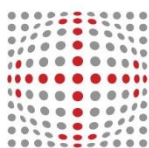




Comune di Pisa



Comune di San Giuliano Terme



PISAMO
AZIENDA PER LA MOBILITÀ SPA

SISTEMA TRANVIARIO DI PISA – LINEA 1 PIAZZA DEI MIRACOLI – OSPEDALE CISANELLO/CNR

STUDI CONOSCITIVI Studio trasportistico Giustificazione trasportistica

	COMUNE DI PISA IL DIRIGENTE Ing. Maurizio Iannotta		PISAMO s.p.a. IL DIRETTORE TECNICO Ing. Alessandro Fiorindi		ARCHITECNA ENGINEERING s.r.l. COORDINATORE DELLA PROGETTAZIONE: Ing. Santi Caminiti
---	--	---	---	---	---

PROGETTISTI			
			

COMMESSA	FASE	CATEGORIA	DISCIPLINA	TIPO	NUMERO	REV.	NOME FILE
T R P I	I M	S T U	T R A	R L	0 0 1	B	TRPI-IM-STU-TRA-RL001-B

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	DIC. 24	PRIMA EMISSIONE	D.DI ANTONIO	D.LUCIA	S.CAMINITI
B	GEN 25	SECONDA EMISSIONE	D.LUCIA	D.MANCUSO	S.CAMINITI
C					
D					

1. Sommario

1. Premessa e sintesi del documento	5
2. Il Contesto di riferimento	6
La città di Pisa	6
L'area di studio.....	7
Quadro normativo	8
Il quadro comunitario.....	8
Il quadro nazionale	10
Quadro programmatico	17
Il Piano Regionale Integrato Infrastrutture e Mobilità – PRIIM	17
Il PUMS di Pisa	18
Inquadramento socioeconomico	23
Popolazione e struttura demografica	23
Addetti e struttura economica	27
Il sistema di offerta	31
Trasporto privato.....	31
Trasporto pubblico	32
Il sistema di domanda	47
Le fonti dati.....	47
Matrice di domanda	49
Principali criticità del sistema di mobilità pisano	49
Trasporto privato.....	49
Trasporto pubblico	52
3. Il progetto della tramvia.....	54
Il tracciato della tramvia	55
4. Il modello di simulazione.....	56
Area di studio e zonizzazione	56
Il modello di offerta	58
Trasporto privato.....	58
Trasporto pubblico	62
Modello di domanda.....	63
Stima della matrice Origine-Destinazione (O/D)	63
Modello di ripartizione modale.....	64
Modello di assegnazione.....	66
Trasporto privato.....	66
Trasporto pubblico	68

Periodo di analisi e coefficienti di espansione	68
Calibrazione e validazione	71
Dati PUMS e monitoraggio ZTL	71
Calibrazione e validazione del modello	72
5. Gli scenari futuri	75
Il sistema di offerta	75
Lo Scenario di Riferimento	75
Lo Scenario di Progetto	76
Interventi sulla rete di trasporto privato	77
Interventi sulla rete di trasporto pubblico	78
Il sistema di domanda	104
Evoluzione demografica	104
Nuovi sviluppi urbanistici	106
6. I risultati	110
Principali risultati	110
Orario grafico del servizio tramviario	111
La stima della domanda giornaliera sul tram	111
Impatto sulla mobilità privata	114
Coerenza con gli obiettivi del PUMS	116
Flussogrammi di rete	117
Saliti e discesi alle fermate del servizio tramviario	123

1. Premessa e sintesi del documento

La presente relazione riguarda lo studio trasportistico del nuovo sistema tranviario di Pisa – Linea 1 “Piazza dei Miracoli – Ospedale Cisanello/CNR”, prevista nei comuni di Pisa e di San Giuliano Terme.

Nell’ambito del Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica, in conformità con le “Linee Guida per la Valutazione degli Investimenti in Opere Pubbliche” (allegato A al D.M. 300/2017), è stata condotta la verifica della domanda prevista sulla linea, mediante lo sviluppo di un’accurata analisi trasportistica che ha tenuto conto dei prevedibili sviluppi demografici, urbanistici e socioeconomici, nonché di idonee revisioni della rete di trasporto pubblico su gomma, tali da conferire al nuovo sistema il ruolo di asse portante del trasporto pubblico nel quadrante d’interesse.

Il presente documento si sviluppa in sei capitoli che descrivono il contesto di riferimento dello studio, le dinamiche di mobilità dell’area di studio e gli sviluppi futuri, la metodologia adottata per l’analisi della domanda della nuova linea e i principali risultati dello studio. In particolare:

- Il Capitolo 2 illustra il contesto di riferimento nel quale si colloca il progetto, dal punto di vista normativo-programmatico, socio-demografico e trasportistico.
- Il Capitolo 3 descrive le caratteristiche del tracciato lungo la direttrice individuata per l’inserimento della nuova linea tramviaria.
- Il Capitolo 4 riassume la metodologia adottata per lo sviluppo del modello di simulazione utilizzato per la valutazione degli effetti generati dall’introduzione della nuova linea.
- Il Capitolo 5 descrive le principali caratteristiche degli scenari futuri in termini di sviluppi demografici, socioeconomici e urbanistici per l’area di studio, nonché tutti gli interventi previsti nello Scenario di Riferimento, sia per la rete di trasporto privato sia per quella del trasporto pubblico, e le valutazioni sulle differenti alternative di tracciato considerate per il nuovo servizio tramviario.
- Il Capitolo 6 riporta tutti i principali risultati ottenuti dall’applicazione del modello di macrosimulazione.

2. Il Contesto di riferimento

La città di Pisa

Il Comune di Pisa, capoluogo dell'omonima provincia, si sviluppa su una superficie di oltre 185 km² nella piana pisana; è posto a nordovest del territorio provinciale ad una quota di circa 4 m s.l.m. Il territorio, totalmente pianeggiante, è attraversato dal fiume Arno e bagnato ad ovest dal Mar Ligure. L'urbanizzazione assume la forma tipica della maggior parte dei comuni italiani, contraddistinta da elevata densità abitativa nel centro storico e lungo le principali vie di accesso/egresso all'abitato.



Figura 2.1 Comune di Pisa all'interno della provincia

Quadro normativo

Nel presente capitolo si descrivono i principali riferimenti normativi che costituiscono la cornice programmatica e pianificatoria nel quale si inserisce la tramvia oggetto del presente studio.

Lo scopo di questa breve rassegna è quello di offrire una visione complessiva e “verticale” dei documenti guida per la redazione del presente studio; la declinazione dell’insieme degli strumenti vigenti alle diverse scale di analisi permette infatti di inquadrare la tramvia, non solo dal punto di vista progettuale e infrastrutturale ma soprattutto in funzione del ruolo affidatole all’interno dell’impianto pianificatorio del sistema di mobilità pisano.

Il quadro comunitario

Di seguito viene circoscritto il quadro europeo, nelle visioni strategiche poste alla guida degli strumenti di norma nazionale, che fungono da catalizzatore e impianto base di processo e programma di adempimento di tali indirizzi sovraordinati. Dal Trattato di riforma fino ai nuovi e ultimi costrutti della resilienza economica, la sostenibilità e la cura dell’ambiente e del territorio sono elementi focali della manovra e dell’azione politica. Il tale contesto, ogni settore del complesso amministrativo viene interconnesso alle responsabilità di salvaguardia, tanto ambientale e sociale quanto economica, fornendo un quadro di insieme che comporta, nei successivi livelli nazionali, la disposizione di determinate architetture e dispositivi in grado di semplificare finalizzare gli obiettivi di regime comunitario.

Sviluppo sostenibile in risposta ai cambiamenti climatici

Gli sforzi comunitari nelle politiche e intenti di sviluppo hanno trovato concretezza nel **Trattato sull’Unione Europea**, detto *Trattato di riforma* sancito a Lisbona il 13 dicembre 2007, ponendo quale ruolo centrale l’istituzione di un mercato interno che operi per lo sviluppo sostenibile dell’Europa e basato, tra l’altro, su una crescita economica equilibrata e un elevato livello di tutela e miglioramento della qualità dell’ambiente (art. 3 comma 3). Anche attraverso la fermezza di questi alti valori, posti come principi cardine, promossi dagli Stati europei, l’Assemblea generale delle Nazioni Unite ha adottato un nuovo quadro di sviluppo sostenibile, l’**Agenda 2030**, definita dall’Organizzazione delle Nazioni Unite come strategia “*per ottenere un futuro migliore e più sostenibile per tutti*”, dettagliatamente articolata nella Risoluzione A/RES/70/1 e ratificata dall’Assemblea Generale dell’ONU il 25 settembre 2015, che stabilisce una serie di obiettivi universali integralmente fondati sul concetto di sviluppo sostenibile, costituendo una base essenziale per ogni successiva azione globale. In continuità con tale quadro di visione, il 5 ottobre 2016, l’**Accordo di Parigi** viene adottato nell’ambito della “Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici” con l’intento di rafforzare ulteriormente la risposta ai cambiamenti climatici, anche orientando i flussi finanziari verso un percorso che conduca a uno sviluppo a basse emissioni di gas a effetto serra e resiliente al clima (art. 2 lett. c) e in tale contesto, il 12 dicembre 2019, il Consiglio europeo ha adottato le **Conclusioni sui cambiamenti climatici (EUCO 29/19)** con l’obiettivo di conseguire la neutralità climatica dell’Unione entro il 2050, in linea con gli impegni dell’Accordo di Parigi, rafforzando così l’impegno verso una transizione ecologica sostenibile e globale.

The European Green Deal, nel settore dei trasporti

Estendendo questa prospettiva al contesto del **Green Deal europeo**, che mira a trasformare l’economia dell’UE in un sistema sostenibile, è opportuno riportare i punti fermi del Regolamento 2020/852 che fornisce gli strumenti per orientare gli investimenti verso progetti che supportano questo obiettivo e il Regolamento 2021/1119, che altresì stabilisce le linee guida e gli obiettivi da raggiungere. Entrambi pongono estrema importanza in una transizione verso una mobilità sostenibile quale tema centrale in entrambe le normative, laddove il Regolamento 2020/852 promuove investimenti in tecnologie e infrastrutture che facilitano questa transizione, il Regolamento 2021/1119 richiede misure

specifiche per ridurre le emissioni nel settore dei trasporti. Nel dettaglio di norma, il **Regolamento del Parlamento Europeo e del Consiglio 18 giugno 2020 n. 852**, noto anche come “*tassonomia*”, istituisce un quadro volto a favorire gli investimenti sostenibili attraverso uno strumento regolatorio che ha come obiettivo principale quello di fornire agli investitori criteri chiari per identificare se un'attività economica possa essere considerata ecosostenibile, rappresentando un passo fondamentale verso l'obiettivo di realizzare un'Unione a impatto climatico zero entro il 2050. Il Regolamento 2020/852 si propone di raggiungere tre obiettivi principali, anche stabilendo specifici criteri di sostenibilità per riorientare i flussi di capitali verso investimenti sostenibili, promuovere una crescita inclusiva e sostenibile e gestire i rischi finanziari associati ai cambiamenti climatici e al degrado ambientale promuovendo trasparenza e una visione a lungo termine nelle decisioni economiche e finanziarie, sottolineando, in tal senso, l'importanza strategica degli investimenti in infrastrutture di trasporto sostenibili, quale elemento che si allinea con i criteri stabiliti dal Regolamento stesso. Il **Regolamento del Parlamento Europeo e del Consiglio 30 giugno 2021 n. 1119** noto anche come “*Legge europea sul clima*”, stabilisce un quadro giuridico per raggiungere la neutralità climatica nell'Unione europea entro il 2050, quale parte integrante della normativa europea sul clima, anche in modifica dei regolamenti precedenti, in particolare il Regolamento (CE) n. 401/2009 e il Regolamento (UE) 2018/1999, che riguarda più specificatamente la governance dell'energia e del clima, integrando ulteriormente le politiche climatiche con quelle energetiche e dei trasporti. Il Regolamento 2021/1119 sottolinea pertanto l'importanza dell'integrazione delle politiche climatiche con quelle dei trasporti, promuovendo soluzioni innovative e sostenibili nel settore quale punto essenziale per garantire che le strategie di mobilità siano allineate con gli obiettivi climatici dell'UE. Nella sua attuazione, incoraggia l'adozione di tecnologie pulite e alternative nei trasporti, come le infrastrutture per la mobilità sostenibile e contribuendo alla transizione verso un'economia a impatto climatico zero, integrandosi pienamente con le altre politiche dell'UE come la **Strategia per una mobilità sostenibile e intelligente (SWD(2020) 331 final)** che mira a trasformare il sistema di trasporto europeo per renderlo più ecologico e resiliente, stabilendo le basi per le politiche future nel settore dei trasporti, allineandosi con gli obiettivi climatici stabiliti e fungendo da guida strategica per orientare le politiche dei trasporti europei verso un futuro più sostenibile, supportando gli obiettivi del Green Deal europeo e contribuendo alla lotta contro i cambiamenti climatici. Nel dettaglio, La SWD(2020) 331 final rappresenta un'analisi chiave condotta dalla Commissione Europea sull'impatto della pandemia di covid-19 sul settore dei trasporti, delineando come la crisi sanitaria abbia inciso profondamente sulle dinamiche di mobilità in Europa, offrendo una prospettiva ampia sulle sfide e al contempo, sulle opportunità di trasformazione che essa ha generato in quanto la pandemia ha portato a un calo senza precedenti nell'attività di trasporto a causa delle restrizioni di viaggio e delle misure di lockdown che hanno causato una drastica riduzione della domanda con impatti immediati e rilevanti sulle entrate del settore e sulle pianificazioni strategiche di servizio. In controbattuta, questa crisi ha anche messo in luce l'urgenza di ripensare i modelli di mobilità urbana e interurbana, ponendo l'accento sull'importanza di investire in soluzioni di trasporto sostenibili come parte integrante della ripresa economica, secondo un'ottica che vede nell'innovazione un pilastro fondamentale per costruire un sistema di trasporti più efficiente e attraente per i cittadini.

Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)

Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) è il documento strategico che il Governo italiano ha predisposto per accedere ai fondi del programma europeo **Next Generation EU (NGEU)**, istituito dal **Regolamento del Parlamento Europeo e del Consiglio 12 febbraio 2021 n. 241**, noto come **Dispositivo per la Ripresa e Resilienza (RRF)**. Il NGEU rappresenta una risposta coordinata e strategica dell'Unione Europea per affrontare le conseguenze economiche e sociali della pandemia, attribuendo priorità alla transizione ecologica, alla digitalizzazione e alla resilienza economica.

Con una dotazione complessiva di **191,5 miliardi di euro**, di cui **68,9 miliardi** in sovvenzioni a fondo perduto, l'Italia è la principale beneficiaria del NGEU, che include strumenti di più breve termine come il **Pacchetto REACT-EU** e il RRF. Il PNRR si articola in **sei Missioni**, 16 Componenti e tre assi strategici

fondamentali condivisi a livello europeo: **digitalizzazione e innovazione, transizione ecologica e inclusione sociale**.

Tra le Missioni del Piano, spiccano la **Missione 2 - Rivoluzione verde e transizione ecologica**, con una dotazione di **59,46 miliardi di euro**, e la **Missione 3 - Infrastrutture per una mobilità sostenibile**, con risorse pari a **25,40 miliardi di euro**. Queste Missioni sono dedicate alla creazione di un sistema di mobilità più efficiente, sostenibile e resiliente, in linea con gli obiettivi dello **European Green Deal** e delle raccomandazioni della **SWD(2020) 331 final**, che sottolineano la necessità di una ripresa economica orientata alla decarbonizzazione e alla riduzione dell'impatto ambientale.

Nell'ambito della **Missione 2**, la **Componente M2C2 - Energia rinnovabile, idrogeno, rete e mobilità sostenibile** include riforme e investimenti a favore della transizione energetica e della mobilità sostenibile. Tra le misure principali spicca lo sviluppo del **trasporto rapido di massa**, un settore fondamentale per migliorare la qualità della vita nelle città italiane e contribuire agli ambiziosi traguardi climatici europei. In particolare, il PNRR prevede:

- La realizzazione di **231 km di nuove infrastrutture** di trasporto pubblico (tra metropolitane, tram, filovie e funivie);
- L'acquisto di veicoli a **emissioni zero** per il trasporto pubblico locale, inclusi autobus e mezzi aeroportuali e antincendio;
- La semplificazione delle autorizzazioni per i progetti di mobilità sostenibile;
- La promozione della concorrenza per le concessioni dei punti di ricarica e per il miglioramento del trasporto pubblico locale e ferroviario regionale.

A tali interventi, che si avvalgono di una dotazione finanziaria complessiva di **3,6 miliardi di euro**, si accompagna l'obiettivo di ridurre del **10% il traffico di auto private**, modernizzando e ampliando le reti di trasporto pubblico nelle aree metropolitane.

La **Missione 3** punta invece a rafforzare le infrastrutture per una mobilità sostenibile attraverso l'estensione della rete ferroviaria ad alta velocità, il potenziamento del trasporto merci con soluzioni intermodali e la digitalizzazione del traffico aereo e dei porti, garantendo l'interoperabilità della **Piattaforma Logistica Nazionale (PLN)**.

Il PNRR non si limita agli investimenti, ma prevede riforme strutturali volte a creare un contesto normativo favorevole alla transizione ecologica e digitale. In tale quadro, il settore dei trasporti emerge come pilastro fondamentale per l'economia europea, non solo per il suo impatto sulla competitività, ma anche per la sua capacità di favorire la resilienza economica e la sostenibilità ambientale.

Il Regolamento UE e il PNRR convergono sulla necessità di promuovere soluzioni di mobilità che riducano l'impatto ambientale e rafforzino la resilienza del sistema di trasporti, garantendo una crescita strutturale a lungo termine. Questo approccio integrato, delineato anche nella **SWD(2020) 331 final**, evidenzia come le politiche di mobilità sostenibile e le iniziative climatiche debbano intrecciarsi per generare effetti strutturali positivi e duraturi, rafforzando l'interconnessione tra investimenti pubblici, riforme normative e obiettivi ambientali.

Il quadro nazionale

Come svolto nella trattazione di rispetto comunitario, in questo particolare sottoparagrafo ci concentriamo su come il contesto nazionale italiano ha tradotto quelle direttive di ordine superiore in dispositivi di supporto, gestione e concretizzazione di tali indirizzi. Dettaglieremo il concetto di "progetto" negli sviluppi del settore degli appalti pubblici e di come questo elementi normativo e

tecnico rappresentino il fondamentale di sostegno allo sviluppo e conduzione dei programmi europei e come il dicastero del governo italiano, competente sulle reti infrastrutturali nazionali a servizio dei mezzi di trasporto e sui trasporti, stabilisca linee guida per la valutazione degli investimenti in opere pubbliche nei settori di competenza e avvisi per la presentazione di istanze per accesso alle risorse destinate.

Connettere l'Italia

Il documento “Connettere l'Italia”, sviluppato dal Ministero dei Trasporti come “Allegato Infrastrutture” al DEF 2017, è stato redatto per promuovere un processo di riforma della pianificazione e della programmazione delle infrastrutture in Italia, partendo dalla definizione degli obiettivi, delle strategie e delle linee d'Azione e proseguendo nelle riforme strutturali del settore, attraverso la realizzazione delle politiche necessarie all'implementazione della Visione del Sistema dei Trasporti e delle Infrastrutture al 2030.

