule, direttrice via Nenni-via Landi-via Gobetti, asse via San Pio da Pietralcina-via Manghi) o al contorno (via Bargagna) di quest'ultima.

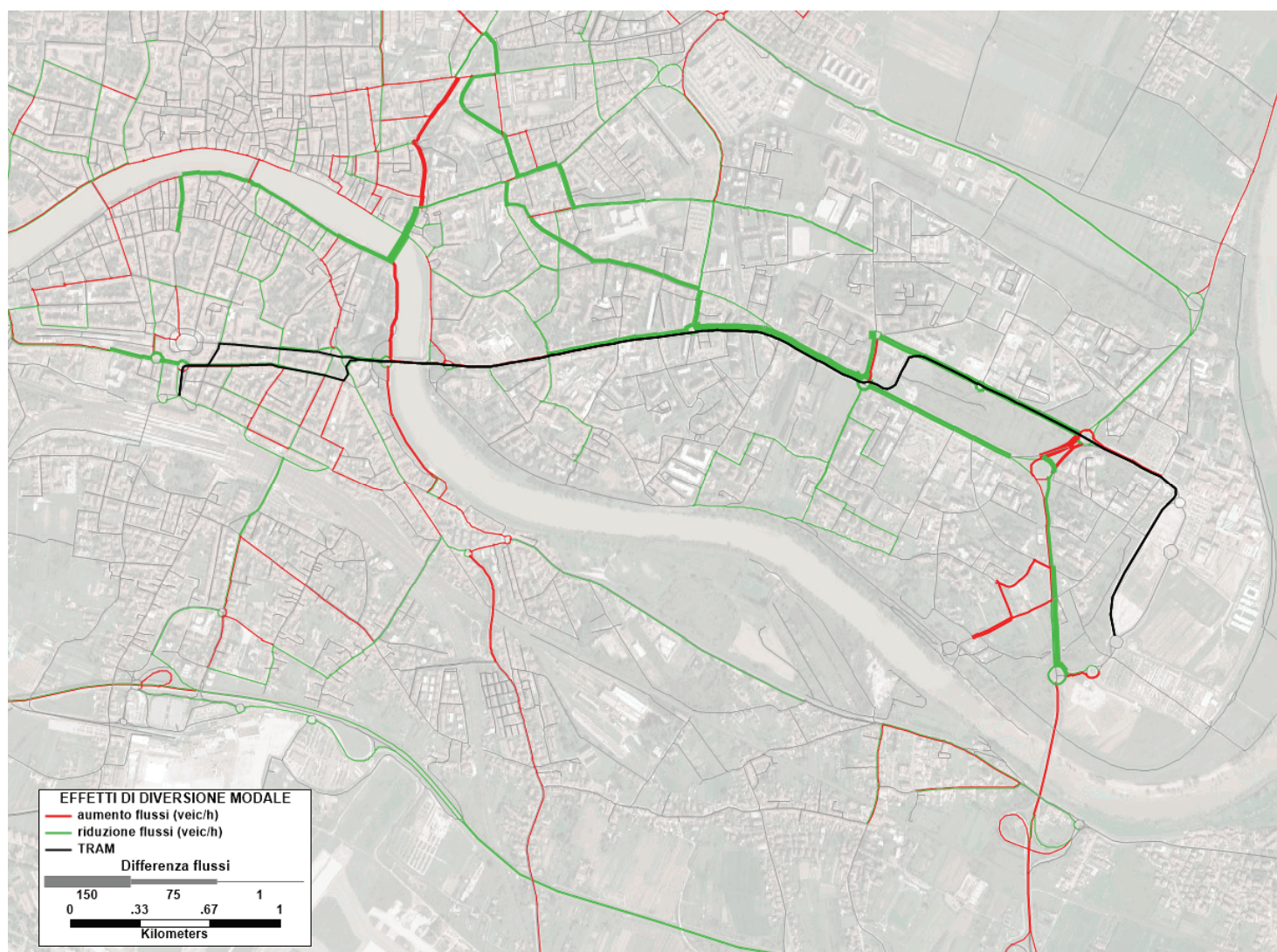


Figura 42 – Effetti attesi sulla rete stradale della diversione modale apportata dalla tranvia (orizzonte 2029)

8. SINTESI E CONCLUSIONI DELLO STUDIO

Il presente studio trasportistico connesso al Progetto di fattibilità tecnico-economica della Linea 1 della tranvia di Pisa (Stazione Centrale-Ospedale Cisanello) è stato sviluppato con riferimento alle indicazioni ed ai contenuti riportati nelle *“Linee Guida per la Valutazione degli Investimenti in Opere Pubbliche”* (allegato A al D.M. 300/2017); in particolare, come richiesto dalle linee guida citate, è stata sviluppata una specifica analisi della domanda attesa sulla linea (con orizzonte temporale base di 10 anni e proiezione ai 10 anni ancora successivi), in ordine alle prevedibili dinamiche evolutive dei fattori demografici, urbanistici e socio-economici locali, nonché alle misure di riassetto del sistema del TPL locale su gomma funzionali a un corretto ed efficace inserimento della nuova linea tranviaria.

Si riassumono di seguito per punti le principali tematiche trattate nello studio:

- **disamina del contesto pianificatorio locale in materia di urbanistica e di mobilità/traffico** in cui si cala il progetto della tranvia. A tale proposito si osserva come il comune di Pisa sia dotato dal 2002 di un Piano Urbano Generale del Traffico Urbano (PGTU), adottato in via definitiva con Delibera del Consiglio Comunale n. 4 del 24-01-2002; lo stesso comune ha inoltre recentemente avviato ed attivato le procedure per la redazione del Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS), a seguito dell'approvazione di un apposito studio propedeutico alla redazione del PUMS Medesimo (cfr. *“Piano strategico-ricognitivo delle azioni-interventi di mobilità sostenibile- Relazione Tecnica”*, approvato con Delibera della Giunta Comunale n. 188 del 09-11-2017);
- **analisi della domanda di mobilità (attuale e di progetto)** nel contesto urbano pisano, con riferimento sia alla componente privata sia al trasporto urbano collettivo. A tale fine sono state tratte dal PGTU sia la zonizzazione di traffico (opportunamente ottimizzata in ragione sia dello scopo specifico del presente studio sia degli sviluppi urbanistici intercorsi dal periodo di redazione del PGTU ad oggi) sia la matrici base origine/destinazione (*matrici O/D*) degli spostamenti nell'ora di punta (AM 08:00-09:00) con mezzo privato e su mezzo pubblico (TPL). Tali matrici base derivate dal PGTU sono state in questa sede sottoposte ad un procedimento di aggiornamento, calibrazione e validazione, anche sulla base di una apposita campagna di indagini e rilevazioni di traffico condotte nel corso nell'ottobre 2019 (periodo di rilievo/indagine 07-10 ottobre 2019).
- **analisi dell'offerta di mobilità (attuale e di progetto)** nel contesto urbano pisano, condotta in un'ottica multimodale (quindi comprensiva di focus specifici su rete stradale, TPL urbano, stazione di Pisa Centrale, aeroporto Galilei, navetta Pisamover per la connessione diretta tra stazione-aeroporto, parcheggi di interscambio);
- **previsione della domanda attesa sulla nuova linea tranviaria** (distinguendone le componenti tendenziali, di diversione modale e indotte, ai sensi delle linee guida ministeriali precedentemente citate), elaborata a valle di una analisi degli scenari futuri, in termini sia di trend evolutivi socio-economici

locali di medio periodo sia di espansioni urbane pianificate o in corso di realizzazione (tra cui, in particolare, quelle previste nell'area di influenza della nuova tranvia, ossia: ampliamento/espansione dell'ospedale Cisanello, progetto di realizzazione dell'Ospedale pediatrico "Stella Maris" in via Bargagna e completamento del complesso residenziale delle torri "Isola Verde" sempre in via Bargagna). Le risultanze dell'analisi della domanda sono riassunte nelle tabelle riportate in precedenza in *FIGURA 37* e *FIGURA 38*; in sintesi, nello scenario di progetto (orizzonte 2029) si attendono mediamente sulla tranvia ~11 100 passeggeri/giorno (corrispondenti a ~3 340 000 passeggeri/anno);

- **analisi dei principali impatti sul sistema della mobilità privata attesi a seguito dell'inserimento del tram**, in termini di decongestionamento delle rete stradale (minori percorrenze veicolari private, riduzione dei tempi di spostamento). I principali effetti attesi in termini di rete complessiva sono riassunti nella tabella riportata in precedenza in *FIGURA 41*. Al riguardo si osserva come il nuovo sistema tranviario sia in particolare destinato a indurre (per effetto del modal split conseguente alla sua stessa introduzione) significative riduzioni dei flussi veicolari privati (mediamente stimate, da modello, tra i -50 e i -100 veicoli totali bidirezionali/ora sulle diverse sezioni stradali interessate) sia lungo tutta la dorsale primaria di connessione tra la zona stazione e il polo Cisanello (via Matteotti-via Matteucci-via Cisanello) sia in corrispondenza delle relative arterie di adduzione (via Padule, direttrice via Nenni-via Landi-via Gobetti, asse via San Pio da Pietralcina-via Manghi) o al contorno (via Bargagna) di quest'ultima.

Lo studio è stato condotto mediante l'ausilio di piattaforma software specialistica TransCad 6.0 della Caliper, specifica per modellazioni e macro-simulazioni di traffico.

ALLEGATO A: IL MODELLO DI TRAFFICO

A.1. MODELLO DI TRAFFICO PRIVATO: PROCEDURE E METODI ADOTTATI

L'offerta di trasporto privato descritta nel capitolo 3 (vedasi in particolare paragrafo "3.B. La rete stradale" è stata ricostruita con riferimento sia alle caratteristiche morfologiche/planimetriche sia a quelle funzionali dei singoli archi (velocità di libero deflusso, capacità, eventuale presenza di regolamentazione della marcia a senso unico, etc.); ciò al fine di definire per ciascun arco i parametri necessari all'applicazione della funzione di costo generalizzato (nel caso specifico costituito dal tempo di percorrenza) prescelta.

Come funzioni di costo (specializzate per ogni singola categoria di strada) sono state adottate le classiche curve di deflusso del tipo Bureau of Public Roads (BPR), definibili attraverso la funzione:

$$t_i = t_{oi} + \alpha \times (1 + (f_i/c_i)^\beta)$$

in cui:

t_i è il costo generalizzato di percorrenza dell'arco i-esimo

t_{oi} è il costo generalizzato di flusso libero dell'arco i-esimo

f_i è il flusso sull'arco i-esimo

c_i è la capacità dell'arco i-esimo

α, β sono coefficienti che dipendono dalla classificazione dell'arco.

La classificazione delle strade ricadenti nell'ambito di studio è stata effettuata individuando le tipologie di strade (a cui sono stati attribuiti gli specifici parametri e fattori di deflusso secondo il BPR), in ordine decrescente di rango (vedi anche Figura A.1):

- FI-PI-LI (strada di grande comunicazione);
- strade primarie-A;
- strade primarie-B;
- strade secondarie-A;
- strade secondarie-B;
- strade locali maggiori;
- strade locali minori;

▪ *strade pedonali.*

La ricostruzione della matrice O/D attuale relativa alla fascia oraria di massima punta (AM 08:00-09:00) è stata effettuata mediante calibrazione e validazione della matrice origine/destinazione degli spostamenti veicolari totali nell'ora di punta (8.00-9.00) del tipico giorno feriale infrasettimanale derivata dal PGTU 2002, sulla base degli specifici dati e rilevazioni di traffico illustrati nel capitolo 4 (vedasi in particolare paragrafo 4.C. “*La domanda attuale di trasporto privata*”) e applicando (tramite piattaforma software specialistica per macrosimulazioni di traffico TransCad 7.0 della Caliper, descritta in un apposito paragrafo in calce al presente ALLEGATO A) la procedura di “*matrix adjustment*” basata sull'algoritmo di Nielsen; quest'ultima metodologia iterativa, attraverso successive procedure di assegnazione, tende in modo progressivo a minimizzare il valore differenziale tra i flussi assegnati dal modello di simulazione e quelli effettivamente conteggiati presso gli archi e/o i nodi di controllo.