Obiettivi

Il nuovo approccio alla politica infrastrutturale del MIT, che promuove le infrastrutture come mezzo per connettere il Paese e per incentivare lo sviluppo economico, è espresso dai seguenti 4 obiettivi:

- **Accessibilità ai territori, all'Europa e al Mediterraneo**, per permettere la nascita di nuove opportunità economiche per il nostro Paese in termini di interscambio commerciale e che si traduce in un insieme di azioni per il miglioramento dei collegamenti marittimi e aerei verso i paesi dell'area mediterranea e nella realizzazione di corridoi e reti europee, come il TEN-T.
- **Qualità della vita e competitività delle aree urbane**, ovvero potenziare ed integrare i sistemi di trasporto di trasporto pubblico locale e nazionale, facendo perno su sistemi di trasporto rapido di massa (metropolitane e tram), mobilità ciclo-pedonale e i servizi di mobilità condivisa (es. car-sharing e bike-sharing) in quanto le città e le aree metropolitane sono il principale driver delle economie nazionali e rappresentano quindi i nodi della rete infrastrutturale che attraggono maggiore domanda.
- **Sostegno alle politiche industriali di filiera**, sia in termini di accessibilità dei poli manifatturieri e di turismo, sia come stimolo all'innovazione tecnologica e alla competitività interna delle filiere produttive connesse al settore dei trasporti.
- **Mobilità sostenibile e sicura**, in termini di sostenibilità economica (interventi utili ed efficienti dal punto di vista del consumo di risorse economiche e ambientali), sostenibilità ambientale (interventi che permettano una riduzione dell'inquinamento, la tutela della biodiversità e del paesaggio e l'efficientamento energetico) e sostenibilità sociale (infrastrutture per riconnettere le periferie delle città e le aree marginali del Paese).

Strategie principali

L'impianto disegnato dal MIT per il raggiungimento degli obiettivi e dei target individuati si fonda su 4 strategie recanti ciascuna azioni concrete, che si caratterizzano per essere trasversali rispetto agli obiettivi ed alle modalità di trasporto:

- **Infrastrutture utili, snelle e condivise**, tramite la definizione di un migliore processo di pianificazione, programmazione, valutazione, progettazione e revisione delle nuove opere infrastrutturali.
- **Integrazione modale e intermodalità**, mediante l'incentivazione di misure ad hoc mirate all'incremento dell'offerta e della qualità dei servizi, sia per la modalità ferroviaria che marittima e aerea.

- **Valorizzazione del patrimonio infrastrutturale esistente**, che si traduce nelle priorità accordata agli obiettivi di sicurezza, qualità ed efficientamento delle infrastrutture, assicurando continuità ai programmi manutentivi del patrimonio infrastrutturale esistente.
- **Sviluppo urbano sostenibile**, con progetti che rilanciano la centralità delle Città metropolitane, in cui si prevedono interventi in continuità con i grandi investimenti avviati negli ultimi anni su infrastrutture e sistemi di trasporto rapido di massa. Con i Piani Urbani di Mobilità Sostenibile si promuove l'intermodalità, lo sviluppo di sistemi di controllo e informazione, la mobilità ciclo-pedonale e la sharing mobility, tramite azioni indirizzate ad uno sviluppo equilibrato e sostenibile e ad una coesione sociale quali:
 - Cura del ferro nelle aree urbane e metropolitane;
 - Accessibilità alle aree urbane e metropolitane;
 - Qualità ed efficienza del Trasporto Pubblico Locale;
 - Sostenibilità del trasporto urbano;
 - Tecnologie per città intelligenti;
 - Politiche abitative nazionali.

Il Piano Metro per le aree metropolitane

Il Piano Metro per le aree metropolitane fa parte delle riforme, riguardanti la mobilità, avvenute negli ultimi anni; nel Piano sono stati individuati numerosi interventi prioritari necessari al completamento di alcune infrastrutture di trasporto ferroviario urbano, sia metropolitano che tramviario. I progetti, in uno stato di realizzazione avanzato e coerenti con le strategie definite in modo unitario su scala nazionale, si pongono l'obiettivo di ridurre il gap infrastrutturale rispetto alla media europea e di creare nuovi collegamenti d'interscambio per favorire la sinergia tra le diverse componenti del sistema metropolitano.

A tal proposito è stato avviato un programma volto ad integrare le reti esistenti su ferro con le modalità su gomma in un'ottica di creare un sistema di trasporto collettivo nelle città metropolitane. L'obiettivo del progetto è di coordinare le fasi di programmazione e progettazione delle reti su ferro nelle Aree vaste metropolitane per garantire la migliore integrazione tra reti ferroviarie di competenza RFI e di competenza regionale e reti metropolitane e tramviarie, nonché tra reti su ferro e sistemi di trasporto su gomma suburbani e interurbani.

Il progetto richiede lo stanziamento di ingenti risorse per completare gli interventi in corso, avviare la progettazione di fattibilità di interventi di completamento delle reti metropolitane, da finanziare successivamente, sulla base dei criteri di priorità stabiliti durante la redazione dei PUMS.

Sistemi di trasporto rapido di massa per le aree metropolitane

All'interno delle varie linee di azione individuate per il perseguimento degli obiettivi e per l'attuazione della Visione al 2030, il documento individua lo sviluppo dei sistemi integrati su ferro (Sistemi Ferroviari Metropolitani, metropolitane, tram e altri sistemi in sede propria) da definire nell'ambito della redazione dei PUMS; in particolare, i focus riguardano quattro tematiche specifiche:

- Rinnovo e miglioramento del parco veicolare;
- Potenziamento e valorizzazione delle linee ferroviarie, metropolitane e tramviarie esistenti;
- Completamento delle linee ferroviarie, metropolitane e tramviarie;
- Estensione della rete di trasporto rapido di massa.

Come accennato in precedenza, in materia di Pianificazione territoriale, il documento persegue la sostenibilità economica, sociale e ambientale nella definizione delle trasformazioni urbanistiche, prevedendo che la città esistente e futura sia organizzata in prossimità dei principali sistemi di

trasporto pubblico contrastando la dispersione insediativa. È quindi necessario che le città si sviluppino secondo il concetto di città compatta, garantendo efficienza, velocità e comodità del trasporto pubblico, soprattutto nelle aree più densamente abitate.

A tale scopo, le Città metropolitane e i Comuni possono accedere ai finanziamenti per la realizzazione di nuovi interventi per il trasporto rapido di massa (SFM, Metro e Tram), presentando tre strumenti amministrativi, sulla base dei quali sono oggetto di valutazione da parte del MIT:

- Piani Urbani della Mobilità Sostenibile (PUMS), contenenti sia i progetti invarianti (opere già finanziate dal ministero) sia i nuovi progetti ancora da finanziare;
- Progetti di fattibilità, elaborati valutando e confrontando diverse alternative progettuali attraverso indicatori sintetici;
- Rapporto di Coerenza dei progetti presentati con i 4 obiettivi di Connettere l'Italia.

La Progettazione delle Opere Pubbliche e il PFTE

La normativa sul **Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica (PFTE)** è strettamente legata agli sviluppi del quadro legislativo in materia di appalti pubblici in Italia. Un passaggio cruciale è rappresentato dal **D.P.R. 5 ottobre 2010, n. 207**, regolamento di attuazione del **D.Lgs. 12 aprile 2006, n. 163** (Codice dei Contratti Pubblici). Questo decreto ha segnato un passo importante verso la razionalizzazione e trasparenza della progettazione e realizzazione delle opere pubbliche, introducendo una struttura più chiara per la pianificazione dei progetti.

Prima del 2010, il sistema era frammentato e inefficace, con normative poco definite che portavano a ritardi e inefficienze. Il D.P.R. 207/2010 ha affrontato queste criticità articolando la progettazione in tre livelli: **preliminare, definitivo ed esecutivo**. Sebbene questa suddivisione garantisse una pianificazione dettagliata, comportava anche un eccesso di documentazione e lunghi tempi di approvazione.

La Riforma del 2016 e l'Introduzione del PFTE

Con il **D.Lgs. 18 aprile 2016, n. 50**, il settore dei contratti pubblici ha subito una profonda riforma, in linea con le direttive europee del 2014. Questo decreto ha introdotto il **Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica (PFTE)** come primo livello di progettazione, sostituendo il progetto preliminare. Il PFTE è stato concepito come uno strumento strategico per integrare valutazioni tecniche, economiche e ambientali, migliorando l'efficacia decisionale delle stazioni appaltanti.

Il PFTE ha posto maggiore enfasi sulla **sostenibilità ambientale e l'efficienza energetica**, promuovendo un approccio responsabile e consapevole che considera l'impatto dell'opera sul lungo termine. Questo strumento si è rivelato centrale anche per garantire che la progettazione tenesse conto delle esigenze della comunità, dell'ambiente e delle sfide economiche.

Il Contesto del PNRR e la Semplificazione Normativa

L'adozione del **Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)**, in risposta alla crisi pandemica, ha ulteriormente evidenziato l'importanza del PFTE. Il **D.L. 31 maggio 2021, n. 77** ha semplificato e accelerato le procedure per l'attuazione degli interventi previsti dal Piano, elevando il PFTE a strumento cardine per gestire i fondi europei.

In questo contesto, il PFTE non è più solo un documento tecnico, ma una guida strategica per la progettazione responsabile, in grado di integrare sostenibilità e innovazione fin dalle fasi iniziali. Aspetti come l'analisi della sostenibilità energetica, l'economia circolare e la scelta dei materiali sono diventati centrali.

Il Nuovo Codice degli Appalti (2023)

Con l'introduzione del **D.Lgs. 31 marzo 2023, n. 36**, il PFTE è stato ulteriormente rafforzato. Il nuovo codice ha semplificato le procedure, riducendo i livelli di progettazione da tre a due: il **PFTE** e il **progetto esecutivo**. Questa scelta mira a ottimizzare i tempi e ridurre la burocrazia, garantendo un iter più snello e funzionale.

Il PFTE rappresenta ora la base della progettazione, includendo analisi tecniche, economiche e ambientali, un cronoprogramma dettagliato e un piano di sicurezza per i cantieri. Il secondo livello, il progetto esecutivo, fornisce invece i dettagli operativi necessari per l'avvio e la realizzazione delle opere.

Innovazione e Digitalizzazione

Un aspetto fondamentale del nuovo codice è l'impegno verso la digitalizzazione, con l'adozione di strumenti come il **Building Information Modeling (BIM)**. Queste tecnologie migliorano la trasparenza e l'efficienza dei processi progettuali, contribuendo a una gestione integrata e moderna delle opere pubbliche.

Le linee guida per la valutazione degli investimenti in opere pubbliche

Il **Decreto Legislativo 29 dicembre 2011, n. 228** in materia di valutazione degli investimenti relativi ad opere pubbliche, in correlato disposto al **Decreto Legislativo 29 dicembre 2011, n. 229** in materia di procedure di monitoraggio sullo stato di attuazione delle opere pubbliche, stabilisce un percorso coordinato per la pianificazione, valutazione e monitoraggio delle opere pubbliche promosso nell'intento di incrementare l'efficienza della spesa in conto capitale e nel dettaglio dell'art. 8¹ individua nei Ministeri, ognuno nei settori di propria competenza, l'organo atto alla predisposizione di "*Linee guida per la valutazione degli investimenti in opere pubbliche*" finalizzate alla redazione del "Documento Pluriennale di Pianificazione", quale strumento istruttorio definito all'art. 2 e concepito per migliorare la qualità della programmazione e ottimizzare la distribuzione delle risorse di bilancio, integrando e armonizzando tutti i piani e i programmi d'investimento per opere pubbliche di competenza.

In forza e attuazione dei superiori dispositivi normativi, anche ai fini della redazione del Documento Pluriennale di Pianificazione, come previsto dal D.Lgs. 228 del 2011 e conformemente a quanto indicato nel DPCM 3 agosto 2012, il **16 giugno 2017**, attraverso il **Decreto Ministeriale n. 300**, redatto dalla Direzione Generale per lo sviluppo del territorio, la programmazione ed i progetti internazionali e del Nucleo di Valutazione e Verifica degli Investimenti Pubblici (NVVIP), vengono adottate le "*Linee guida per la valutazione degli investimenti in opere pubbliche nei settori di competenza del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti*", di stretto rilievo e specifico riferimento agli interventi nel settore delle infrastrutture di trasporto (stradali, aeroportuali, ferroviarie, marittime lacuali e fluviali, trasporto urbano, trasporti multimodali e altre modalità), mentre rispetto gli altri settori di competenza giurisdizione del MIT, queste linee guida offrono un orientamento generale. Determinato l'ambito di applicabilità e i sotto-settori di interesse al dettame, le linee guida inquadrano gli aspetti di valutazione ex-ante dei fabbisogni di infrastrutture e delle singole opere, declinandone aspetti di inquadramento metodologico e di identificazione e analisi degli scenari, di analisi trasportistica, nonché di stima dei costi e tempi di realizzazione fino alla definizione di analisi costi-benefici, in coerenza con le previsioni del DPCM 3 agosto 2012 e in qualità di principale metodologia per la valutazione degli investimenti pubblici. Le linee guida nel concreto, definiscono indicatori relativi ai criteri di selezione delle opere e i criteri e le procedure per la valutazione ex ante dei fabbisogni infrastrutturali delle singole opere, nonché per la selezione degli interventi da includere nel Documento Pluriennale di Pianificazione e imponendosi pertanto, non come un mero adempimento amministrativo, ma come elemento d'opera

¹ D.Lgs. 228/2011

che abilita un nuovo approccio alla programmazione infrastrutturale, incentrato sulla valutazione rigorosa degli investimenti pubblici. Il MIT è stato il primo ministero ad emanare le proprie linee guida, che si applicheranno a tutti gli interventi inclusi nel Documento Pluriennale di Pianificazione, ovvero alle infrastrutture e agli insediamenti prioritari per il Paese, comprese le opere incluse nei contratti di programma ANAS S.p.A. ed RFI S.p.A., i “Patti” firmati, le opere con finanziamenti a valere sul FSC (Fondo di Sviluppo e Coesione) e i piani e programmi pluriennali. Il documento programmatico, che descrive le scelte del Governo in materia di infrastrutture e mobilità, introduce una serie di innovazioni rispetto al passato, oltre a riportare un’analisi di contesto e definire le opere prioritarie per lo sviluppo del Paese, anche anticipando la strategia di lungo periodo del Piano generale dei trasporti e della logistica (PGTL) e del Documento pluriennale di pianificazione (DPP), per la prima volta alimenta un processo di pianificazione integrata delle infrastrutture e della mobilità basato su riforme, connessione, sicurezza, equità e sostenibilità.

L’incorrere di ingenti risorse nella pianificazione nazionale, non da ultimo attraverso il “Dispositivo per la Ripresa e Resilienza”, istituito con Regolamento UE 12 febbraio 2021 n. 241 del Parlamento Europeo e del Consiglio, ha fatto incombere la necessità di declinare l’importante lavoro istruttorio di carattere generale riguardante il settore delle infrastrutture di trasporto del D.M 300 del 2017, fornendo delle precisazioni metodologiche e operative relativamente ai singoli e specifici sotto-settori di competenza ministeriale. In tale visione di operatività di dettaglio con **Decreto Ministeriale 7 dicembre 2021 n. 496** venivano adottate le *“Linee guida operative per la valutazione degli investimenti in opere pubbliche – settore ferroviario”* che rappresentano il punto di riferimento metodologico per la definizione delle analisi di valutazione ex ante dei progetti del settore ferroviario a partire da quelli inclusi nell’allegato 10 “Studi di fattibilità in corso” del Contratto di Programma RFI – parte investimenti 2017 – 2021 (Delibera del CIPESS n. 45/2021), nonché dai nuovi interventi che saranno inseriti nel Contratto di Programma RFI – parte investimenti 2022 – 2026, così come disposto all’art. 2 del citato Decreto 496/2021.

Alle stesse ragioni, a specifica degli ulteriori sotto-settori di responsabilità del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, con **Decreto attuativo del 21 ottobre 2022**, venivano adottate le *“Linee guida operative per la valutazione degli investimenti – settore trasporto rapido di massa”*, che rappresentano il punto di riferimento metodologico per la definizione delle analisi di valutazione ex-ante ed ex-post dei progetti relativi al settore del trasporto rapido di massa rientranti nella competenza del Ministero delle infrastrutture e delle mobilità sostenibili, sviluppate in risposta alla necessità di garantire una valutazione omogenea e comparabile delle proposte da parte degli uffici ministeriali competenti, facilitando così l’accesso ai fondi pubblici destinati a interventi infrastrutturali, nell’intento di standardizzare le procedure di presentazione delle istanze di finanziamento per progetti di trasporto pubblico, ai fini del riparto delle risorse del Fondo Investimenti destinate al settore del Trasporto Rapido di Massa. Tale costrutto nasce da una contingenza di contesto in cui, la necessità di modernizzare le infrastrutture di trasporto, è diventata sempre più urgente, soprattutto alla luce degli obiettivi di sostenibilità e delle sfide attuative della mobilità urbana, quale settore caratterizzato da una varietà di progetti e tecnologia di interventi, per la creazione di un approccio uniforme capace di consentire una valutazione più coerente e comparabile delle proposte sottoposte all’organo di validazione. Un tale processo così disposto, non solo facilita il lavoro degli uffici ministeriali competenti, ma aumenta la trasparenza e l’affidabilità del processo decisionale, promuovendo la sostenibilità come criterio fondamentale nella valutazione degli investimenti in richiamo alle strategie di visione del quadro comunitario del paragrafo 0, imponendo che i progetti presentati non solo siano tecnicamente validi, ma che contribuiscano anche agli obiettivi strategici della politica dei trasporti, implicando una valutazione approfondita anche degli impatti ambientali ed economici, così garantendo che gli investimenti siano allineati con le esigenze della comunità e con le sfide globali legate al cambiamento climatico. Il settore di riferimento ministeriale del trasporto rapido di massa comprende sistemi come

metropolitane, tranvie, filovie e sistemi assimilabili², nonché tutti i sistemi ad impianti fissi anche di tipo innovativo che mantengano il requisito di TRM, per fornire un servizio efficiente e sostenibile nelle aree urbane e periurbane, contribuendo a migliorare la mobilità e a ridurre il traffico stradale. Le linee guida maggiormente definiscono chiaramente quali sistemi di trasporto sono ammissibili a valutazione e quali interventi possono essere finanziati attraverso un approccio che assicura che gli investimenti siano diretti verso progetti che hanno il potenziale di generare benefici significativi per la collettività e in tal senso, le linee guida operative per la valutazione degli investimenti per il settore del trasporto rapido di massa non sono solo un documento di azione normativa ma appresentano un impegno concreto verso una mobilità più sostenibile e integrata nel contesto urbano.

Gli Avvisi per la presentazione di istanze TRM

Per l'accesso alle risorse programmate dagli investimenti di settore, la Direzione Generale per il Trasporto Pubblico Locale e Regionale e la Mobilità Pubblica Sostenibile del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, ha pubblicato sul sito internet dell'Amministrazione due successivi "Avvisi" per la presentazione di istanze di cui il primo con scadenza al 31 dicembre 2018 ed il secondo con scadenza al 15 gennaio 2021. Le Sezioni d'indice delle "Linee guida operative – TRM" sono state redatte sulla base degli "Addendum" all'"AVVISO n.2 per la presentazione di istanze per accesso alle risorse destinate al trasporto rapido di massa ad impianti fissi", prot. n. 466 del 4 febbraio 2020, riguardanti argomenti di carattere amministrativo-procedimentale (analisi della documentazione da presentare a corredo dell'istanza di finanziamento, criteri che gli interventi devono rispettare per poter essere ritenuti ammissibili a valutazione, disposizioni transitorie, ecc.), nonché le indicazioni metodologiche per la redazione della documentazione al fine di standardizzare le analisi della mobilità urbana e l'Analisi Costi-Benefici (ACB) e Costi-Efficacia (ACE).