Per misurare il livello di rispondenza del modello di assegnazione e della matrice O/D, calibrata come sopra descritto, rispetto ai flussi di traffico effettivamente conteggiati sulla rete presso gli archi di controllo, è stata effettuata una verifica incrociata su tre livelli, secondo i seguenti indicatori:

1. parametro statistico %RMSE (*Relative Root Mean Square Error*), definito come di seguito:

$$\%RMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum (S_i - C_i)^2}{N}}}{(\sum C_i)/N} \times 100$$

dove:

C_i rappresentano i flussi conteggiati presso l'arco i-esimo

S_i rappresentano i flussi assegnati dal modello all'arco i-esimo

N rappresenta il numero totale dei conteggi effettuati;

2. *grafico a dispersione (scatter plot)* di raffronto tra flussi rilevati sul campo e flussi indicati dal modello, con conseguente determinazione del *coefficiente di correlazione R^2* (indice di correlazione di Bravais-Person) quale parametro di misura della rispondenza tra le due variabili (flussi rilevati, flussi stimati da modello);
3. specifico parametro trasportistico GEH per il raffronto statistico tra misure sul campo e stime da modello, così definito:

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M - C)^2}{M + C}}$$

dove:

M rappresenta il valore stimato dal modello

C rappresenta la misura rilevata in sito.

Il parametro, introdotto inizialmente in Gran Bretagna dalla Highways Agency's Design Manual for Roads and Bridges (*DRMB*), ha conosciuto negli anni una crescente diffusione internazionale in ambito specialistico trasportistico. Convenzionalmente, si considera efficace una rispondenza modellistica laddove si verifichi:

- $GEH < 5$ in termini complessivi (raffronto tra montante dei dati stimati da modello e montante dei dati rilevati);
- $GEH < 5$ per almeno l'85% delle singole misurazioni di controllo.

Le assegnazioni di traffico (scenario attuale, scenari di progetto) sono state effettuate tramite piattaforma software specialistica per macrosimulazioni di traffico TransCad 7.0 della Caliper, attraverso l'applicazione di un modello del tipo Users Equilibrium (UE) basato sul principio di ottimo per l'utente (*1° Principio di Wardrop*). La procedura è tesa a raggiungere una situazione di equilibrio in cui, per tutte le relazioni intrazonali tra centroide e centroide, tutti gli itinerari alternativi trovati nell'assegnazione risultano equivalenti sotto il profilo del rispettivo costo generalizzato, a meno di un Δ prefissato in fase di impostazione dei parametri di assegnazione. Il metodo presuppone che il costo generalizzato di percorrenza di ciascun arco di rete sia funzione del carico veicolare che insiste sull'arco stesso, secondo le curve di deflusso del tipo Bureau of Public Roads (BPR) menzionate in precedenza.

La procedura iterativa adottata, durante ogni assegnazione minimizza il costo generalizzato di percorrenza dell'utente; infatti ciascun utente per compiere lo spostamento da una data origine a una data destinazione sceglierà un itinerario tale per cui la somma del costo generalizzato di percorrenza degli archi minimizzi il costo generalizzato complessivo per completare lo spostamento da origine a destinazione. L'equilibrio della rete si considera raggiunto quando il trasferimento dei veicoli da un itinerario all'altro non produce ottimizzazioni, cioè non viene trovato nessun nuovo itinerario con tempi di spostamento più brevi.

Si noti come il metodo dell'Users Equilibrium si basi su un'ipotesi di perfetta conoscenza della rete da parte dell'utente; tale ipotesi, del resto, è in generale assai attendibile nella fascia oraria analizzata (ora di punta AM del tipico giorno ferialo), in cui tra gli spostamenti prevale nettamente la componente sistematica su quella erratica.

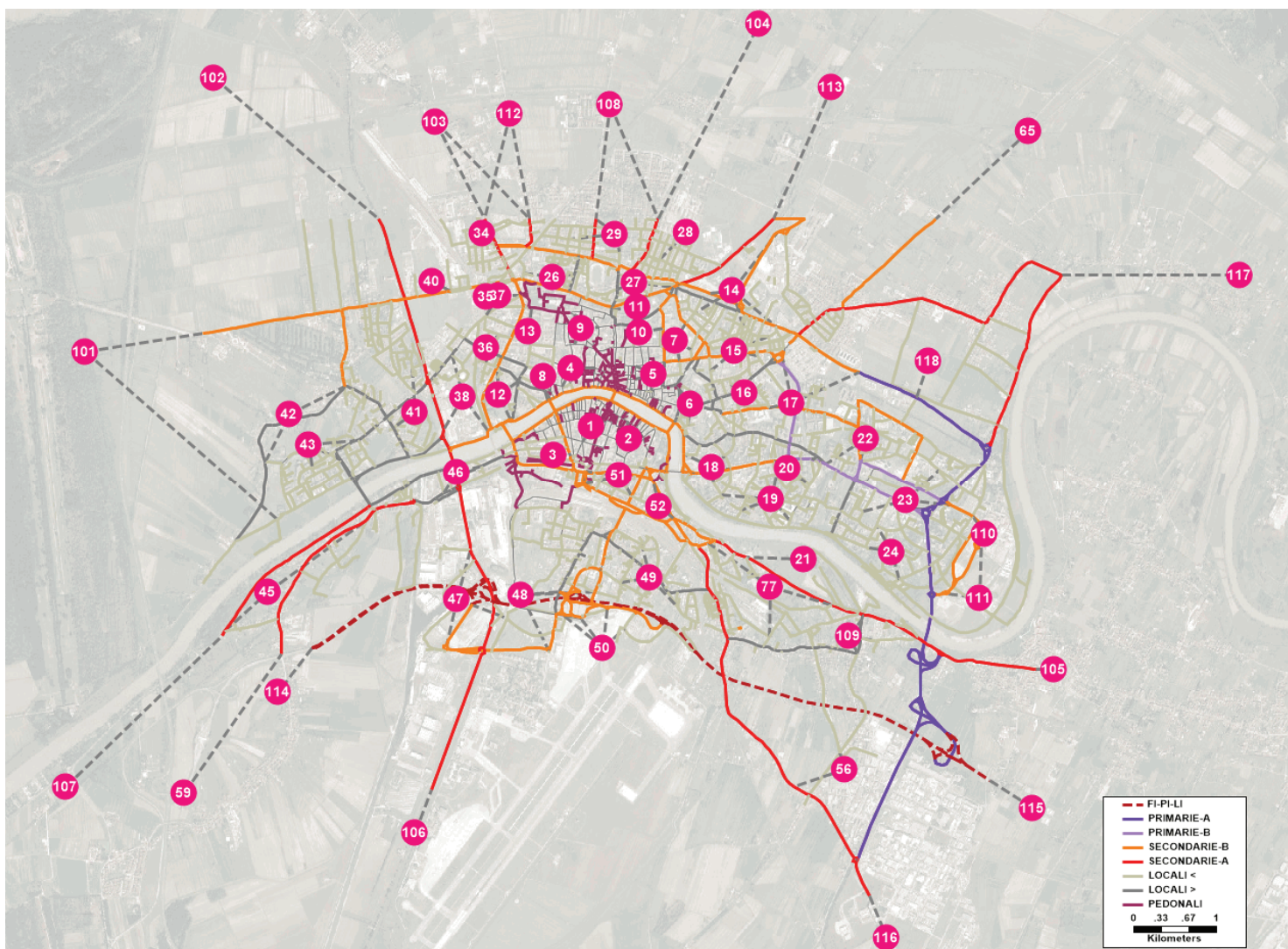


Figura A.1 - Classificazione del grafo stradale considerato

A.2. MODELLO DI TRAFFICO COLLETTIVO (TPL): PROCEDURE E METODI ADOTTATI

L'offerta di trasporto descritta nel capitolo 3 (vedasi in particolare paragrafi "3.C. *La rete del TPL su gomma*" e "3.F. *La connessione diretta stazione-aeroporto/Pisamover*") è stata rappresentata mediante macrosimulatore di traffico (piattaforma software specialistica per macrosimulazioni di traffico TransCad 7.0 della Caliper, descritta in un apposito paragrafo in calce al presente ALLEGATO A) con riferimento sia alle caratteristiche morfologiche/planimetriche dei tracciati delle singole linee sia alla frequenza del servizio delle stesse; in Figura A.2 è riportata la schematizzazione con macrosimulatore della rete del TPL urbano di Pisa.

La ricostruzione della matrice O/D attuale relativa alla fascia oraria di massima punta (AM 08:00-09:00) è stata effettuata mediante calibrazione e validazione della matrice origine/destinazione degli spostamenti su mezzo collettivo (TPL) nell'ora di punta (8.00-9.00) del tipico giorno feriale infrasettimanale derivata dal PGTU 2002, sulla base degli specifici dati e rilevazioni di traffico illustrati nel capitolo 4 (vedasi in particolare paragrafo 4.D. "*La domanda attuale relativa al sistema TPL*") e applicando (tramite macrosimulatore) la procedura di "*matrix adjustment*" basata sull'algoritmo di Nielsen; analogamente a quanto già enunciato per il modello di traffico privato (vedi paragrafo precedente) quest'ultima metodologia iterativa, attraverso successive procedure di assegnazione, tende in modo progressivo a minimizzare il valore differenziale tra i valori di utenza del trasporto collettivo assegnati dal modello di simulazione e quelli effettivamente conteggiati (saliti/discesi presso le diverse fermate e/o passeggeri a bordo lungo prefissate tratte della rete).

La verifica di rispondenza del modello alle indagini di campo è stata condotta con sia riferimento all'utenza complessiva delle singole linee del TPL (unitamente al Pisamover) in fascia oraria di punta AM (08:00-09:00) sia ai saliti/discesi da macro-zone di fermata opportunamente selezionate per ciascuna linea (parametro quest'ultimo di notevole complessità da riprodurre con modello, in quanto implicante complesse dinamiche comportamentali dell'utenza nelle modalità di effettuazione dell'itinerario O/D prefissato e, conseguentemente, degli eventuali necessari cambi di linea); tanto per la verifica in termini di utenza complessiva di ciascuna linea quanto per la verifica relativa alle macro-zone di fermate, sono state incrociate le risultanze dell'analisi di due parametri statistici:

1. *grafico a dispersione (scatter plot)* di raffronto tra flussi rilevati sul campo e flussi indicati dal modello, con conseguente determinazione del *coefficiente di correlazione R^2* (indice di correlazione di Bravais-Person) quale parametro di misura della rispondenza tra le due variabili (flussi rilevati, flussi stimati da modello);
2. specifico parametro trasportistico GEH (già descritto nel paragrafo precedente) per il raffronto statistico tra misure sul campo e stime da modello.