Inoltre, ai fini della programmazione delle risorse da destinare al settore del trasporto rapido di massa, come da "**AVVISO n. 3 per la presentazione di istanze ai fini della programmazione degli interventi finanziabili dallo Stato in via ordinaria nel settore del Trasporto Rapido di Massa**" del 9 febbraio 2024, il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti comunica che ai sensi delle "Linee Guida Operative per la valutazione degli investimenti - settore Trasporto Rapido di Massa - TRM", entro la data del 31 gennaio 2025, come prorogato attraverso Comunicato n. 3 del 13 settembre 2024, le Amministrazioni interessate a proporre interventi al finanziamento dovranno presentare alla Direzione Generale per il Trasporto Pubblico Locale la relativa istanza, corredata della documentazione di cui alla Sez. A – punto 2 delle Linee guida, in funzione del sottoprogramma di intervento.

A corollario di quadro normativo di riferimento alla programmazione e progettazione del **Corridoio Piazza dei Miracoli-Ospedale Cisanello/CNR**, visto anche le intenzioni dell'Ente promotore Comune di Pisa di partecipare con il presente progetto all'"AVVISO n. 3 per la presentazione di istanze ai fini della programmazione degli interventi finanziabili dallo Stato in via ordinaria nel settore del Trasporto Rapido di Massa" promosso dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, nelle seguenti analisi di traffico e studio trasportistico di PFTE, si farà fede a quanto disciplinato dal Decreto attuativo del 21 ottobre 2022, di "Linee guida operative per la valutazione degli investimenti – settore trasporto rapido di massa".

² Le linee guida specificatamente dettagliano che per "sistemi filoviari (e assimilabili)" si intenderanno tutti i sistemi eserciti con veicoli su gomma a trazione elettrica che si alimentano/ricaricano lungo la via di corsa con sistemi di alimentazione continui (es.: linea aerea tradizionale) o discreti (es.: postazioni di ricarica)

Quadro programmatico

Il Piano Regionale Integrato Infrastrutture e Mobilità - PRIIM

Il PRIIM è lo strumento principale per la pianificazione dei trasporti e delle infrastrutture della Regione Toscana. Istituito dalla legge regionale n. 55 del 2011, si propone di integrare le politiche infrastrutturali e di mobilità sostenibile, allineandosi agli obiettivi europei e nazionali per la qualità ambientale e l'efficienza dei trasporti.

Tra gli Obiettivi Generali del PRIIM si evidenziano:

1. **Affidabilità e Sicurezza:** Aumentare l'efficienza e la sicurezza del sistema di trasporto pubblico e ridurre il ricorso al mezzo privato, soprattutto nei centri urbani, migliorando la qualità dell'aria e diminuendo l'inquinamento acustico.
2. **Sostenibilità Ambientale:** Promuovere il trasporto pubblico e ridurre le emissioni tramite l'incentivazione della mobilità elettrica, ciclabile e a basso impatto ambientale.
3. **Accessibilità e Inclusività:** Garantire l'accesso ai servizi di mobilità per tutte le fasce della popolazione, incluse quelle a ridotta capacità motoria, attraverso soluzioni intermodali integrate.

Il PRIIM riconosce come strategico lo sviluppo di sistemi tranviari per il trasporto rapido di massa nell'area metropolitana fiorentina. Il piano includeva:

1. **Rete tranviaria di Firenze:** l'espansione della rete tranviaria fiorentina è una priorità, con il completamento delle linee 2 e 3, l'avvio della linea 4 e la prosecuzione verso Bagno a Ripoli. Questo ampliamento mira a sottrarre all'uso dell'auto circa 14,5 milioni di passeggeri all'anno
2. **People Mover a Pisa:** la costruzione di un sistema di collegamento automatizzato tra l'Aeroporto G. Galilei e la stazione ferroviaria Pisa Centrale, che faciliterà l'integrazione tra trasporto ferroviario e aeroportuale, contribuendo a ridurre l'uso del trasporto privato e a migliorare l'accessibilità
3. **Mobilità Urbana e Trasporto Locale:** Tra le azioni per la mobilità urbana sostenibile, il PRIIM promuove:
 - **Integrazione Modale Gomma-Ferro:** Il piano enfatizza il ruolo della rete ferroviaria come asse principale dei trasporti extraurbani, con servizi su gomma a supporto, per ridurre la congestione nei centri urbani e incrementare l'efficienza del sistema pubblico
 - **Intermodalità e Hub:** Creazione di hub intermodali nelle principali stazioni per facilitare l'interscambio tra diversi mezzi di trasporto, oltre a interventi su parcheggi scambiatori e strutture per la sosta e la ricarica di mezzi elettrici

Il PRIIM allinea inoltre le proprie azioni agli obiettivi del Piano Ambientale Energetico Regionale (PAER), tra cui:

- **Promozione della Mobilità Ciclabile e Elettrica:** Incentivi per piani di mobilità ciclabile e stazioni di ricarica per veicoli elettrici nei centri urbani;
- **Zone a Velocità Ridotta:** Creazione di "zone 30" per ridurre l'incidentalità e promuovere la sicurezza stradale

Il PUMS di Pisa

Il Piano Urbano della Mobilità Sostenibile della città di Pisa è stato approvato con Delibera di Consiglio Comunale n. 19 dell'11.05.2021 e costituisce lo strumento principe per l'indirizzo e la programmazione dello sviluppo urbano dal punto di vista della mobilità in tutte le sue forme e sfaccettature. Non contiene solamente riferimenti ad opere ed infrastrutture viarie, bensì individua un nuovo paradigma che metta al centro le persone e la loro interazione con lo spazio urbano. Promuovendo le modalità di fruizione della città più sostenibili si pone l'accento sui temi dell'accessibilità e della vivibilità mettendo in primo piano pedoni e ciclisti.

Il PUMS si basa su 14 Macroobiettivi definiti dal D.M. n.397 del 4/8/17 (vedi Tabella 2.1) e, a partire da questi, sviluppa gli obiettivi specifici (Tabella 2.2), le linee di azione e i target da perseguire nell'orizzonte temporale di 10 anni.

MACROBIETTIVI
Miglioramento del TPL
Riequilibrio modale della mobilità
Riduzione della congestione
Miglioramento della accessibilità di persone e merci
Miglioramento dell'integrazione tra lo sviluppo del sistema della mobilità e l'assetto e lo sviluppo del territorio (insediamenti residenziali e previsioni urbanistiche di poli attrattori commerciali, culturali, turistici)
Miglioramento della qualità dello spazio stradale e urbano
Riduzione del consumo di carburanti tradizionali diversi dai combustibili alternativi
Miglioramento della qualità dell'aria
Riduzione dell'inquinamento acustico
Diminuzione sensibile del numero generale degli incidenti con morti e feriti
Miglioramento della inclusione sociale
Riduzione dei costi della mobilità (connessi alla necessità di usare il veicolo privato)
Aumento del tasso di occupazione
Aumento della soddisfazione della cittadinanza

Tabella 2.1 Macroobiettivi del PUMS di Pisa

OBIETTIVI SPECIFICI	SUB-OBIETTIVI
Migliorare l'attrattività del Trasporto Pubblico Locale Collettivo - TPL	A1.1 Risolvere criticità offerta attuale
	A1.2 Aumentare interconnessione con altre modalità di trasporto
	A1.3 Aumentare la distribuzione geografica dell'offerta di Trasporto Pubblico
	A1.4 Diminuire il costo per l'utente del TPL (premi/sconti)
	A1.5 Aumentare l'utilizzo degli scuolabus
	A1.6 Aumentare la velocità commerciale del TPL

OBIETTIVI SPECIFICI	SUB-OBIETTIVI
	A1.7 Monitorare e incrementare il grado di saturazione dei parcheggi di scambio (per fascia oraria)
	A1.8 Incrementare il Load Factor del TPL per fasce orarie
Migliorare le performance economiche del TPL	-
Migliorare l'attrattività del trasporto condiviso – sharing mobility	B1.1 Sviluppare il servizio di car-sharing elettrico cittadino
	B1.2 Incrementare l'utilizzo del car-pooling
Migliorare l'attrattività del trasporto ciclopedonale	B2.1 Completare la rete ciclabile
	B2.2 Incentivare la pedo-ciclabilità casa-scuola
	B2.3 Incentivare la pedo-ciclabilità casa-lavoro
	B.2.4 Incentivare il bike-sharing
	B.2.5 Incrementare il noleggio bici
	B.2.6 Sviluppare servizi di micro-mobilità
Aumentare il livello di servizio della viabilità esistente	-
Ridurre la sosta irregolare	-
Efficientare la logistica urbana	Diminuire le percorrenze dei veicoli commerciali leggeri
	Efficientare le operazioni di carico/scarico
	Aumentare la disponibilità di stalli di sosta carico-scarico
Aumentare le alternative di scelta modale per icittadini	-
Migliorare le performance energetiche del parco veicolare merci e passeggeri	-
Promuovere l'introduzione di mezzi a basso impatto ambientale	-
Incrementare spazi verdi	-
Garantire l'accessibilità alle persone a mobilità ridotta	-
Garantire la mobilità alle persone a basso reddito	-
Garantire la mobilità alle persone anziane	-

Tabella 2.2 Obiettivi specifici e Sub-obiettivi del PUMS di Pisa

Le linee di azione su cui il Piano pone attenzione sono 9 e si articolano come segue.

- Accessibilità della città. Si pone enfasi agli utenti più deboli della strada e si incentiva all'adozione dei Piani per l'Eliminazione delle Barriere Architettoniche;
- Biciclette e pedoni. Si pone l'accento sulla presenza e sulla qualità delle infrastrutture e dei servizi a supporto di pedoni e ciclisti, proponendo l'utilizzo di strade scolastiche;
- Politiche per la sosta – parcheggi. Si propone una riorganizzazione del sistema della sosta, in coordinamento con le ZTL, promuovendo la presenza di parcheggi scambiatori e tariffe specifiche per disincentivare l'utilizzo delle autovetture private nelle aree centrali della città;
- Traffico veicolare. Si propone un sistema di controllo per l'ingresso ai veicoli in città e si incentivano i sistemi di carpooling e carsharing;
- Trasporto pubblico locale. Si propone la riprogettazione e razionalizzazione del servizio autobus per un servizio più rapido ed efficiente;
- Zone a traffico limitato [ZTL], zone a traffico controllato [ZTC], parcheggi intelligenti, nuove tecnologie. Si apre all'utilizzo di tecnologie che consentano una gestione più interattiva e intelligente delle azioni legate a sosta e accesso alla città;
- Logistica delle merci. In coordinamento con le politiche di regolazione dell'accesso in città da parte dei veicoli privati, si mira a ottimizzare il servizio di trasporto delle merci, promuovendo modalità sostenibili per gli ultimi chilometri;
- Litorale. Si propone un nuovo piano complessivo di utilizzo del litorale Pisano, ponendo attenzione al trasporto pubblico e alle politiche di sosta, in luce delle dinamiche stagionali presenti;
- Navigabilità dell'Arno. Si dà il via all'elaborazione e la gestione di un progetto che consenta la realizzazione delle infrastrutture necessarie alla navigabilità del Fiume per una sua connessione con il porto di Livorno.



Macro Azione	Scheda Attività	Azione
1. Azioni di Mobility Management Aziendale e Scolastico	1.1	Raccolta dati spostamenti casa-lavoro e sviluppo di un sistema di analisi
	1.2	Raccolta e analisi dati degli studenti degli istituti scolastici superiori
	1.3	Definizione e sviluppo di un'applicazione di car-pooling
	1.4	Sviluppo ed applicazione prototipale del dispositivo 'Nybro'
	1.5	Premialità con buoni mobilità
2. Azioni sulla Mobilità Ciclo-Pedonale	2.1	Completamento della rete delle piste ciclabili
	2.2	Riqualificazione del manto stradale dei percorsi ciclopeditoni
	2.3	Incremento delle stazioni di bike-sharing con relative biciclette
	2.4	Realizzazione di parcheggi protetti per bici
	2.5	Implementazione di percorsi pedibus e bicibus
	2.6	Sviluppo di un'app per la gestione dei servizi Pedibus
	2.7	Realizzazione di percorsi protetti
	2.8	Introduzione di sistemi di Cargo-Bike elettrico in noleggio
	2.9	Implementazione di un sistema di E-bike Sharing
	2.10	Implementazione di sistemi di micro-mobilità in sharing
	2.11	Incremento e miglioramento delle rastrelliere
	2.12	Introduzione di sensi unici eccetto bici
	2.13	Introduzione delle 'case avanzate' per ciclisti
3. Azioni sul Trasporto Pubblico Locale	3.1	Implementazione di una linea tramviaria
	3.2	Sviluppo di una rete urbana TPL d'area vasta
	3.3	Progetto di trasporto a chiamata
4. Azioni per l'Intermodalità e Accessibilità	4.1	Monitoraggio dei livelli di occupazione nei parcheggi scambiatori
	4.2	Incentivi a Park&Ride o Park&Bike
	4.3	Sviluppo della ZTL in area Stadio
	4.4	Creazione di Zone 30 nell'area di Riglione
	4.5	Progetti di chiusura temporanea della viabilità vicino agli istituti scolastici
5. Azioni Integrate Turismo-Trasporti	5.1	Azioni per un turismo sostenibile e suo monitoraggio
	5.2	Azioni per mobilità in aree marginali urbane e/o borghi isolati
6. Azioni di Informazione	5.3	Creazione di itinerari turistici sostenibili e leggibili sul territorio
7. Azioni sulla Logistica Urbana	6.1	Sviluppo di una piattaforma per integrare i dati di mobilità
	7.1	Accessibilità ZTL a onerosità incrementale
8. Azioni di Riqualificazione Ambientale	7.2	Regolamentazione della logistica in ZTL

Tabella 2.3 Riepilogo delle azioni del PUMS di Pisa (focus sulla 3.1)

Con il primo monitoraggio del PUMS, adottato il 12 novembre 2024, il tracciato è stato aggiornato per rispondere a esigenze sopravvenute e obiettivi strategici più ampi. Questo aggiornamento ha comportato una modifica migliorativa al tracciato originario della linea 1, ampliandolo con due nuovi tratti:

- **Un'estensione occidentale verso Piazza Manin**, a ridosso di Piazza dei Miracoli, per intercettare la rilevante domanda turistica generata da uno dei principali poli attrattori della città.
- **Una diramazione orientale verso San Giuliano Terme**, con collegamenti alle nuove sedi universitarie, al CNR e ad aree caratterizzate da un'elevata concentrazione di domanda potenziale, considerando anche le previsioni di sviluppo urbanistico.



Figura 2.4 Estratto cartografico dalla relazione di monitoraggio del PUMS di Pisa (2024)
(Figura 3.3.9 – Planimetria ultima versione percorso approvato tramvia)

Questi aggiornamenti, riportati nella **Relazione Generale del Primo Monitoraggio del PUMS – 2024**, sono visibili nella Figura 2.4 , che riproduce la **Figura 3.3.9 – Planimetria ultima versione del percorso approvato tramvia**, contenuta nel report ufficiale di monitoraggio.

Inquadramento socioeconomico

Al fine di ricostruire in modo esaustivo le principali dinamiche del sistema di mobilità del territorio oggetto dell'analisi, nei paragrafi seguenti sono descritti i principali indicatori demografici e socioeconomici, relativi all'area di studio.

Il sistema territoriale di riferimento per l'analisi demografica ed economica è quello descritto al paragrafo L'area di studio). Le informazioni di seguito riportate si riferiscono agli ultimi censimenti della popolazione e dell'industria di ISTAT; nello specifico l'anno di riferimento per il censimento dell'Industria e dunque per le informazioni su unità locali, addetti e attività per settore economico è il 2011; per quanto ai dati demografici sono disponibili dati più recenti fino al 2021.

Popolazione e struttura demografica

Nella Tabella 2.4 sono riportati i valori registrati in occasione delle rilevazioni censuarie decennali condotte dall'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT) per alcune grandezze demografiche nell'ambito preso a riferimento per questa analisi e negli aggregati territoriali sovraordinati (Regione Toscana, Provincia di Pisa, Comune di Pisa, Comune di Fiumicino e l'area di studio).

Dal 2018 il dato ufficiale è quello del censimento permanente della popolazione, un nuovo metodo censuario che, con cadenza annuale, elabora in combinazione rilevazioni campionarie e dati provenienti da fonte amministrativa. Il dato, per l'anno 2021, è rielaborato e fornito con disaggregazione di dettaglio a livello di cella censuaria, consentendo di mantenere la cadenza decennale tra i dati analizzati.

		Regione Toscana	Provincia di Pisa	Comune di Pisa	Comune di Cascina	Comune di S. Giuliano Terme	Area di studio	
Censimenti decennali	1991	Residenti	3.529.946	385.285	98.928	36.301	28.188	136.712
		Famiglie	1.265.971	136.137	38.124	12.433	9.546	49.801
		Famiglia media	2,79	2,83	2,59	2,92	2,95	2,75
		Età media	41,8	41,4	42,0	41,2	40,68	41,5
		Indice vecchiaia	158,4	148,8	172,9	142,1	131,08	154,8
		Indice dipendenza	46,8	46,7	44,7	45,4	42,51	44,8
	2001	Residenti	3.497.806	384.555	89.694	38.359	30.392	180.866
		Famiglie	1.388.260	150.259	39.330	14.400	11.184	73.641
		Famiglia media	2,52	2,56	2,28	2,66	2,72	2,46
		Età media	44,0	43,4	44,7	43,0	42,83	43,9
		Indice vecchiaia	192,3	182,7	231,3	167,0	156,38	198,0
		Indice dipendenza	51,9	49,9	49,5	48,2	46,65	49,1
	2011	Residenti	3.672.202	411.190	85.858	43.833	31.103	187.738
		Famiglie	1.569.378	173.144	41.228	17.250	12.747	82.367
		Famiglia media	2,34	2,37	2,08	2,54	2,44	2,28
		Età media	44,8	44,2	45,8	43,3	44,79	44,7
		Indice vecchiaia	187,3	175,6	230,4	152,3	181,30	192,1
		Indice dipendenza	58,1	56,2	59,2	54,3	57,64	57,2
Censimento permanente	2021	Residenti	3.663.191	417.041	89.002	44.865	30.836	193.259
		Famiglie	1.662.574	187.299	46.631	18.836	13.497	91.274
		Famiglia media	2,20	2,23	1,91	2,38	2,28	2,12
		Età media	46,4	45,7	46,3	45,2	46,84	45,8
		Indice vecchiaia	219,9	200,5	239,3	178,2	230,43	209,5
		Indice dipendenza	61,1	59,7	58,7	59,2	61,84	59,3

Tabella 2.4 Popolazione nell'area di studio e nelle aggregazioni sovraordinate (ISTAT)

Dal punto di vista della consistenza della popolazione residente:

- Si osserva una lieve crescita demografica nei vari territori di riferimento, ad eccezione del comune di Pisa in calo e l'area di studio che mostra valori marcatamente positivi;
- Il comune di Pisa registra un calo demografico tra il 1991 e il 2021 del 10%, sebbene nell'ultimo decennio intercensuario registri una lieve ripresa;
- L'area di studio è l'aggregazione territoriale che mostra le variazioni maggiori sulla popolazione residente con una crescita del 40% in 30 anni, quasi tutta concentrata nella prima decade;
- Coerentemente al trend nazionale, il numero di famiglie è costantemente cresciuto nelle aggregazioni spaziali analizzate, con una correlata diminuzione della consistenza media della famiglia, scesa da valori prossimi ai tre componenti per nucleo, sino ad appena due componenti per nucleo censiti al 2021;

- Per quanto riguarda età media, indice di vecchiaia e di dipendenza si osserva un andamento crescente costante in termini di crescita con valori assoluti simili;
- L'età media ha continuato anch'essa a crescere in maniera costante aumentando di circa 4,5 anni tra il 1991 e il 2021 per ciascuna zona considerata.