Le assegnazioni di traffico (scenario attuale, scenari di progetto) sono state effettuate tramite piattaforma software specialistica per macrosimulazioni di traffico TransCad 7.0 della Caliper, attraverso l'applicazione di

un modello del tipo *All or Nothing*, in cui il processo decisionale dell'utente in merito all'itinerario scelto per il proprio percorso origine/destinazione è basato sulla minimizzazione del costo generalizzato dello spostamento; quest'ultimo è funzione della tariffa di viaggio e della monetizzazione dei tempi dello spostamento (tempo a bordo del/dei mezzi, tempi di attesa e trasferimento, tempo iniziale di raggiungimento della fermata di partenza, tempo finale di egresso dalla fermata di arrivo sino a destinazione), come risulta evidente dall'analisi della funzione costo generalizzato adottata:

$$c_k = \sum_{l \in L} [\gamma_f f_l + \text{VOT} * (\gamma_w w_l + \gamma_x x_l)] + \sum_{i \in I} [\text{VOT} * (\gamma_d d_i + \gamma_v t_i)] + \sum_{j \in J} [\text{VOT} * (\gamma_k k_j)]$$

dove:

f_l rappresenta la tariffa di viaggio di ogni singola linea l utilizzata

VOT (value of time) rappresenta il valore di monetizzazione del tempo

w_l rappresenta il tempo di attesa di ogni singola linea l utilizzata

x_l rappresenta il perditempo di trasferimento connesso ad ogni singola linea l utilizzata

d_i rappresenta il perditempo connesso alle salite/discese in fermata per ogni singola linea l utilizzata

t_i rappresenta il tempo di viaggio effettivo a bordo su ogni singola linea l utilizzata

k_j rappresenta il tempo dello spostamento j -esimo effettuato non su mezzo collettivo (vedi tempo di spostamento a piedi sino alla fermata)

$\gamma_f, \gamma_w, \gamma_x, \gamma_d, \gamma_v, \gamma_k$ (eventuali) pesi attribuiti ai fattori $f_l, w_l, x_l, d_i, t_i, k_j$ di cui sopra

Il metodo adottato risulta particolarmente adatto a reti di trasporto collettivo di medio rango (e, dunque, relativamente semplici e generalmente non congestionate) come quella di Pisa, in cui l'utenza ha per lo più una chiara visione d'insieme della rete del TPL (in ragione sia delle dimensioni relativamente contenute dell'ambito urbano sia dell'estensione della rete del TPL stesso) ed è dunque in grado di pianificare in fase iniziale il proprio itinerario (in termini di linee da utilizzare e di eventuali interscambi – oltre a eventuali tratti a piedi iniziali e/o intermedi - necessari per completare il percorso origine/destinazione).