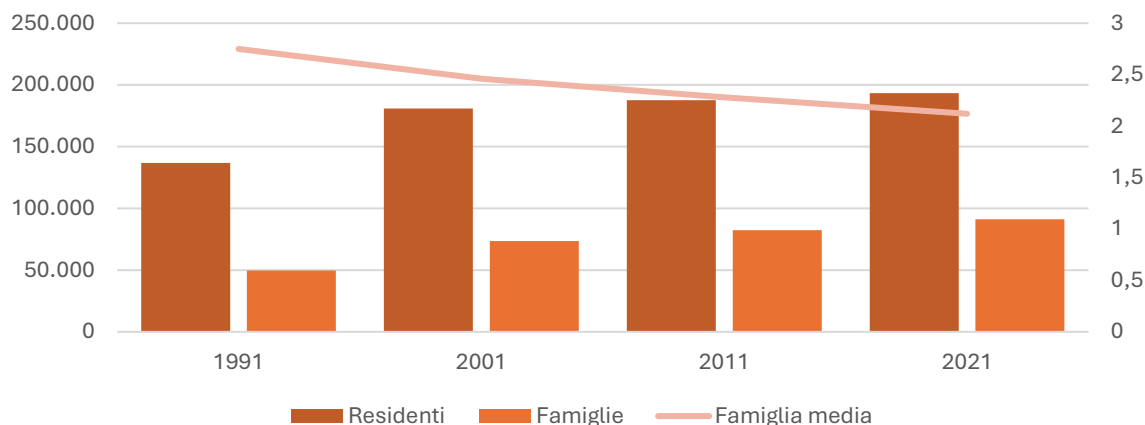


Figura 2.5 Andamento della composizione dei nuclei famigliari rispetto al numero di famiglie e residenti nell'area di studio

Il fenomeno cui assistiamo nell'area di studio, mostrato nel grafico precedente, è di una **crescita considerevole dei valori dei residenti e delle famiglie**, contro una costante riduzione della dimensione del nucleo familiare (Figura 2.5 Andamento della composizione dei nuclei famigliari rispetto al numero di famiglie e residenti nell'area di studio).

Da un punto di vista geografico, si osserva una concentrazione prevalente della popolazione residente nella città di Pisa e lungo l'asse ovest-est della SS67 attorno a cui gravitano i centri abitati principali. Fatta eccezione per le circoscritte aree di Marina di Pisa, Tirrenia e San Giuliano Terme, la restante porzione del territorio mostra densità residenziali molto basse tipiche del tessuto agricolo.

La rilevazione ISTAT del 2021, graficizzata nella Figura 2.6, restituisce di fatto un quadro in cui le più significative concentrazioni di popolazione si trovano nelle zone urbanizzate di Pisa, Cascina e Pontedera con un valore massimo di circa 35.000 abitanti per Km².

Nel complesso, la densità insediativa media è nell'ordine dei 500 residenti/km², un valore superiore al dato complessivo provinciale (circa 170 residenti/km²).

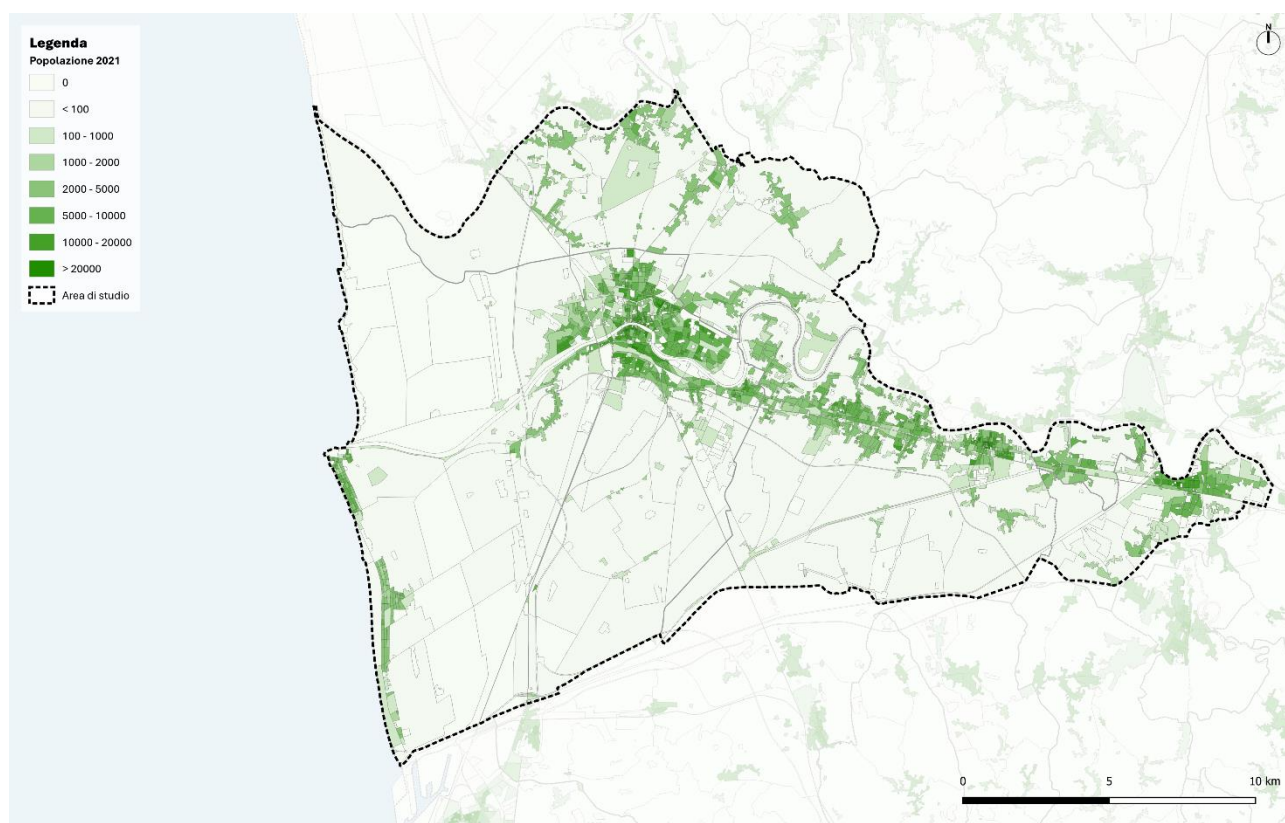


Figura 2.6 La densità della popolazione nell'ambito di riferimento nel 2021 (ISTAT)

Analizzando il contesto demografico del territorio pisano, non si può fare a meno di dedicare un approfondimento al **fenomeno universitario**. In qualità di città universitaria, Pisa conta un costante afflusso di studenti che non figurano pienamente all'interno delle analisi demografiche, pertanto risulta importante considerarne i numeri, specialmente in ottica degli spostamenti ad essi legati.

Nel territorio pisano sono presenti tre differenti università: l'Università di Pisa (Pubblica), la Scuola Universitaria Superiore Pisa Sant'Anna (privata) e la Scuola Normale superiore di Pisa (privata). Di queste, la componente più rilevante in termini numerici è l'Università di Pisa che nell'anno 2022/2023 ha raccolto all'incirca **46.000 studenti** tra corsi di Laurea e corsi post-laurea³, contro i circa 500 della Scuola Superiore Sant'Anna e dei circa 300 della Scuola Normale Superiore.

Il fenomeno universitario costituisce una realtà ben consolidata nel panorama pisano e i dati storici relativi agli studenti immatricolati mostrano una certa stabilità. Osservando i valori degli atenei tra il 2009 e il 2023, si rileva un andamento costante che ha mantenuto il numero di studenti intorno tra le 45.000 e le 46.000 unità⁴.

Osservando la distribuzione spaziale delle sedi all'interno del territorio (Figura 2.7), si evidenzia la maggior concentrazione all'interno del centro storico del capoluogo, fatta eccezione per la sede di Clinica Veterinaria dell'Università di Pisa, situata a sud ovest rispetto all'aeroporto, nei pressi di San Piero a Grado. Si sottolinea la presenza di un **importante area studentesca ad est del centro compatto di Pisa tra le aree di Pisanova e Ghezzano**. In quest'area sono presenti sia dipartimenti

³ Fonte USTAT. [USTAT - Esplora i dati \(mur.gov.it\)](https://www.istat.it/it/ustat)

⁴ Fonte: Servizi Statistici UNIFI. UNIPISTAT 2009-2023

universitari, residenze per studenti ed il **CNR**. Inoltre, risulta in realizzazione il nuovo Polo Scientifico della Scuola Sant’Anna presso via Barchet.

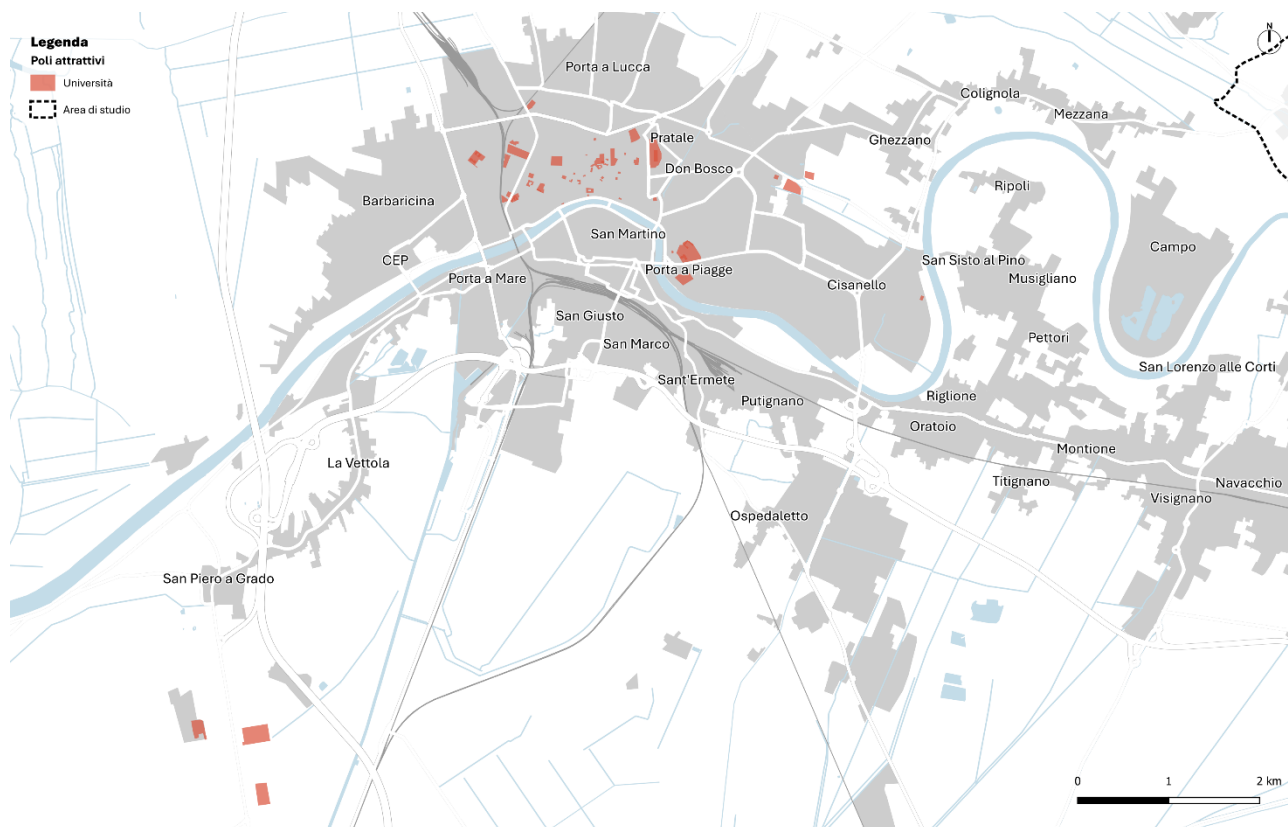


Figura 2.7 Collocazione delle sedi universitarie all’interno dell’area di studio

Addetti e struttura economica

La dinamica occupazionale nell’area di studio e nelle aggregazioni territoriali sovraordinate è illustrata nelle successive Tabella 2.5 e Figura 2.8 che riporta il numero di **addetti occupati nei diversi settori**, mentre nella Figura 2.9 è mostrata la loro distribuzione nell’area di studio in termini di densità locale.

Per quanto riguarda la forza lavoro i dati ISTAT più recenti disponibili con il dettaglio geografico desiderato si fermano al 2011, pertanto vengono qui proposte le ultime 3 rilevazioni censuarie decennali. Per completare ed aggiornare i dati si evidenzia in seguito la visualizzazione geografica delle aree commerciali ed industriali presenti nell’area di studio.

		Regione Toscana	Provincia di Pisa	Comune di Pisa	Comune di Cascina	Comune di S. Giuliano Terme	Area di studio
Censimenti ISTAT	1991	Agricoltura	53.591	4.262	762	286	1.182
		Industria	371.797	43.676	5.634	1.617	12.039
		Costruzione	96.258	9.789	2.781	644	2.975
		Commercio	273.025	25.384	8.923	1.442	8.541
		Trasporti e servizi	510.930	57.743	27.026	3.377	27.285
		Totali	1.305.601	140.854	45.126	7.366	52.022
	2001	Agricoltura	43.477	5.310	575	241	1.505
		Industria	326.115	69.646	6.995	1.199	15.759
		Costruzione	113.606	18.324	2.145	1.060	5.109
		Commercio	255.360	36.393	6.183	1.591	11.971
		Trasporti e servizi	475.926	75.471	24.525	3.079	34.264
		Totali	1.214.484	205.144	40.423	7.170	68.608
	2011	Agricoltura	53.941	3.247	134	318	847
		Industria	261.031	32.845	4.219	923	11.798
		Costruzioni	111.758	12.638	2.559	1.290	5.634
		Commercio	408.906	41.826	13.228	3.208	23.667
		Trasporti e servizi	543.917	65.025	31.465	5.800	46.010
		Totali	1.379.553	155.581	51.605	11.539	87.955

Tabella 2.5 La forza lavoro occupata nell'ambito di riferimento e nelle aggregazioni sovraordinate (ISTAT)

Osservando i dati complessivi dell'occupazione si legge una certa disomogeneità nei fenomeni di crescita e decrescita sia per le diverse aggregazioni spaziali sia nei vari settori economici.

In particolare, si evidenzia che:

- Agricoltura e industria sono settori in decrescita nel ventennio a tutte le scale spaziali considerate. L'industria ha subito un calo maggiore rispetto all'agricoltura soprattutto a livello regionale dove il valore al 1991 è pressoché invariato rispetto a quello del 2011. L'unica eccezione è il caso del comune di Cascina che riscontra una ripresa del settore primario;
- Il comuni di Pisa e San Giuliano Terme sono i territori che maggiormente hanno subito il calo del settore primario, arrivando a contare rispettivamente 134 e 41 addetti al 2011;
- Il commercio è il settore maggiormente in crescita ai vari livelli territoriali, con una leggera deflessione del comun di Pisa nei primi dieci anni analizzati e l'area di studio che duplica ampiamente il numero degli impiegati nel 2011;
- Il settore dei servizi, complessivamente in crescita, è quello che riporta il maggior numero di addetti. Nel 2011, nel Comune di Pisa e nell'area di studio il numero di addetti impiegati nel terziario è pari rispettivamente al 61 e 52% degli addetti totali;
- La crescita degli addetti totali nell'area di studio mostra un costante +30%;
- I settori che occupano la fetta maggiore dei lavoratori sono il commercio, i trasporti e i servizi con un totale di circa l'87% per il comune di Pisa.

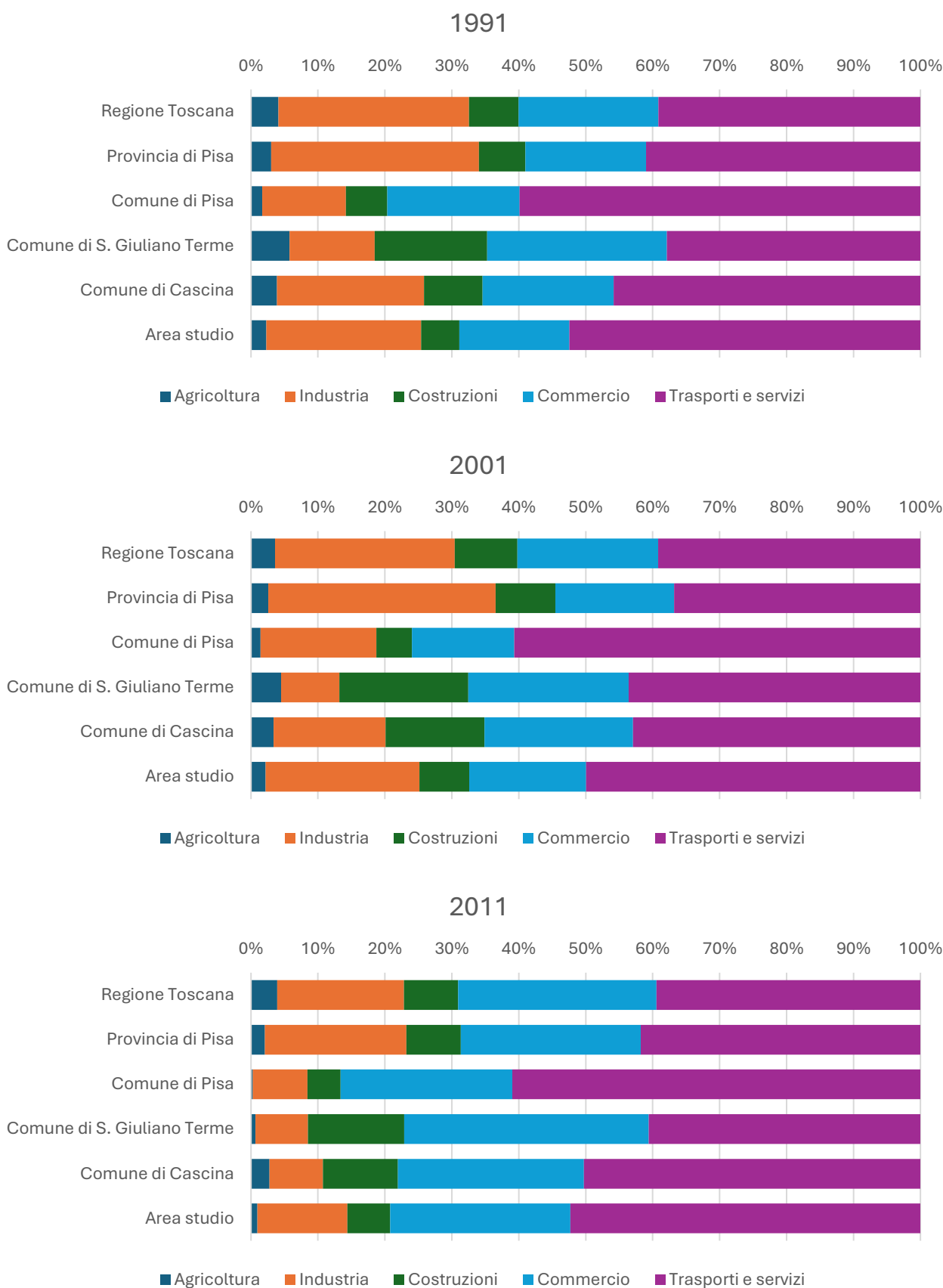


Figura 2.8 Ripartizione della forza lavoro nei vari settori per l'area di studio e le aggregazioni sovraordinate (ISTAT)