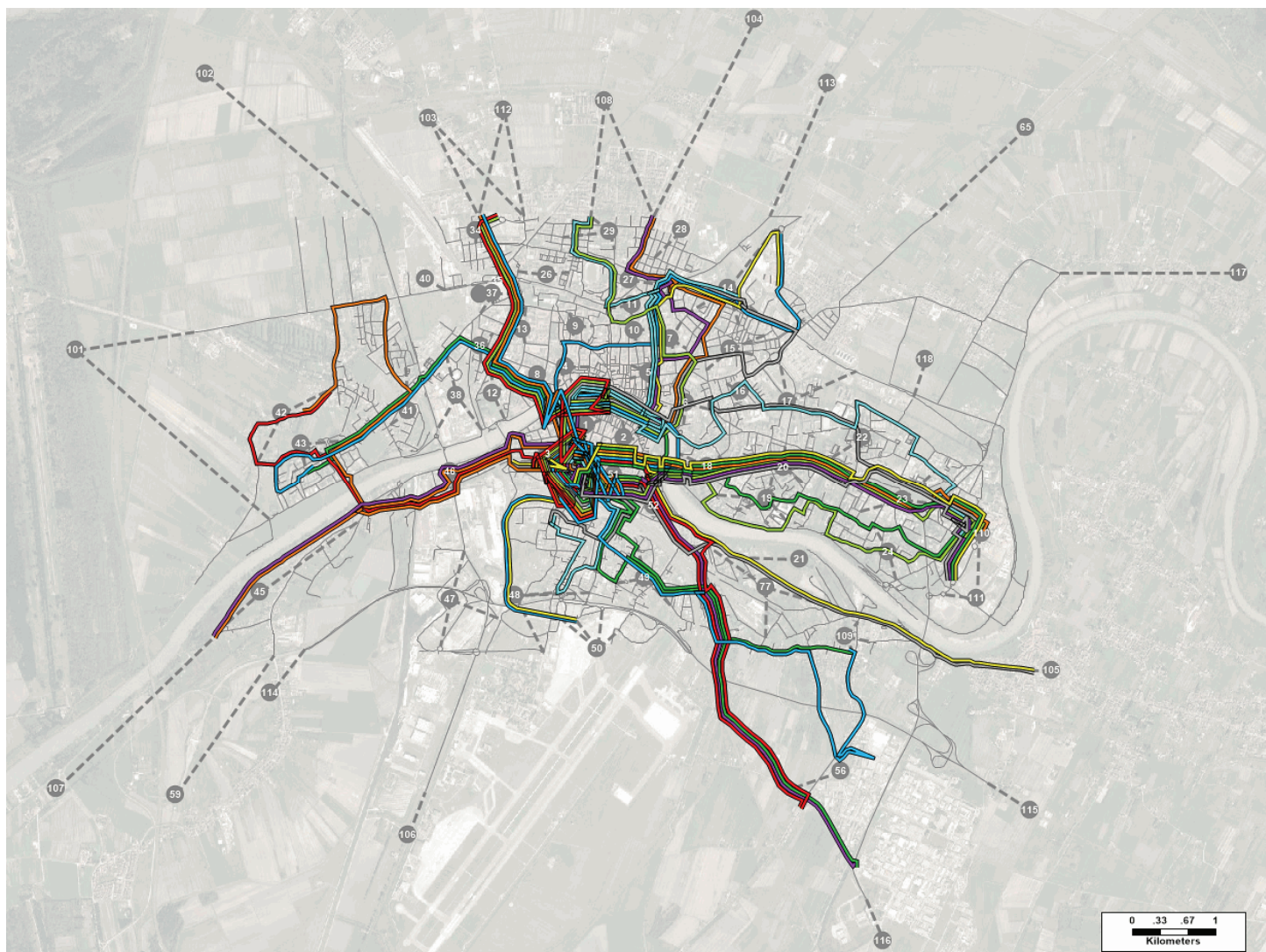


Figura A.2 – Rappresentazione con macrosimulatore della rete TPL

A.3. IL MODELLO DI DIVERSIONE MODALE

Ai fini di determinare e rappresentare le dinamiche di scelta modale alla base degli spostamenti interni all'area di studio (e, in particolare, degli spostamenti interzonalari tra centroidi ricadenti nell'area di influenza della tranvia), è stato implementato, calibrato e validato un apposito "modello logit binomiale" sulla base di un vasto set di interviste raccolte sul campo nell'ambito della già citata campagna di rilievo/indagine in sito condotta tra nel periodo 7-10 ottobre 2019.

COMUNE DI PISA – PISAMO (INDAGINE O/D)													
DATA: _____		INTERVISTATORE: _____											
N°	Ora	Provenienza (comune e via/zona)	Destinazione (comune e via/zona)	Mezzo		Abbonamento		Mezzo per arrivare al bus			Motivo spostamento		
				AUTO	BUS	Y	N	Auto/ moto	Piedi/ bici	altro Bus	LAV	STUD	ALTRO
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													

Figura A.3 – Stralcio della scheda tipo utilizzata per la campagna di interviste

Il modello in questione ha consentito di stimare lo shift ottenibile nello scenario di progetto (con inserimento organico della tranvia nella nuova rete urbano del TPL) tra le modalità di spostamento su mezzo privato e quelle su mezzo pubblico (TPL), in termini probabilistici in base ad una funzione di utilità percepita dall'utenza a seconda dell'opzione considerata e determinata da specifici parametri (per l'opzione mezzo privato: tempo di viaggio su mezzo privato, costo del parcheggio a destinazione, tempo necessario per trovare parcheggio a destinazione; per l'opzione TPL: tempo di viaggio a bordo mezzo, perditempo legato ai tempi di accesso alla fermata di partenza, perditempo legati a trasferimenti/cambi di mezzo, perditempo legato ai tempi di ingresso dalla fermata di arrivo, costo di bigliettazione).

Più nello specifico, con riferimento ai diversi spostamenti origine/destinazione interzonalari, per le singole modalità/opzioni di compimento degli stessi da parte dell'utenza (mezzo privato, TPL) sono stata adottate funzione utilità del tipo:

$$U_{\text{AUTO}} = K_{\text{AUTO}} + T_{\text{AUTO}} \times \beta_{\text{T-AUTO}} + \text{COSTO}_{\text{PARK}} \times \beta_{\text{COSTO-PARK}} + T_{\text{PARK}} \times \beta_{\text{T-PARK}} + \epsilon_{\text{AUTO}}$$

dove:

K_{AUTO} è una costante specifica per la modalità mezzo privato

T_{AUTO} rappresenta il tempo di viaggio tra origine e destinazione su mezzo privato²²

$\beta_{\text{T-AUTO}}$ rappresenta una costante specifica del modello per il fattore tempo di viaggio su mezzo

²² Computato direttamente tramite modello

privato

$COSTO_{PARK}$ rappresenta il costo di generalizzato di parcheggio, determinato dalla combinazione della tariffazione della sosta e della monetizzazione del perditempo medio per la ricerca del parcheggio, caratteristici di ciascuna zona di destinazione dello spostamento su mezzo privato

$\beta_{COSTO-PARK}$ è una costante specifica del modello per il fattore costo generalizzato di parcheggio

ϵ_{AUTO} rappresenta un fattore di errore²³ relativo alla utilità della modalità mezzo privato, che esprime il livello di stocasticità del modello

$$U_{TPL} = T_{TPL} \times \beta_{T-TPL} + COSTO_{TPL} \times \beta_{COSTO-TPL} + \epsilon_{TPL}$$

dove:

T_{TPL} rappresenta il tempo totale di viaggio a bordo del TPL tra origine e destinazione (comprensivo di perditempo connessi al raggiungimento della fermata di partenza, alla attesa iniziale del mezzo, a eventuali trasferimenti/attese per cambi di mezzo intermedi, al raggiungimento della destinazione finale una volta discesi alla fermata di arrivo)²⁴

β_{T-TPL} rappresenta una costante specifica del modello per il fattore tempo di viaggio a bordo del TPL

$COSTO_{TPL}$ rappresenta il costo di viaggio tra origine e destinazione effettuato tramite TPL

$\beta_{COSTO-PARK}$ è una costante specifica del modello per il fattore costo di viaggio su TPL

ϵ_{TPL} rappresenta un fattore di errore²⁵ relativo alla utilità della modalità TPL, che esprime il livello di stocasticità del modello.

Determinato il valore numerico delle funzioni, per ogni spostamento origine/destinazione la probabilità di scelta di ciascuna alternativa modale (mezzo privato, TPL) e, conseguentemente, le relative aliquote di spostamenti su mezzo privato e su TPL, sono definite secondo la formula:

$$P(i) = \frac{e^{V_i}}{\sum_{j \in C} e^{V_j}}$$

dove:

$P(i)$ rappresenta la probabilità di scelta dell'alternativa modale i da parte dell'utente

V_i rappresenta la componente misurabile (ossia al netto del fattore di errore) della utilità dell'alternativa i

C rappresenta l'intero set delle alternative disponibili (nel caso specifico: mezzo privato, TPL).