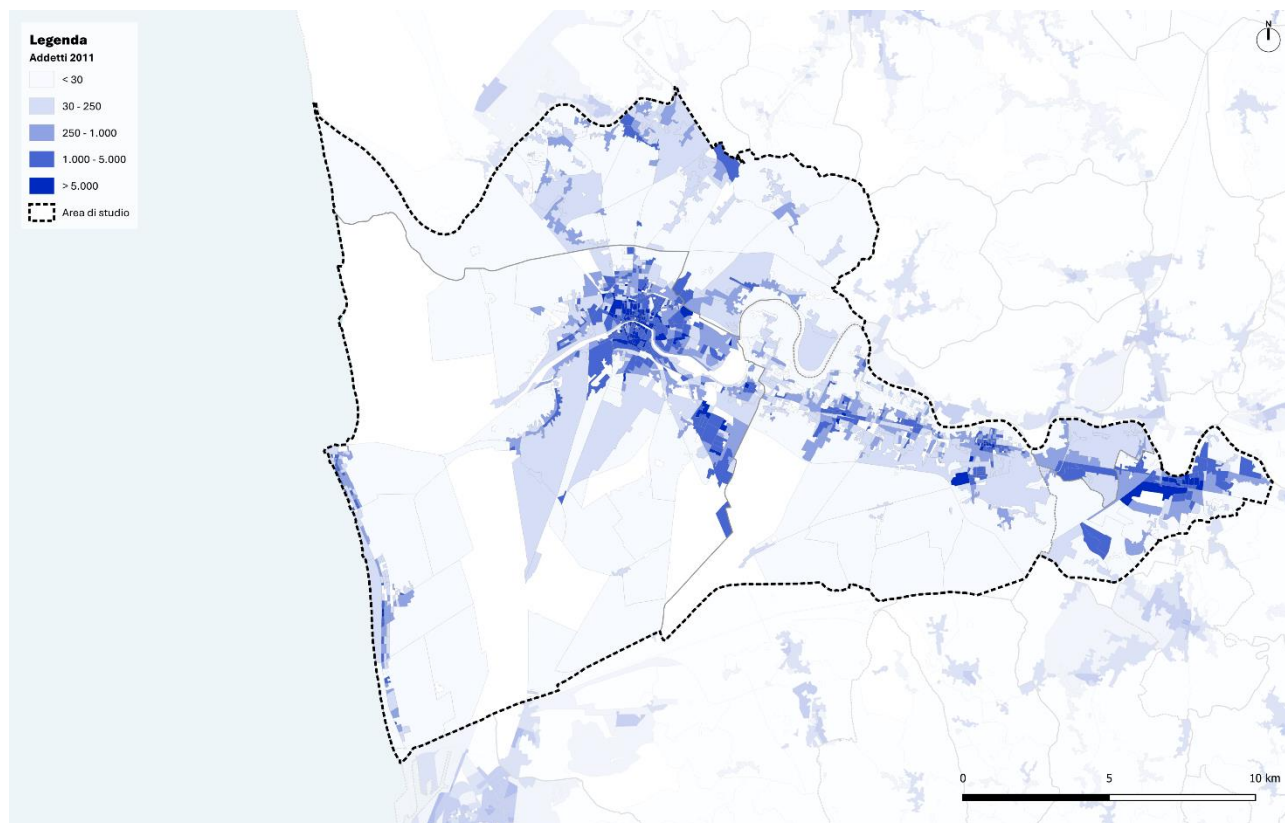


Figura 2.9 La densità degli addetti alle attività nell'ambito di riferimento nel 2011

Approfondendo le dinamiche da un punto di vista geografico, la Figura 2.9 consente di osservare la distribuzione della densità di addetti sul territorio con riferimento al 2011 come ultima rilevazione disponibile.

Analogamente alla distribuzione della popolazione residente si evidenzia la maggiore concentrazione di addetti lungo l'asse della SS67 con maggiore intensità nel centro di Pisa e di Pontedera.

Si rilevano alcune peculiarità:

- Si distingue per valori elevati l'area industriale e commerciale di Ospedaletto a sud-est del centro di Pisa;
- Le urbanizzazioni costiere, così come quelle di San Giuliano Terme si distinguono rispetto all'agro con minor intensità rispetto ai centri maggiori;
- La concentrazione media degli addetti sul territorio dell'area di studio al 2011 è di circa 240 addetti/kmq
- A livello di singola cella censuaria, i valori maggiori sono attorno a 80.000 addetti/Kmq

Osservando la Figura 2.10 si nota come le superfici commerciali e industriali maggiori siano collocate a sud dell'asse urbanizzato della SS67. Si evidenziano cinque poli principali:

- zona industriale Porta a Mare, a nord-ovest dell'aeroporto;
- zona industriale e commerciale Ospedaletto, lungo la SR206;
- l'area commerciale a sud di Navacchio, lungo la SP24;
- l'area commerciale a sud della stazione di Cascina;

- l'area industriale che da Pontedera si estende in direzione sud-ovest lungo il lato destro del canale scolmatore dell'Arno.

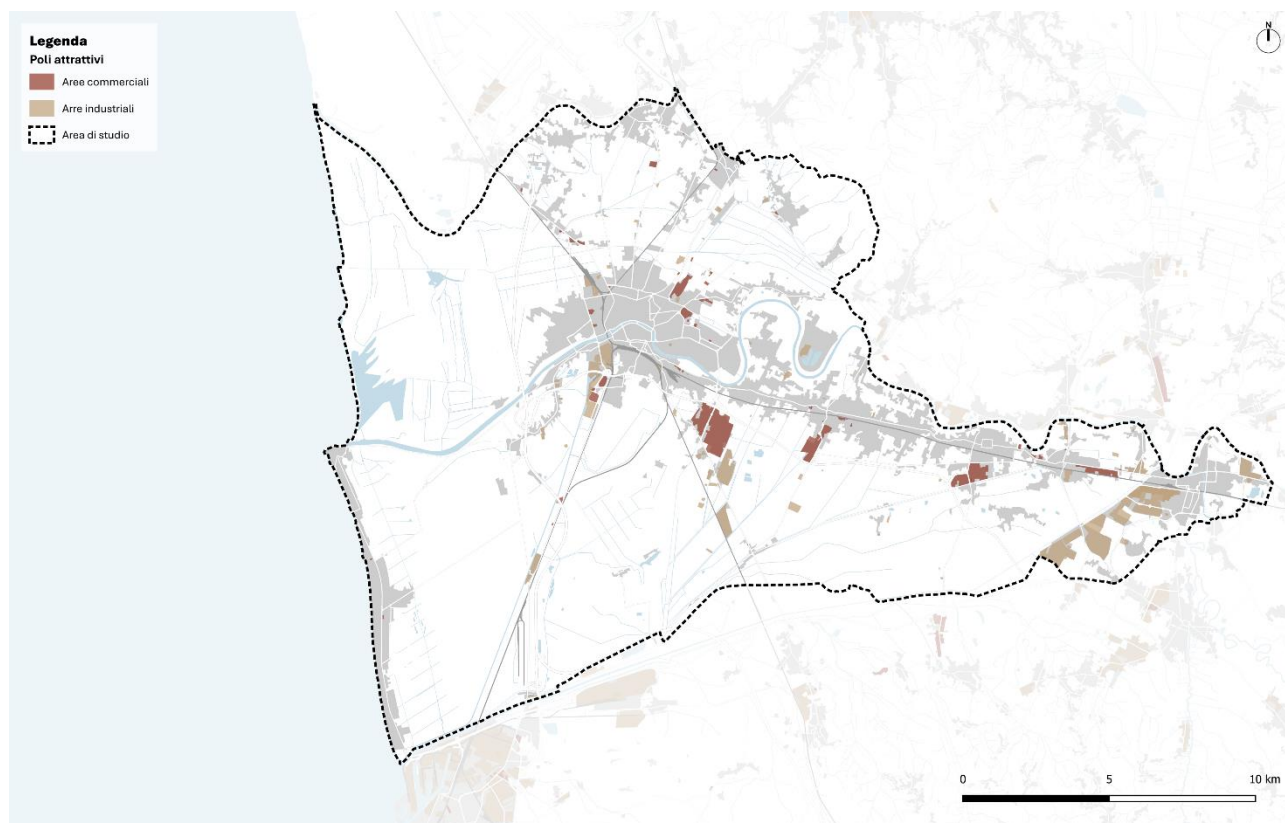


Figura 2.10 Distribuzione delle aree commerciali e industriali all'interno dell'area di studio

Il sistema di offerta

Nell'ottica di valutare come l'inserimento della tramvia possa influenzare il sistema di mobilità dell'area di studio dal punto di vista infrastrutturale, i seguenti paragrafi presentano un'analisi mirata delle principali caratteristiche delle reti stradali, del trasporto pubblico e delle vie ciclo-pedonali, focalizzandosi sugli impatti che il nuovo tracciato tranviario potrebbe avere sul territorio di influenza del capoluogo pisano

Trasporto privato

Per quanto riguarda l'offerta viaria del territorio pisano viene di seguito esaminata la rete stradale in relazione ai livelli funzionali delle infrastrutture, come riportato in Figura 2.11. Si suddivide tra:

- autostrade;
- rete primaria, prevalentemente costituita da arterie statali di attraversamento;
- rete secondaria, che struttura le connessioni di carattere provinciale di media distanza;
- rete terziaria, di supporto alla viabilità principale.

La rete autostradale è costituita dalla A12 che percorre il territorio ad ovest del centro urbano di Pisa in direzione nord-sud e consentendo l'accesso al capoluogo attraverso il casello di Pisa Centro.

Osservando la rete primaria si riconoscono due differenti trame che collegano i principali centri dell'area. Un corridoio, che corre da est a ovest e costruisce la spina dorsale dell'urbanizzazione dell'area, è costituito dalla SS67 e dalla strada statale FI-PI-LI che percorre il territorio parallelamente a quest'ultima evitando sul lato sud i centri abitati. Una conformazione radiale è invece riconoscibile

Gli assi secondari raccordano la viabilità primaria e sono prevalentemente presenti nell'area del capoluogo. L'infrastruttura di maggiore rilevanza è la SP224 che connette Pisa con i centri costieri di Marina di Pisa e Tirrenia a sud-ovest.

La rete terziaria, diramandosi dalla rete di rango maggiore, infittisce le connessioni territoriali con i territori rurali e gli insediamenti meno compatti. Si evidenzia una maglia maggiormente strutturata nel quadrante nord della città di Pisa, oltre ad alcuni assi a supporto dei territori costieri e di Pontedera.

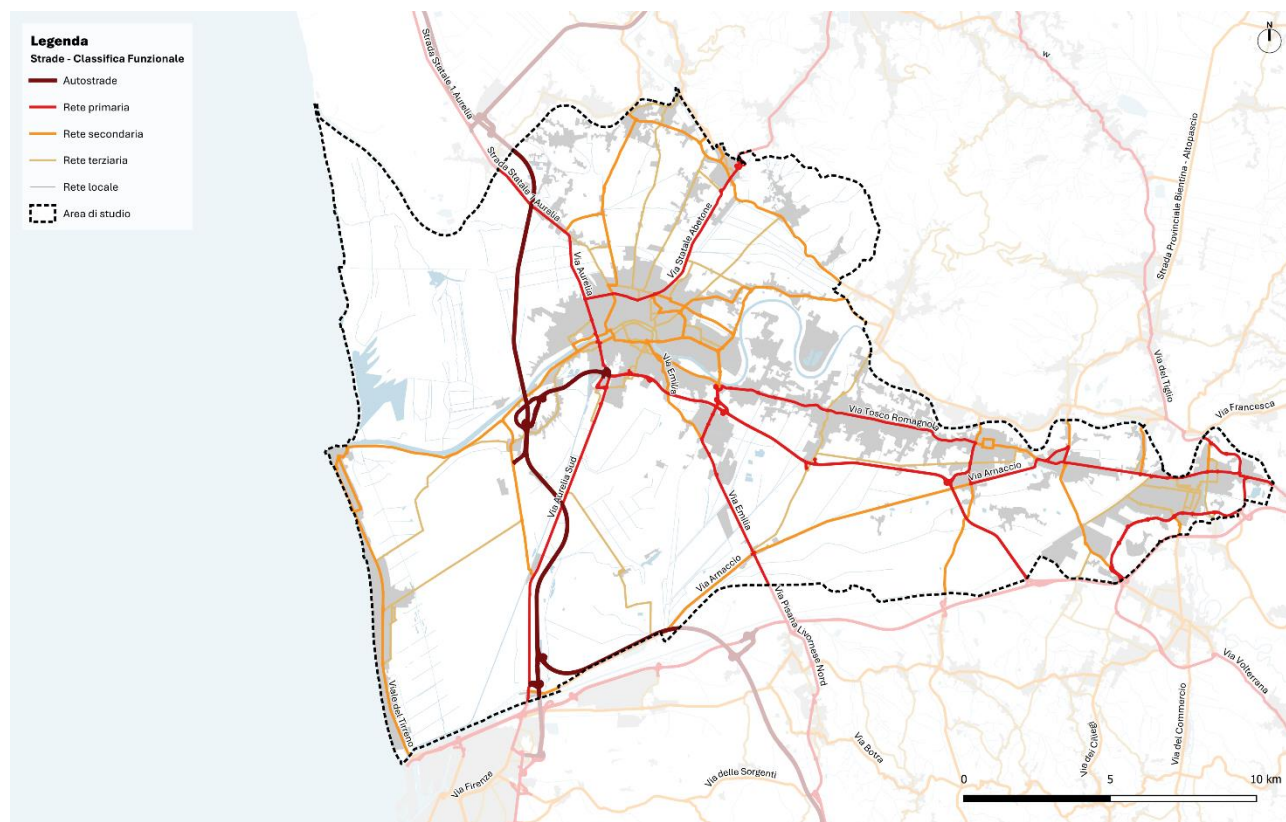


Figura 2.11 Classificazione funzionale della rete stradale. Fonte: Open Street Map

Il sistema di Trasporto Pubblico Locale (TPL) che interessa l'area di studio è composto sia dal servizio su ferro che quello su gomma.

Per quanto riguarda le **linee ferroviarie**, il centro di Pisa costituisce un importante nodo di scambio di carattere regionale. Si riconosce infatti una struttura a raggera che converge verso il capoluogo pisano con **4 principali direttrici**:

- La linea **Firenze-Pisa** che in direzione est-ovest si dirama da Pisa collegando i centri di Cascina e Pontedera. Il servizio fra Pisa e Pontedera è garantito dalle 04 sino alle 22, con una frequenza minima di tre treni all'ora nella fascia dalle 05 alle 19 e un aumento della frequenza durante le ore di punta e una live diminuzione del servizio nella fascia prima delle 05 e dopo le 20;

- La linea **Pisa-Lucca** che collega i due capoluoghi di provincia passando per San Giuliano Terme. Il collegamento fra Pisa e S. Giuliano Terme ha una frequenza di due corse all'ora con un lieve aumento durante le ore di punta. Il servizio viene garantito nella fascia dalle 05 alle 21;
- La linea **Tirrenica Roma-Genova** che percorre la penisola lungo la costa e attraversa la città di Pisa. I servizi attivi su questa tratta sono molteplici e comprendono treni regionali, regionali veloci, Intercity e Frecciabianca. I collegamenti principali sono Pisa-Viareggio verso nord, che offre un servizio garantito fra le 05 e le 22, con una frequenza media di tre treni all'ora nella fascia oraria fra le 06 e le 21, e il collegamento Pisa-Livorno verso sudovest, che offre una frequenza maggiore di tre corse all'ora nella fascia oraria fra le 05 e l'1 di notte.

È presente, inoltre, un ulteriore ramo ferroviario, **Pisa-Collesalvetti-Vada**, che dal capoluogo pisano si dirama in direzione sud-est. Tuttavia, la linea risulta dismessa dai servizi ferroviari per il trasporto passeggeri ed è esclusivamente dedicata ai treni merci. Il servizio passeggeri è offerto da una sola corsa autobus scolastica al giorno.

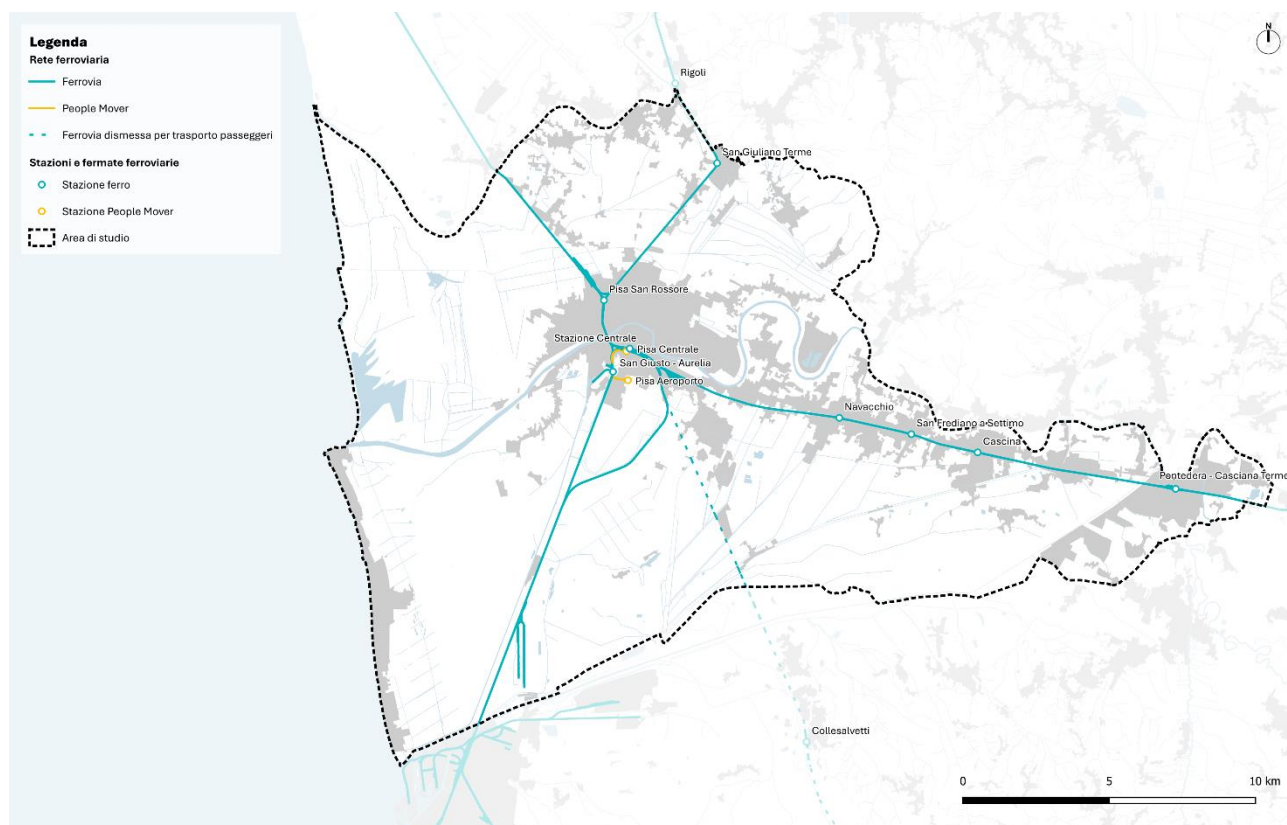


Figura 2.12 Linee e fermate del servizio ferroviario presenti nell'area di studio

Le **stazioni ferroviarie** presenti all'interno dell'area di studio sono:

- Pontedera-Casciana Terme, Cascina, San Frediano a Settimo e Navacchio lungo la tratta Firenze-Pisa;
- San Giuliano Terme presso l'omonimo centro urbano;
- Pisa San Rossore a nord-ovest del centro città di Pisa;
- Pisa Centrale che costituisce il nodo principale del capoluogo.

- Da un punto di vista strategico, le stazioni urbane di Pisa costituiscono due nodi chiave per la mobilità provinciale e, in ottica di accessibilità intermodale, la realizzazione della connessione tranviaria ne rafforzerebbe il ruolo.
- Nello specifico, la **stazione di Pisa San Rossore** occupa una posizione rilevante all'interno del panorama urbano, trovandosi nelle immediate vicinanze di alcuni dei principali poli universitari della città di Pisa e del complesso monumentale di Piazza dei Miracoli, patrimonio mondiale dell'UNESCO. Collocata lungo l'asse viale delle Cascine-via Contessa Matilde, che rappresenta un importante corridoio di accessibilità urbana e dove si congiungono le direttrici verso nord, assume il ruolo di porta d'accesso privilegiata alla città per numerose tipologie di utenti.
- La **stazione di Pisa Centrale** rappresenta un'infrastruttura di primaria importanza per la città e il territorio circostante, configurandosi come uno snodo strategico sia a livello urbano che regionale. Situata in posizione centrale rispetto al tessuto cittadino, a breve distanza dal centro storico e facilmente accessibile dai principali quartieri, la stazione funge da hub multimodale, connettendo le reti ferroviarie nazionali e regionali ai sistemi di trasporto pubblico locale, tra cui autobus urbani, taxi e servizi di sharing mobility. Grazie alla sua collocazione lungo la linea ferroviaria Tirrenica e all'intersezione con le linee per Firenze, Lucca e Livorno, Pisa Centrale è un punto di riferimento per il traffico pendolare e turistico, servendo ogni giorno migliaia di viaggiatori. La sua vicinanza all'aeroporto internazionale Galileo Galilei, collegato direttamente attraverso un sistema ettometrico di tipo people mover a funicolare chiamato **Pisa Mover**, rafforza ulteriormente il suo ruolo di porta d'accesso alla città e di fulcro della mobilità per l'intero territorio, favorendo l'integrazione tra diverse modalità di trasporto e contribuendo allo sviluppo sostenibile della mobilità urbana e interurbana. Lo shuttle effettua la fermata intermedia San Giusto – Aurelia presso il parcheggio scambiatore di via di Goletta-Navicelli e garantisce un servizio tutti i giorni dalle 06 alle 24 con una frequenza di 6 minuti durante la fascia giornaliera sino a una di 15 minuti tra le 06 e le 07 e le 23 e le 24. Dal primo giugno al 30 settembre il servizio termina all'01 di notte.

Servizi su gomma

Per quanto concerne il **trasporto pubblico su gomma**, il servizio effettuato tramite autobus nell'area di studio è gestito dalla compagnia Autolinee Toscane, la quale individua un sistema di tariffazione suddiviso in 3 differenti raggi di azione⁵:

- servizio urbano;
- servizio extraurbano;
- servizio suburbano.

Ciascuna linea viene attribuita ad una specifica tariffa in funzione della prevalenza del servizio effettuato in termini di distanza dal capoluogo.

⁵ Si intende come urbana quando si estende entro i 10 km dal Centro Urbano di Pisa, extraurbana quando si estende oltre i 10 km dal centro e suburbana quando offre un servizio in pari misura interno ed esterno all'area urbana.

Le 27⁶ linee del servizio extraurbano sono le seguenti:

Linea	Nome
140	Vicopisano – Calcinaia - Pontedera
141	Cascina – Vicopisano - Buti
142	Buti – Bientina – Calcinaia - Pontedera
180	Cascina - Pontedera
181	Casciana terme – Ponsacco – Cenaia - Cascina ITC
182	Santa Maria a monte – Pontedera - Cascina ITC
210	Pontedera – Montopoli – San Miniato
220	Pontedera - La rotta – Colleoli - Palaia
230	Pontedera – Palaia – Montefoscoli – Legoli - Ghizzano
240	Pontedera - Santa Maria Monte - Galleno
250	Pontedera - S. Maria a monte - S. Croce sull'Arno - Fucecchio
30	Calambrone - Livorno
370	Pontedera – Crespina - Collesalveti
375	Pontedera stadio – Autostazione - Palazzo blu
380	Pontedera – Cenaia - Vicarello
400	Pontedera – Lari – Usigliano - Casciana alta
410	Pontedera - Casciana terme - Chianni
430	Pontedera – Peccioli - Ghizzano
440	Casciana terme - Santo Pietro Belvedere - La rosa
450	Pontedera - Santo Pietro Belvedere – Terricciola - La rosa
460	Pontedera – Peccioli - Montelopio
50	Pisa – Collesalveti – Fauglia - Crespina
500	Volterra - Pontedera
51	Collesalveti – Lorenzana - Orciano
840	Castelnuovo val di Cecina – Pomarance - Pisa (piazza Manin)
877	Empoli - Santa Croce sull'Arno
880	Santa croce sull'Arno - Montopoli

Tabella 2.6 Linee extraurbane del TPL su gomma di Pisa

- Le 12 linee del servizio suburbano sono le seguenti:

Linea	Nome
10	Pisa - La Vettola - S. Piero a grado – Tirrenia - Calambrone
110	Agnano – Asciano - Pisa
120	Pisa – Calci - Montemagno
130	Pisa - Vicopisano
150	Pettori – Riglione - Pisa
160	Pisa – Navacchio – Calci - Tre colli
190	Pisa - Cascina
20	Calambrone – Tirrenia - Marina di Pisa - S. Piero a Grado - la Vettola - Pisa
60	Pisa - S. Giuliano Terme - Ripafratta
70	Pisa – Gello - Pontasserchio
80	Pisa – Migliarino – Vecchiano - Filettole
85	Pisa - Metato - Arena

⁶ Escluse due linee 710 e 790 esterne all'area di studio

Tabella 2.7 Linee del servizio suburbano del TPL su gomma della città di Pisa

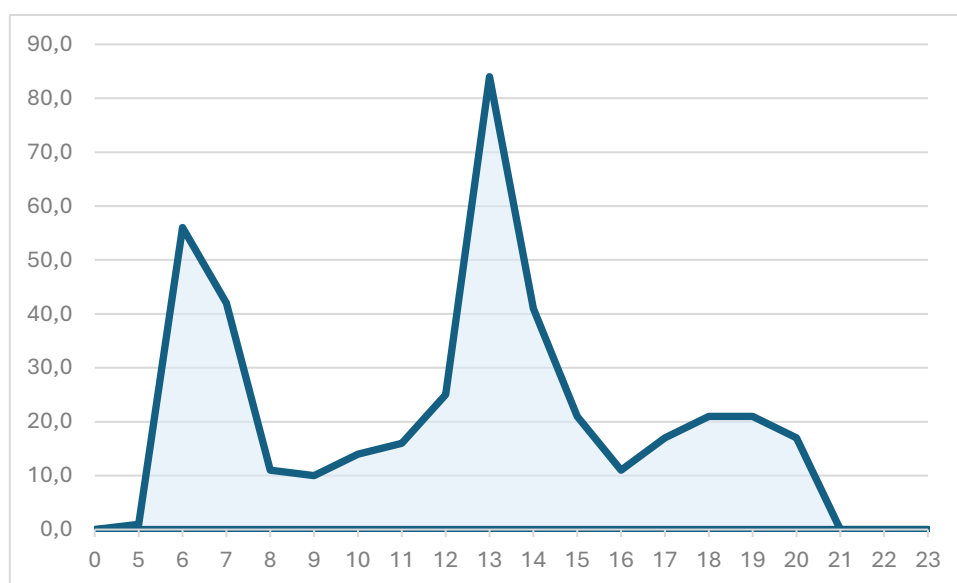
Le 18 linee del servizio urbano sono le seguenti:

Linea	Nome
1+	Ospedale Cisanello – Stazione – Torre-park Pietrasantina
11	Lungarno Pacinotti - Park Paparelli - La Fontina
12	Ospedaletto - Stazione
13	Stazione – Pisanova - Ospedale Cisanello - Piagge
14	Stazione – Piagge - Ospedale Cisanello - Pisanova
16	Montacchiello - Zona industriale – Ospedaletto - Stazione
18	Matteucci – Piagge – Cisanello – Pisanova – Pratale - San Francesco
2	Stazione - Porta a Lucca - Le Maggiola
21	I Passi-Torre-Cep-stazione-San Giusto
22	Ospedale Cisanello – Pisanova – Pratale - Stazione
25	Park Pietrasantina - Lungarni
3+	S. Giusto – Stazione - Pratale
4	Stazione - I Passi
5	Putignano – Stazione - Cep
6	Stazione - Barbaricina
71	Pisa - S. Martino U.- Pontasserchio
8	Coltano - Piazza V. Emanuele II
81	Pisa - Sant'Andrea in P. – Pontasserchio - Vecchiano

Tabella 2.8 Linee urbane del TPL su gomma della città di Pisa

Servizio extraurbano

Secondo la programmazione del **giorno feriale medio nel periodo scolastico**⁷, l'insieme delle linee extraurbane è articolato in un totale di **396 corse giornaliere** (andata e ritorno) e sviluppa quotidianamente un monte chilometri di **4.633 bus*km circa**. Analizzando le caratteristiche del servizio, si nota che le linee extra-urbane presentano un andamento piuttosto differente nelle due direzioni di marcia.



⁷ Fonte: GTFS Autolinee Toscane Periodo Settembre-Ottobre 2024

Il servizio extraurbano su gomma (Figura 2.13) è composto da 27⁸ linee e si sviluppa principalmente nella porzione est dell'area di studio, con la maggior concentrazione di linee nell'area di Pontedera. Le uniche linee con partenza da Pisa (50 e 840) hanno come capolinea l'autostazione di Sesta Porta, adiacente alla stazione ferroviaria, e collegano il capoluogo con i centri di Collesalveti, Fauglia e Crespina; queste linee intercettano solo parzialmente, nell'ambito urbano di Pisa, il tracciato previsto per il tram (vedi cap.3).

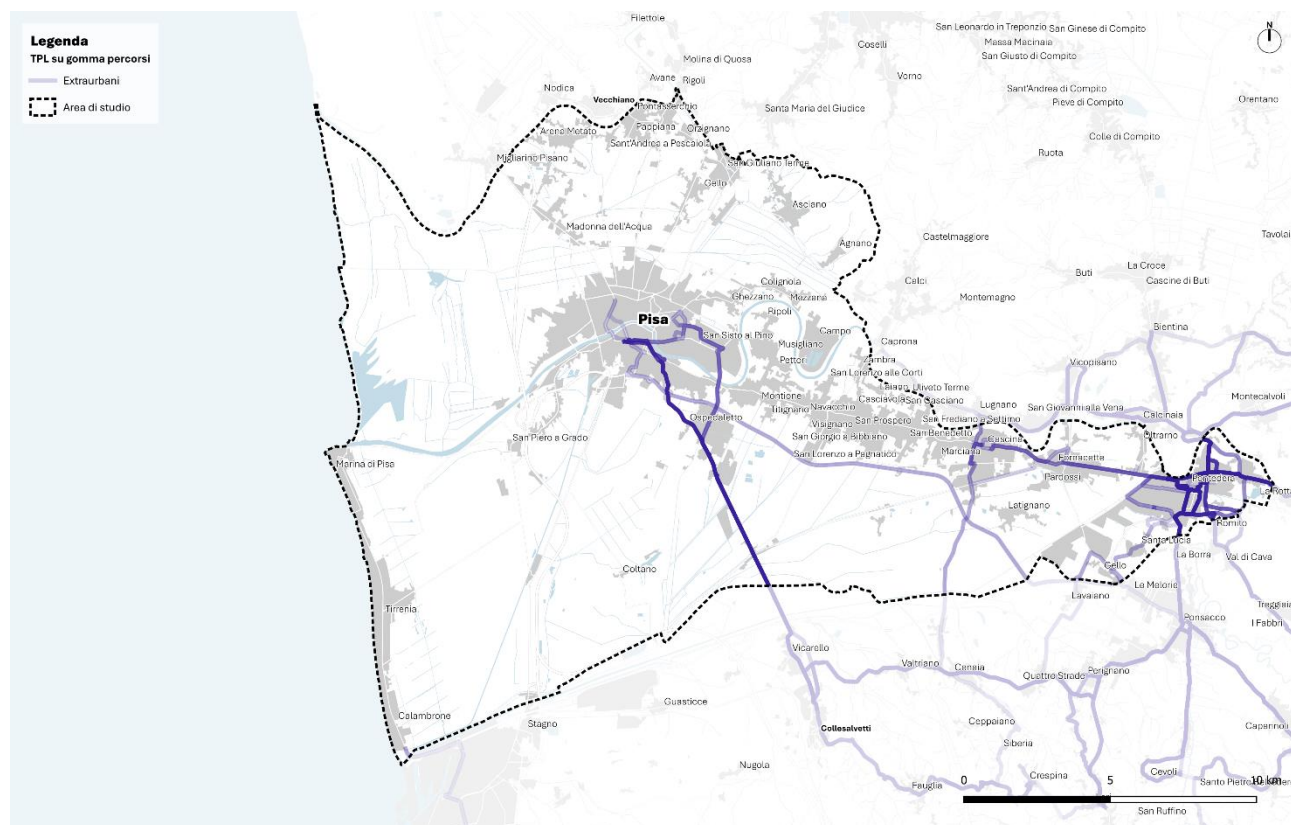


Figura 2.13 Servizio TPL extraurbano su gomma

Numerose linee invece hanno come nodo principale il centro di Pontedera, diramandosi nel territorio periurbano e raggiungendo i paesi esterni all'area di studio. Di queste linee ve ne sono 4 che hanno come capolinea il centro di Cascina, consentendo un interscambio con le linee del sistema misto (suburbano) (le linee 141, 180, 181 e 182).

Per individuare i corridoi principali e definire una gerarchia dei servizi, le linee sono state raggruppate in base al numero di corse giornaliere programmate. Sono stati così identificati tre gruppi, dal più frequente a quello con meno di 15 partenze giornaliere, indicato come a bassa frequenza.

Gruppo per frequenza	Linea	Ora di punta 7-9	Totale
Alta	180	11	62
	500	4	33
	30	6	33
Media	50	3	31
	250	3	27
	380	0	22
	210	5	22

⁸ Escluse due linee 710 e 790 esterne all'area di studio

Gruppo per frequenza	Linea	Ora di punta 7-9	Totale
Bassa	400	1	20
	410	1	19
	230	3	18
	460	1	15
	142	2	15
	450	0	12
	375	4	8
	877	1	7
	430	0	7
	240	1	7
	141	1	7
	140	1	6
	51	0	5
	880	1	4
	440	0	4
	182	1	3
	181	1	3
	840	1	2
	370	0	2
	220	1	2

Tabella 2.9 Classificazione delle linee extraurbane per frequenza

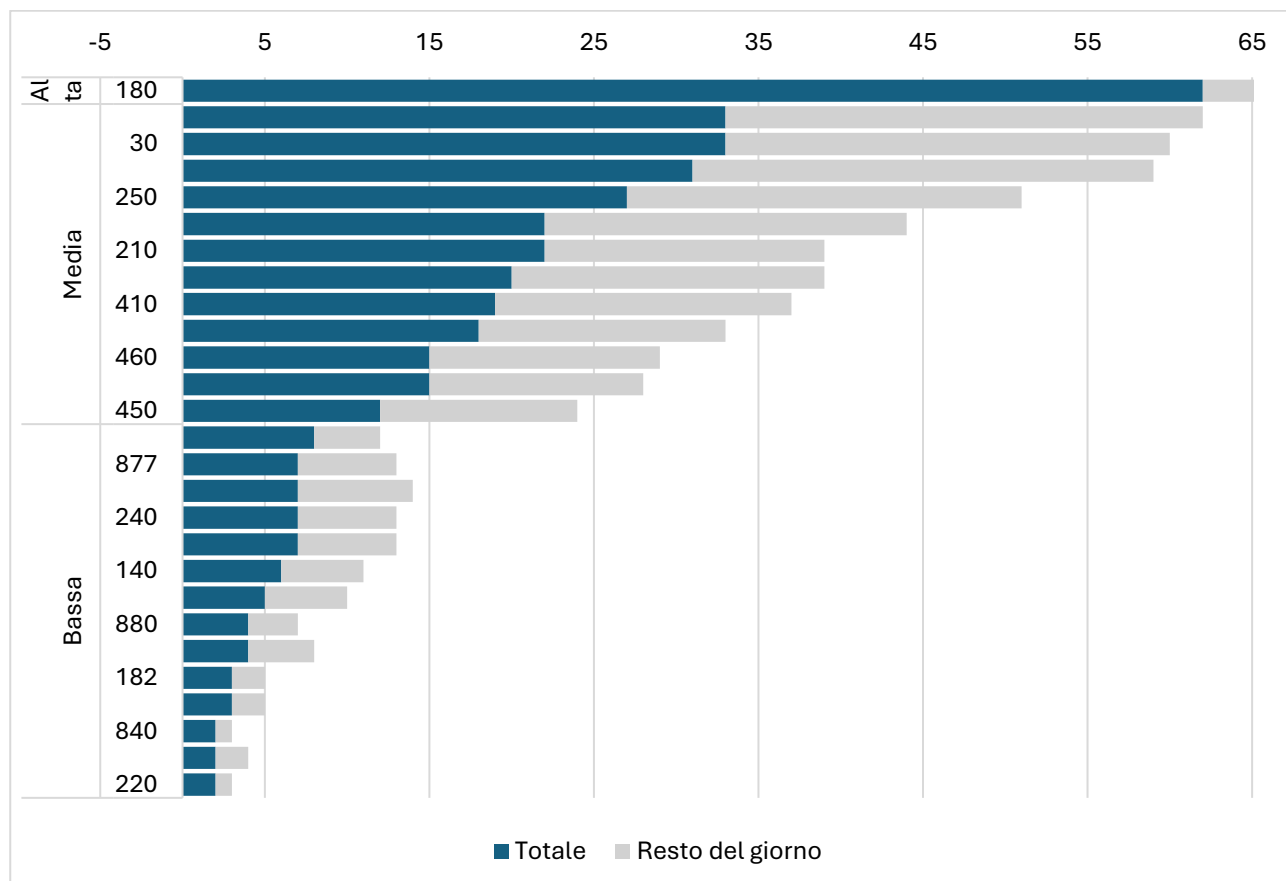


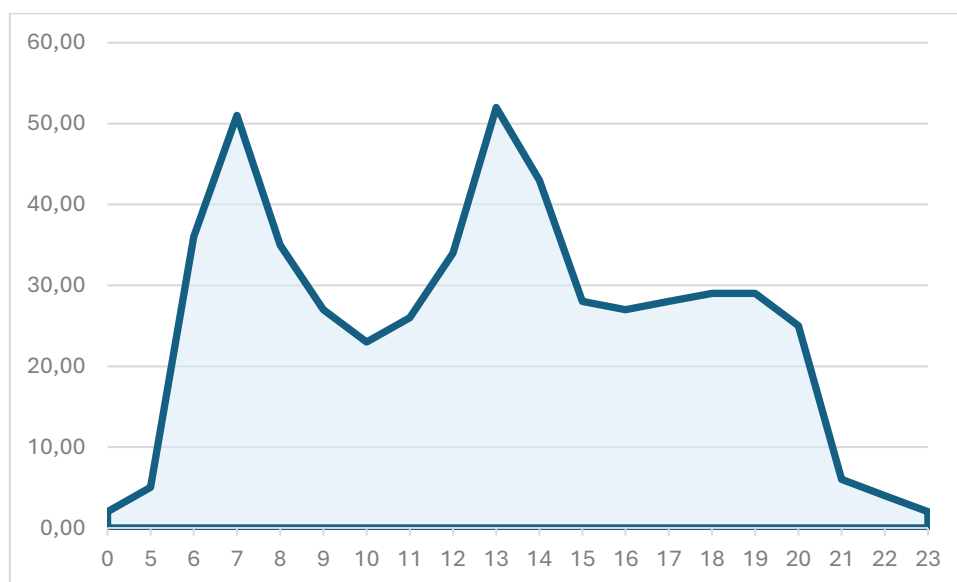
Figura 2.14 Classificazione delle linee extraurbane per frequenza - Ora di punta

Come illustrato nel precedente grafico, solo una linea tra le extraurbane (la 180 che connette Pontedera a Cascina) presenta livelli di servizio ad alta frequenza, con più di 5 coppie di corse nell'ora di punta mattutina e più di 60 nel giorno feriale medio. Le restanti linee presentano medie e basse frequenze; in particolare nessuna di esse presenta più di 3 coppie di corse per direzione nell'ora di punta.