²³ Gumbel-distributed error term

²⁴ Computato direttamente tramite modello

²⁵ Gumbel-distributed error term

A.4. IL SOFTWARE DI MACROSIMULAZIONE UTILIZZATO: TRANSCAD

Per le macrosimulazioni di traffico con assegnazione dei flussi di domanda addizionali sullo schema di rete (grafo) considerato, si è utilizzato il software TransCad della Caliper, versione 7.0.

TransCad comprende un motore GIS con speciali estensioni rivolte ai trasporti e, in particolare alla gestione delle reti di trasporto, ai dati di domanda (matrici O/D), ai sistemi di itinerari e ai riferimenti lineari.

Per quanto riguarda le reti di trasporto, il programma consente una rappresentazione dettagliata e specializzata delle grafi di rete, attraverso l'attribuzione di specifici attributi quali:

- classificazione degli archi stradali e funzioni di performance;
- tipologia di arco (compresi sovrappassi, sottopassi) e del relativo utilizzo (doppi sensi, sensi unici);
- restrizioni o ritardi per le manovre di svolta;
- attributi delle intersezioni o delle congiunzioni;
- terminali intermodali, stazioni di scambio e funzioni di ritardo;
- archi di accesso, egresso e trasferimento al trasporto pubblico;
- itinerari e sistemi di itinerari;
- connessione dei centroidi.

Attraverso le funzionalità di relative al calcolo matriciale (e, in particolare, alle matrici O/D) TransCad supporta una completa archiviazione e gestione di dati come distanza, tempo di viaggio e flussi veicolari.

Le funzionalità relative ai sistemi di itinerari permettono la rappresentazione e gestione dei percorsi utilizzati dai veicoli (sia autoveicoli che mezzi pubblici, compresa per questi ultimi la localizzazione delle fermate e l'orario dei servizi) e dai pedoni, da un punto ad un altro di una rete.

Attraverso la gestione dei riferimenti lineari, TransCad consente l'identificazione e la localizzazione delle caratteristiche trasportistiche della rete riferite a punti prefissati lungo gli itinerari (capacità infrastrutturale e operativa, localizzazione degli incidenti, condizioni della sede, flussi di traffico sia in termini veicolari che di passeggeri trasportati).

La piattaforma, grazie alle funzionalità sopra descritte, permette di svolgere approfondite analisi di rete; ad esempio può essere individuato il percorso minimo (tragitto più breve, più veloce o a minor costo) tra diverse O/D, anche imponendo il passaggio attraverso predefiniti punti intermedi.

TransCad integra modelli diversi modelli di pianificazione dei trasporti e di analisi della domanda, allo scopo di predisporre attendibili analisi previsionali circa gli spostamenti e l'utilizzo della rete di trasporto (anche in funzione di variazioni dello sviluppo regionale, demografico e dell'offerta).

Tra i modelli disponibili si citano quelli relativi alla ricostruzione della domanda attesa (generazione/produzione, attrazione, bilanciamento, distribuzione, ripartizione modale) e di assegnazione dei flussi sulla rete (traffico privato, trasporto collettivo).

TransCad rende disponibili differenti metodologie di assegnazione del traffico a seconda delle caratteristiche e degli scopi dello studio da intraprendere, con riferimento sia alle assegnazioni del traffico privato sulla rete (metodologie *All or Nothing*, *User Equilibrium*, *Stochastic User Equilibrium*, *Incremental*, *System Optimum*), sia alle assegnazioni relative al trasporto collettivo (metodologie *All or Nothing*, *Pathfinder*, *Stochastic User Equilibrium*, *Optimal Strategies*, *Schedule-Based Assignment*).

TransCad consente di disporre di procedure iterative finalizzate a ricostruire e calibrare le matrici O/D sulla base di conteggi di traffico effettuati sul campo e/o di precedenti (o diverse) assegnazioni di traffico. Ai conteggi e alle assegnazioni di input è possibile attribuire un coefficiente di peso differenziato (a seconda del rispettivo grado di affidabilità/confidenza), mentre il controllo della matrice O/D di output rispetto a quella di partenza (da calibrare) è reso possibile attraverso l'attribuzione di prefissati differenziali incrementali (minimi e massimi).

Sotto il profilo della rappresentazione delle analisi e, in particolare, dell'output dei risultati, TransCad mette a disposizione dell'utente molteplici stili e opzioni (attribuibili ai diversi tematismi) finalizzati anche alla redazione di mappe tematiche di alta qualità. A titolo indicativo, si segnala la specifica rappresentazione dei seguenti attributi e indicatori trasportistici: strade a senso unico, direzione topografica delle strade, etichette di dati (es. flussi per direzione, velocità, capacità) associate direttamente agli oggetti rappresentati, sistemi di itinerari (v. mappe del TPL), linee di desiderio (per evidenziare i flussi di scambio tra zone o regioni di traffico differenti).

ALLEGATO B: PROGRAMMA PRELIMINARE DI ESERCIZIO

B.1. PREMESSA E ASSUNTI DI BASE

Nel presente allegato di riporta il programma di esercizio di massima della linea tranviaria in progetto (da intendersi quale base di lavoro/analisi per i necessari ulteriori approfondimenti di dettaglio da condursi in sede di successivi livelli di definizione progettuale); in particolare, nei paragrafi successivi sono riportati:

- diagramma di marcia;
- cadenzamento orario giornaliero del servizio previsto;
- stima del montante di servizio prodotto.

Gli assunti alla base delle considerazioni e stime effettuate sono riassunti nella tabella di seguito riportata.