Per quanto appena detto, in linea generale, non si evince uno schema di rete gerarchizzato, ma molto più simile a una logica di servizio “point to point”. L'insieme di alcune linee che si instradano sulle stesse direttrici determina la presenza di alcuni corridoi principali di collegamento per il TPL extraurbano, come la SR 206 Pisana-Livornese nell'area pisana, e la via Tosco Romagnola limitatamente alla connessione tra i centri urbani di Cascina e Pontedera, come è possibile individuare dalla rappresentazione delle corse su mappa (Figura 2.13).

Servizio suburbano

Secondo la programmazione del **giorno ferial medio nel periodo scolastico**⁹, l'insieme delle linee suburbane è articolato in un totale di **512 corse giornaliere** (andata e ritorno) e sviluppa quotidianamente un monte chilometri di **7.802 bus*km circa**. Analizzando le caratteristiche del servizio, si nota che le linee suburbane presentano un andamento piuttosto differente nelle due direzioni di marcia. Una direzione con picco nell'ora di punta della mattina e l'altra con picco nell'ora di pranzo, dando l'idea di un servizio prettamente scolastico.



Il servizio suburbano (Figura 2.15) è composto da 12 linee con partenza dall'autostazione di Sesta Porta che collegano il centro di Pisa rispettivamente con:

- Marina di Pisa,
- Migliarino Pisano,
- Pontasserchio,
- Ripafratta,
- S. Giuliano Terme, Agnano,
- Pontegrande Sant'Andrea,
- Montemagno,
- S. Giovanni alla Vena,
- Fornacette
- S. Piero a Grado.

Alcune linee, tra cui la 10 e la 20 che collegano il centro urbano con la costa tirrenica, subiscono una variazione stagionale nella frequenza durante il periodo estivo a favore di un maggior servizio, soprattutto nel fine settimana.

⁹ Fonte: GTFS Autolinee Toscane Periodo Settembre-Ottobre 2024

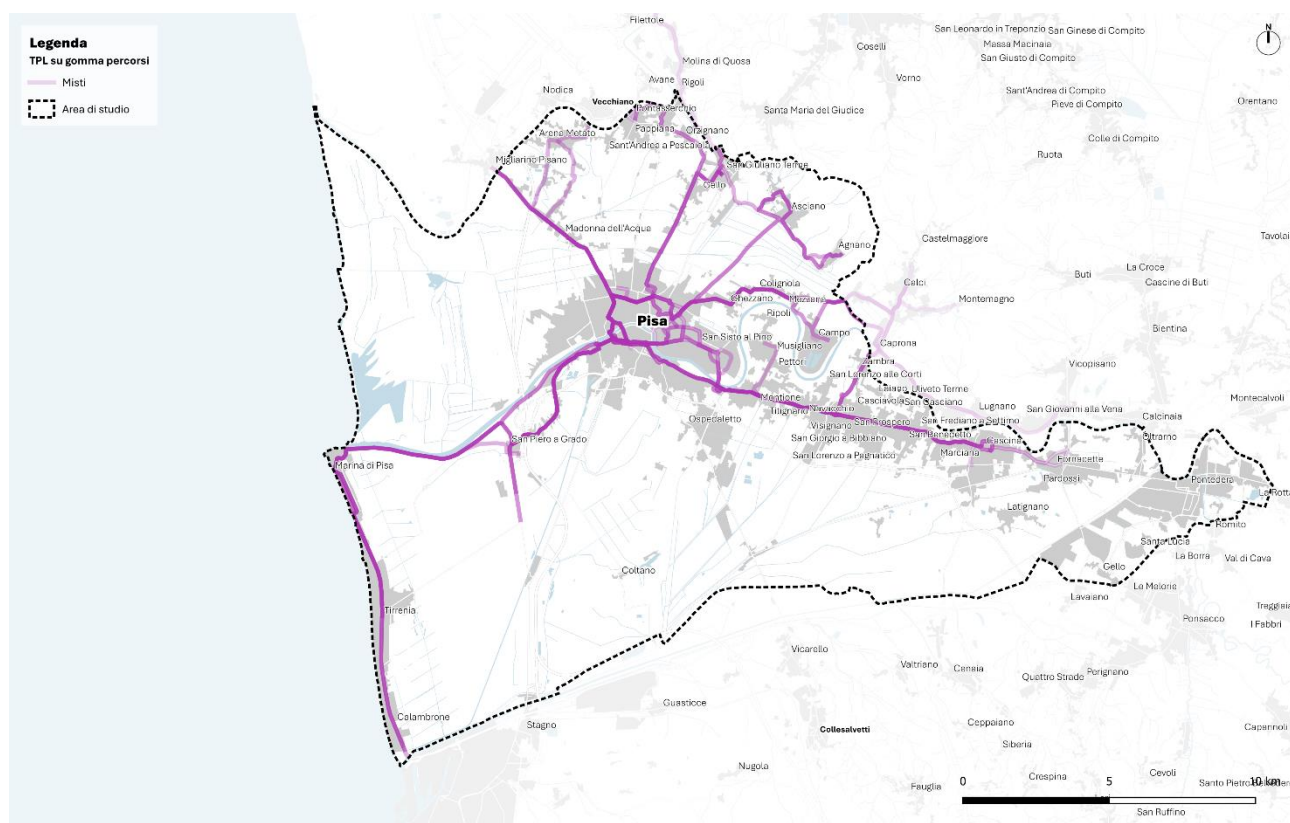


Figura 2.15 Servizio TPL suburbano su gomma della città di Pisa

Il servizio suburbano su gomma (Figura 2.15) è composto da 12 linee e si sviluppa sostanzialmente a in afferenza al centro urbano di Pisa, attraverso collegamenti radiali sulle principali direttrici di connessione con i principali centri dell'area Pisana queste linee intercettano solo parzialmente, nell'ambito urbano di Pisa, il tracciato previsto per il tram (vedi cap.3). Nello specifico si segnala, tra le linee a maggior frequenza, la linea 190. Che collega Pisa con Cascina passando per l'asse via Carlo Matteucci-via Cisanello.

Al fine di individuare eventuali corridoi portanti ed una gerarchizzazione dei servizi, è stato eseguito un raggruppamento delle linee a seconda del numero di corse giornaliere programmate

Gruppo per frequenza	Linea	Ora di punta 7-9	Totale
Alta	190	23	129
	10	18	109
	80	8	47
	70	5	41
	120	5	39
Media	60	5	37
	130	5	33
	150	3	24
	85	4	18
	110	5	17
Bassa	20	2	10
	160	3	8

Tabella 2.10 Classificazione delle linee suburbane per frequenza

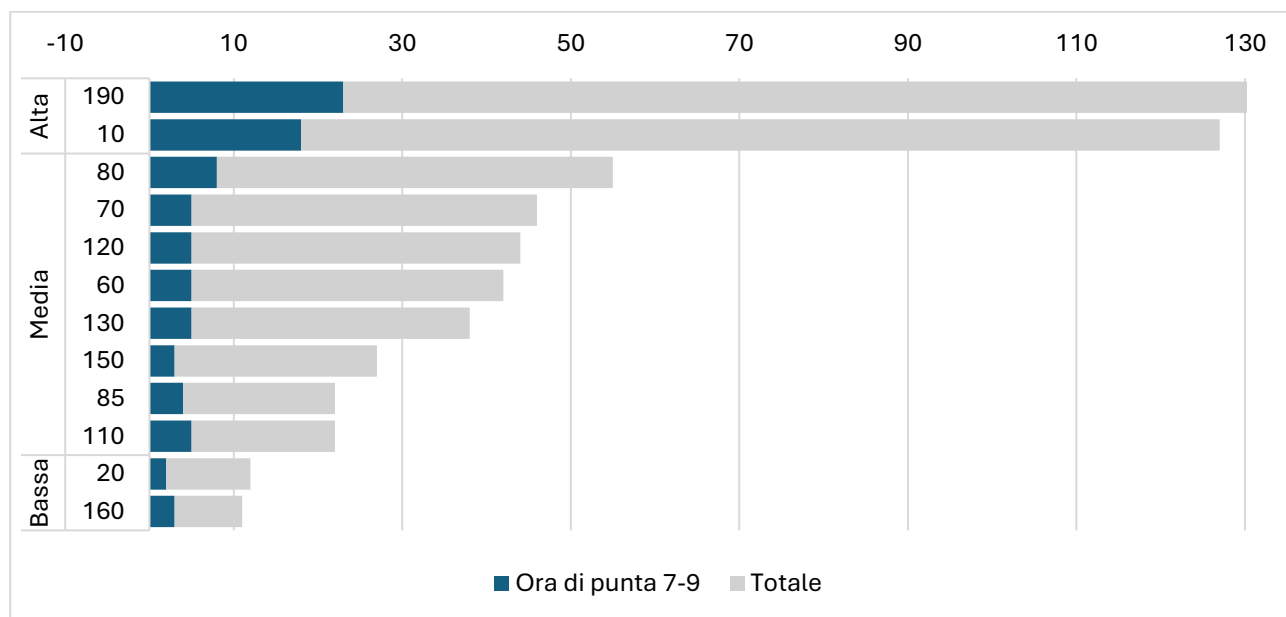


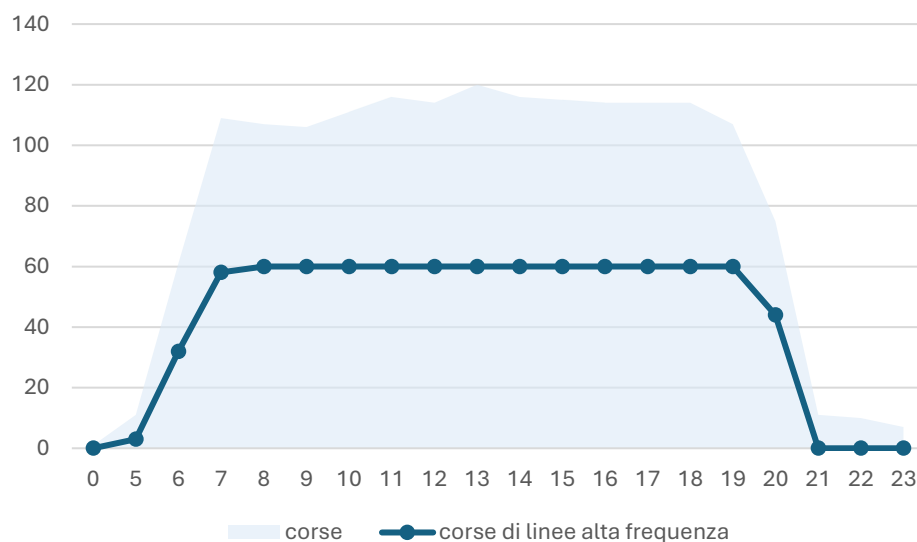
Figura 2.16 Classificazione delle linee suburbane per frequenza - Ora di punta

Come illustrato nella figura, la maggior parte delle linee suburbane rientrano nella categoria a media frequenza; mentre figurano come linee ad alta frequenza la 10 e la 190, rispettivamente lungo la direttrice Tosco-Romagnola per Cascina/Pontedera e verso il litorale.

Quanto detto con riferimento alle linee extraurbane, riguardo la gerarchia di rete e i corridoi di mobilità TPL rimane applicabile anche nel caso dei servizi suburbani. In questo specifico caso, l'insieme dei servizi determina un'alta frequenza cumulata di corse su tutte le principali direttrici di accesso/egresso dal capoluogo pisano.

Servizio urbano

Secondo la programmazione del **giorno feriale medio nel periodo scolastico**¹⁰, l'insieme delle linee urbane è articolato in un totale di **1.639 corse giornaliere** (andata e ritorno) e sviluppa quotidianamente un monte chilometri di **8.555 bus*km circa**. Analizzando le caratteristiche del servizio, si nota che le linee extra-urbane presentano un andamento **piuttosto omogeneo** nelle due direzioni di marcia, coerentemente con la natura del servizio di più locale entità.



Il servizio urbano su gomma (Figura 2.17) è composto da 18 linee e si sviluppa principalmente all'interno dell'area urbana di Pisa, fatta eccezione per la linea che si dirama a nord verso Pontasserchio e le 3 linee a sud che si estendono fino a Coltano, passando per l'area industriale di Ospedaletto. La 18, 71 e 81 sono linee scolastiche, con corse alla mattina e a pranzo ed offrono un servizio aggiuntivo solo durante il periodo scolastico.

¹⁰ Fonte: GTFS Autolinee Toscane Periodo Settembre-Ottobre 2024

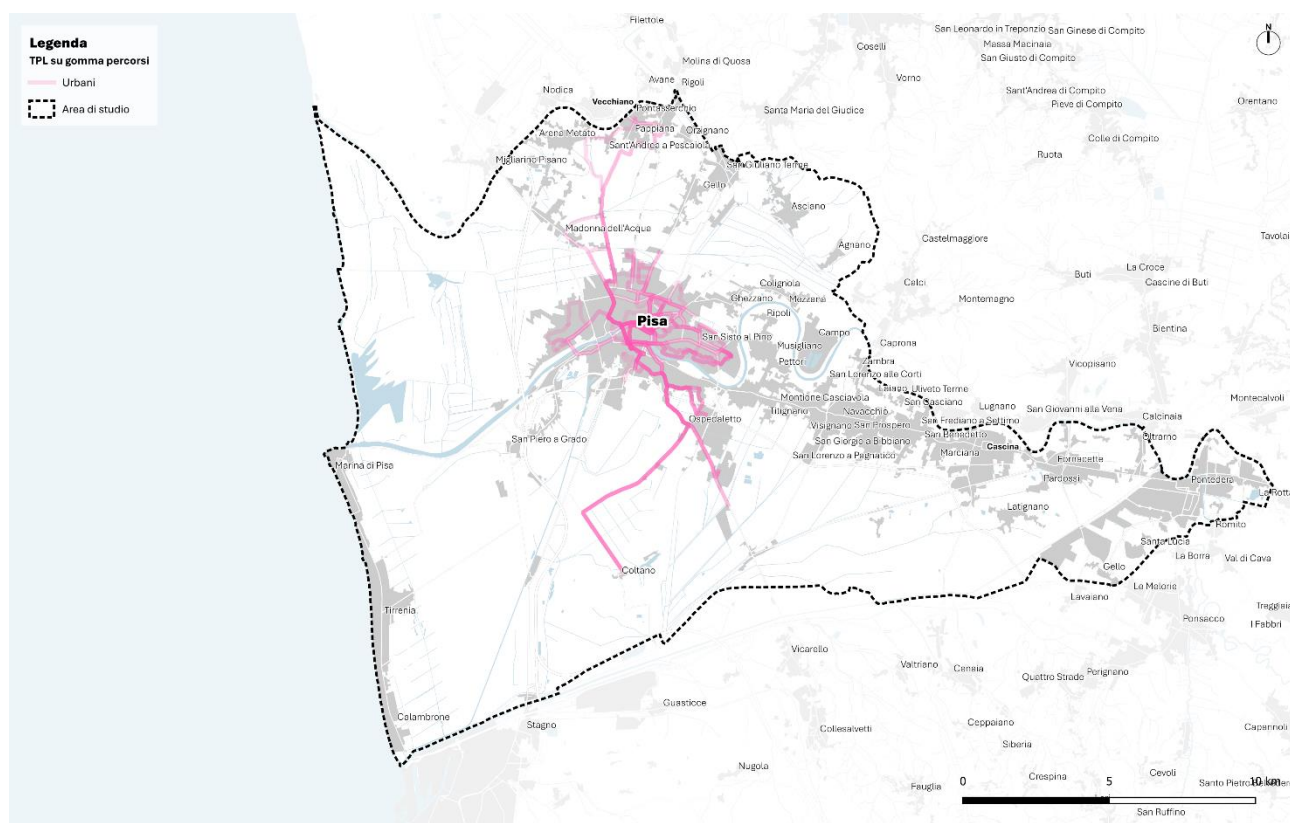


Figura 2.17 Servizio TPL urbano su gomma della città di Pisa

Per individuare i corridoi principali e definire una gerarchia dei servizi, le linee sono state raggruppate in base al numero di corse giornaliere programmate. Sono stati così identificati tre gruppi, dal più frequente a quello con meno di 15 partenze giornaliere, indicato come a bassa frequenza.