VELOCITA' MAX IN LINEA (km/h, m/s)	50	13.9		
ACCELERAZIONE/DECELERAZIONE SERVIZIO (m/s ²)	1			
TEMPO SOSTA/INVERSIONE CAPOLINEA (min, s)	2.5	150 (per singolo capolinea)		
TEMPO MEDIO SOSTA IN FERMATA (s)	17.5 ⁽¹⁾			
PERDITEMPO SEMAFORICI E TRATTE IN PROMISCUO (s)	45	(a forfait, per singola tratta andata/ritorno)		
CAPACITA' VEICOLO (pax totali)	200			
CONSISTENZA PARCO ROTABILI (INCLUSA RISERVA)	8			
ORARIO DI FUNZIONAMENTO	06:00-24:00			
GG/ANNO DI FUNZIONAMENTO	365 ⁽²⁾			
(1) valore medio tra quello per fermate a maggiore (20''-25'') e minore (10''-15'') frequentazione				
(2) si ipotizza servizio continuativo annuo in quanto legato a Polo Ospedaliero e Stazione FS				

B.2. DIAGRAMMA DI MARCIA

	FERMATA PARTENZA	FERMATA ARRIVO	DISTANZA INTERTRATTA (m)	TEMPO INTERTRATTA (sec)
DIREZIONE W-E	Stazione centrale	Francesco Bonaini	441	46
	Francesco Bonaini	Piazza caduti di Cefalonia	523	52
	Piazza caduti di Cefalonia	Giacomo Matteotti	354	39
	Giacomo Matteotti	Carlo Matteucci 1	367	40
	Carlo Matteucci 1	Carlo Matteucci 2	339	38
	Carlo Matteucci 2	Porta a Piagge	332	38
	Porta a Piagge	Parco urbano	315	37
	Parco urbano	Italo Bargagna	475	48
	Italo Bargagna	Martin Lutero	420	44
	Martin Lutero	Ospedale Cisanello	315	37
	Ospedale Cisanello	Kinzica	433	45
DIREZIONE E-W	Kinzica	Ospedale Cisanello	431	45
	Ospedale Cisanello	Martin Lutero	319	37
	Martin Lutero	Italo Bargagna	420	44
	Italo Bargagna	Parco urbano	481	48
	Parco urbano	Porta a Piagge	309	36
	Porta a Piagge	Carlo Matteucci 2	334	38
	Carlo Matteucci 2	Carlo Matteucci 1	340	38
	Carlo Matteucci 1	Giacomo Matteotti	367	40
	Giacomo Matteotti	Piazza caduti di Cefalonia	353	39
	Piazza caduti di Cefalonia	Benedetto Croce	662	62
	Benedetto Croce	Stazione centrale	322	37
		LUNGHEZZA GIRO (m, km)	8652	8.7
		TEMPO DI GIRO (sec, min)	1668	27.8
		VELOCITA' COMMERCIALE TEORICA (km/h)	23.7	
		VELOCITA' COMMERCIALE EFFETTIVA AL PUBBLICO (km/h)	22.2	(inclusi perditempo semaforici e promiscuo)
		VELOCITA' DI ESERCIZIO (km/h)	18.7	(inclusi perditempo semaforici, promiscuo, inversione capolinea)

B.3. CADENZAMENTO ORARIO GIORNALIERO DEL SERVIZIO PREVISTO

Nella tabella successiva è riportato il cadenzamento orario giornaliero del servizio previsto; si osserva in particolare che:

- si prevede (allo stato attuale di approfondimento progettuale) che la linea operi nella fascia oraria 06.00-24.00 (18 ore di funzionamento giornaliero complessivo);
- in ragione delle stime di utenza effettuate, si prevede che la domanda attesa sia di base soddisfacibile attraverso il “servizio ordinario” indicato di seguito in tabella (distinto in servizio ordinario in fascia di punta, in fascia intermedia, in fascia di morbida); il sistema, tuttavia, in virtù della configurazione della linea e del parco rotabili previsto, è in grado di soddisfare occasionali/transitori picchi non ordinari di domanda (fino a soglie ~2400 pphpd²⁶; vedi voce “servizio occasionale in casi di iperpunta” riportata di seguito in tabella).

	cadenzamento (min)	n. rotabili in linea	capacità di trasporto (pphpd)
SERVIZIO ORDINARIO IN FASCIA DI PUNTA (orario: 07:00-10:00; 16:00-19:00)	7	4	1 714
SERVIZIO ORDINARIO IN FASCIA INTERMEDIA (orario: 10:00-16:00; 19:00-21:00)	10	3	1 200
SERVIZIO ORDINARIO IN FASCIA DI MORBIDA (orario: 06:00-07:00; 21:00-24:00)	15	2	800
SERVIZIO OCCASIONALE IN CASI DI IPERPUNTA	5	6	2 400

B.4. STIMA DEL MONTANTE DI SERVIZIO PRODOTTO

Il montante previsionale del servizio prodotto, stimato sulla base del diagramma di marcia e del cadenzamento orario giornaliero del servizio precedentemente illustrati) è riportato nella tabella riepilogativa di cui alla Figura B.1.

²⁶ Passeggeri ora per direzione di marcia



	n. ore/gg	cadenzamento (min)	n. rotabili in linea	passaggi/ora	montante giornaliero servizio prodotto (km vettura)	montante annuo servizio prodotto (km vettura)
FASCE ORARIE DI PUNTA (07:00-10:00; 16:00-19:00)	6	7	4	8.6	445	162 407
FASCE ORARIE INTERMEDIE (10:00-16:00; 19:00-21:00)	8	10	3	6	415	151 580
FASCE ORARIE DI MORBIDA (06:00-07:00; 21:00-24:00)	4	15	2	4	138	50 527
	SERVIZIO TOTALE PRODOTTO				999	364 514

Figura B1 – Stima del montante di servizio prodotto