Gruppo per frequenza	Linea	Ora di punta 7-9	Totale
Alta	1+	45	338
	3+	38	281
	5	35	238
Media	14	16	113
	13	17	113
	11	15	100
	6	12	86
	4	12	86
	2	12	86
	25	0	72
Bassa	16	5	50
	12	3	20
	22	0	18
	8	4	16
	21	0	14
	81	0	3
	18	1	3

Gruppo per frequenza	Linea	Ora di punta 7-9	Totale
	71	1	2

Tabella 2.11 Classificazione delle linee urbane per frequenza

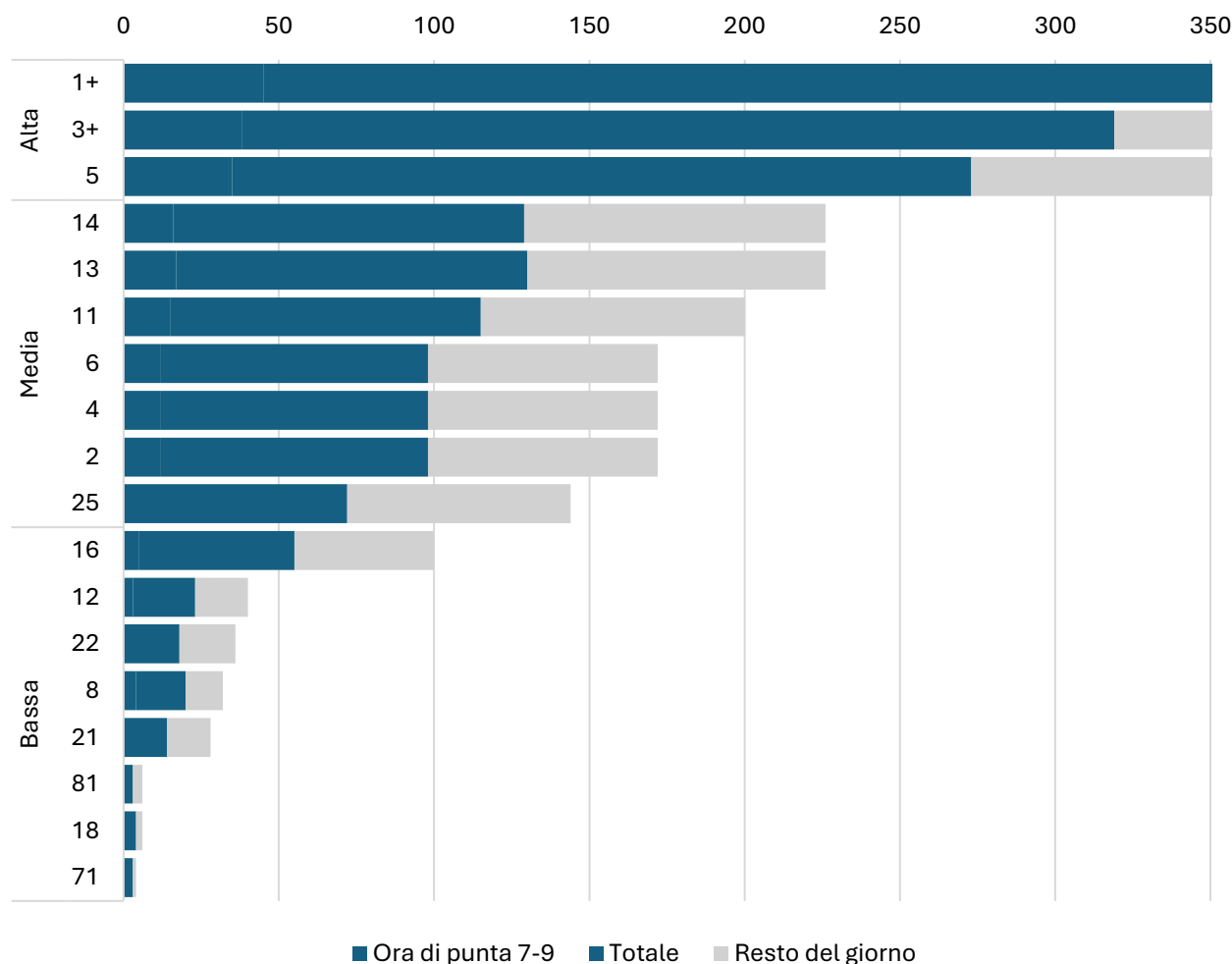


Figura 2.18 Classificazione delle linee urbane per frequenza - Ora di punta

Come illustrato nella Figura 2.18, le linee urbane sono suddivise in maniera più omogenea tra linee ad alta frequenza (3), linee a media frequenza (7) e linee a bassa frequenza (8)

Dalla rappresentazione delle corse su mappa (Figura 2.18) è possibile individuare alcuni corridoi principali. Emerge con preponderanza l'asse via Francesco Crispi – via Enrico Fermi – via Bonanno Pisano e quello dei Lungarni.

Tra le linee urbane alcune intercettano almeno parzialmente il tracciato previsto per il tram (vedi cap.3). Nello specifico, tra le linee ad alta frequenza, è di particolare rilievo la linea 1+, che collega la Stazione Centrale a Cisanello. Questa linea segue un tracciato che attraversa il corridoio via Carlo Matteucci – via Cisanello, estendendosi fino alla Stazione e proseguendo verso il parcheggio Pietrasantina, percorrendo anche l'asse di via Bonanno Pisano. Inoltre, le linee 13 e 14 contribuiscono alla copertura della medesima area urbana, servendo il quartiere in modo complementare rispetto alle altre linee di trasporto.

Altre modalità

All'interno dell'area di studio, il sistema della ciclabilità risulta abbastanza sviluppato, prevalentemente nelle aree del centro di Pisa, dove le zone 30 e le ZTL consentono una mobilità capillare per le biciclette. Sono inoltre presenti vari percorsi ciclabili di valenza più ampia che consentono spostamenti di attraversamento più lunghi, sempre all'interno della città capoluogo. La restante porzione risulta sfornita di infrastrutture dedicate, ad eccezione dei percorsi cicloturistici che percorrono il fiume Arno (tra cui la ciclovia "ex trammino" che ripercorre la linea ferroviaria storica che collegava Pisa con la costa) ed il canale in sinistra del fiume, diramandosi verso sud.

Tuttavia, la rete, nel suo complesso, risulta frammentata e poco uniforme. A tal proposito il PUMS di Pisa individua e prevede la realizzazione di diversi archi ciclabili con l'obiettivo principale di connettere la rete esistente e di ampliarla al fine di garantire una mobilità più agevole anche nell'area vasta.

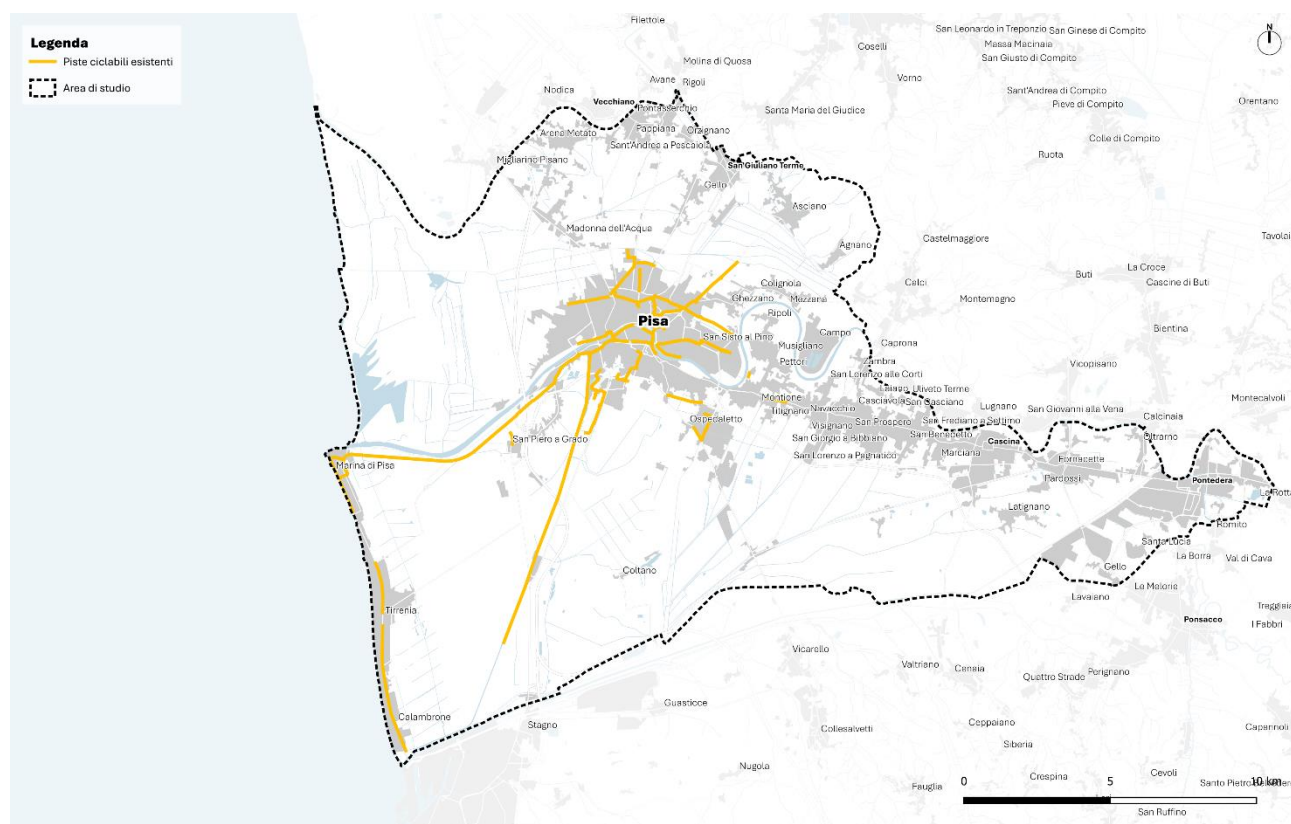


Figura 2.19 Sistema della ciclabilità

Il sistema di domanda

Le fonti dati

Le stime inerenti alla domanda di mobilità sono state eseguite utilizzando un approccio olistico in grado di integrare diverse tipologie di dati. Ciascuna fonte è stata selezionata per estrarre informazioni che possano essere rappresentative degli spostamenti all'interno dell'area di studio.

Le fonti dati utilizzate per l'analisi della domanda di mobilità del presente studio sono:

- Matrice del pendolarismo (ISTAT);
- Floating Car Data;
- Dati telefonici.

Matrice del pendolarismo (ISTAT)

Una delle fonti dati utilizzata per l'analisi degli spostamenti è rappresentata dalla **matrice del pendolarismo** (per motivi di studio e lavoro) elaborata da ISTAT in occasione dei censimenti generali della popolazione. Tale matrice contiene i dati sul numero di spostamenti che avvengono all'interno del territorio italiano, classificati, oltre che per **motivo di spostamento**, per **sex** dell'utente, **mezzo di trasporto** utilizzato, **fascia oraria** di partenza e **durata** del tragitto di spostamento del mattino.

La matrice origine-destinazione analizzata in questo studio si riferisce alla popolazione residente al 15° censimento generale della popolazione italiana (anno di riferimento 2011), la quale comprende, su base nazionale, le 28.871.447 persone che hanno dichiarato di recarsi giornalmente presso il luogo abituale di **studio o di lavoro**, partendo dall'alloggio di residenza, e di rientrarvi.

La fonte dati ISTAT, visto la sua obsolescenza e l'assenza di informazioni relative agli spostamenti non sistematici, è stata utilizzata per ottenere informazioni e validare le stime di domanda relativamente agli indici di generazione ed attrazione, limitatamente alle componenti casa-studio e casa-lavoro.

Floating Car Data

Per effettuare un'analisi dettagliata sulla domanda di mobilità privata si è proceduto alla valutazione degli spostamenti veicolari contenuti nell'area di studio grazie all'utilizzo dei Floating Car Data (FCD). Gli FCD sono generati da un'apparecchiatura detta "scatola nera" ("*black box*" nel suo equivalente inglese) che può essere installata sui veicoli per scopi assicurativi. Le scatole nere sono dispositivi dotati di GPS in grado di registrare la posizione del veicolo ed altri dati utili alla ricostruzione dei sinistri (data e ora, stato del motore, velocità istantanea, etc.). I dati raccolti sono trattati dai telematics provider nel rispetto delle disposizioni del codice in materia di protezione dei dati personali e vengono rivenduti a terzi in forma completamente anonimizzata. La diffusione di questi dispositivi è destinata a crescere. In Italia, il 29 agosto è entrata in vigore la legge 124/2017, meglio conosciuta come Legge sulla concorrenza, che nell'ambito assicurativo prevede l'applicazione di sconti obbligatori nel caso di installazione di scatola nera.

Tale tecnologia può essere utilizzata a fini trasportistici in quanto applicando specifiche tecniche di analisi dati è possibile ricostruire la domanda di mobilità del mezzo privato, in una determinata porzione di territorio, tramite l'analisi delle informazioni che caratterizzano gli spostamenti intesi come sequenze di punti.

Il passaggio dal campione statistico (sequenze FCD) all'universo (flussi veicolari) avviene tramite un procedimento di espansione, con un coefficiente legato ai livelli di motorizzazione del luogo in cui il veicolo sosta di notte usualmente.

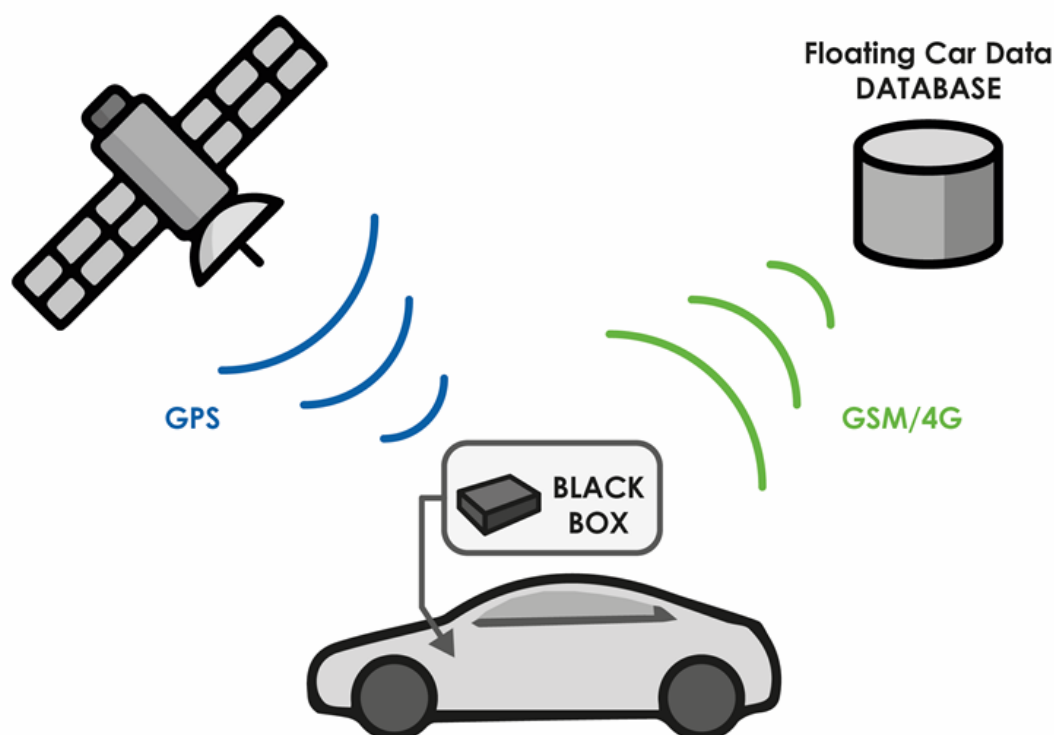


Tabella 2.12 Schema funzionale del sistema di rilevamento dei Floating Car Data

L'utilizzo di questi dati rappresenta una grande opportunità, considerato il mutamento in corso delle abitudini della mobilità delle persone che sta vedendo una trasformazione accentuata dei "diari di spostamento" verso una caratterizzazione **sempre meno sistematica** e sempre più erratica e concatenata degli spostamenti.

Sebbene gli FCD presentino dei vantaggi sotto molti punti di vista, quali la frequenza di aggiornamento, la rappresentatività del campione e la possibilità di analizzare le catene di spostamento, oltre ad una granularità spaziale e temporale molto elevata, questi sono dati relativi ai soli spostamenti in modalità auto e non restituiscono informazioni sul motivo dello spostamento, per tale causa non possono essere utilizzati singolarmente ma devono essere affiancati e accorpati a indagini e dati specifici, tali che nell'insieme possano restituire un dato completo utile alla stima della matrice Origine-Destinazione relativa all'area d'interesse.

Dati telefonici Vodafone

Assieme ai dati di mobilità precedentemente illustrati, per cercare di ricostruire le matrici di domanda sono stati acquisiti i dati relativi al mese di ottobre 2023 dall'operatore telefonico Vodafone Italia. Le informazioni raccolte sono quelle acquisite dalle celle telefoniche dell'operatore che registrano la presenza dei dispositivi mobili ad esse collegate. A partire da questa informazione ed in maniera completamente anonima e aggregata, vengono ricostruite le sequenze di spostamento da una cella telefonica all'altra.

Questi dati verranno a costituire uno dei principali input per la realizzazione del modello di domanda che a sua volta costituisce il cuore del modello strategico di simulazione multimodale che è stato implementato al fine di valutare gli effetti generati dagli interventi previsti dal presente studio.

Uno degli aspetti più delicati nel processo di ricostruzione di una matrice O/D sulla base di dati telefonici è quello di determinare la soglia temporale di stazionamento in una data area (cioè il tempo in cui l'utente rimane agganciato alla stessa cella telefonica) tale da poter ritenere che il suo

spostamento sia terminato e non che si tratti di una sosta temporanea durante un viaggio (ad es. sosta rifornimento, presenza di congestione etc).

A tal fine sono state indicate delle soglie di stazionamento minime (differenti per le varie macroaree della zonizzazione) che consentono di separare il singolo spostamento effettuato dall'utente dal successivo; tali soglie sono state poste pari a 30 minuti per le zone interne all'area di studio.

Matrice di domanda

Adottando un approccio di tipo olistico in grado di tenere conto delle differenti fonti di dati è stato possibile ricostruire le dinamiche di mobilità all'interno dell'area di studio durante **l'ora di punta mattutina** di un giorno feriale medio, ottenendo tre matrici distinte, relative ai due segmenti di domanda veicolare (auto e veicoli commerciali) e al segmento di domanda legato agli spostamenti avvenuti usufruendo del trasporto pubblico.

Si riportano i risultati così ottenuti nella Tabella 2.13:

Categoria	Spostamenti nell'ora di punta mattutina (08.00 – 09.00)
Auto	41.411
Veicoli Commerciali	5.189
Trasporto pubblico	9.227

Tabella 2.13 Spostamenti per categoria nell'ora di punta mattutina

Principali criticità del sistema di mobilità pisano

Trasporto privato

La viabilità nel comune di Pisa (si veda par. da pag. 31) presenta diverse criticità, legate principalmente al grado di attrazione che il comune esercita sull'hinterland, che comporta notevoli flussi di veicoli in transito sui principali assi stradali di accesso alla città. Infatti, nonostante la città di Pisa risulti facilmente accessibile da tutto il territorio italiano grazie alla presenza delle autostrade **A11 e A12 e della SGC FI-PI-LI**, la rete viaria locale che successivamente deve svolgere il compito di distribuzione non è in grado di gestire i flussi in accesso nel centro cittadino nelle ore di La viabilità nel comune di Pisa (si veda par. da pag. 31) è fortemente influenzata dal ruolo attrattivo che il comune esercita sull'hinterland. Essendo infatti presenti sul suolo comunale sia una delle più importanti università italiane, oltre che diversi poli ospedalieri e un aeroporto internazionale, la città di Pisa svolge un ruolo di forte attrazione sia per il resto della provincia di cui è capoluogo sia per l'intera regione toscana.

Nonostante Pisa risulti facilmente accessibile da tutto il territorio italiano grazie alla presenza della **A12 e della SGC FI-PI-LI**, la rete viaria locale che successivamente deve svolgere il compito di distribuzione non è in grado di gestire i flussi in accesso nel centro cittadino nelle ore mattutine e in egresso nelle ore serali. A queste due grandi arterie si aggiungono gli assi viari extraurbani che convogliano ingenti flussi dai comuni contermini:

- **via Aurelia**, che si sviluppa a Ovest del centro cittadino in direzione Nord-Sud;
- **SS 67 Tosco-Romagnola**, che convoglia i flussi in ambito urbano su via Fiorentina e *via San Pio da Pietrelcina/via Cisanello*;
- **via Vicarese**, che raccoglie i flussi dalle frazioni a Nord-Est della città;

- **Strada Statale dell’Abetone e del Brennero**, che raccoglie i flussi provenienti da *San Giuliano Terme* e da tutti i comuni presenti tra Pisa e Lucca.

Le principali criticità risultano quindi prettamente legate alla gerarchizzazione dell’infrastruttura viaria, con grandi arterie di traffico che convergono su strade con caratteristiche funzionali notevolmente minori.

A valle di questo elenco, vengono riportate le principali criticità per ognuno degli assi viari urbani più significativi:

- **via Aurelia**, è quotidianamente soggetta a congestioni causate dall’elevato volume di traffico proveniente dai comuni di Vecchiano, dalle frazioni di San Giuliano Terme situate in prossimità dell’Aurelia a Nord-Ovest del centro cittadino di Pisa, al quale si aggiungono i flussi provenienti dalla SS 12 dell’Abetone e del Brennero. I principali nodi congestionati sono all’intersezione con *via Pietrasantina* in località *Madonna dell’acqua*, all’intersezione con *via della Fossa Ducaria* (in prossimità del ponte sull’Arno), e nell’intero tratto *tra via Aurelia e via Contessa Matilde* (adiacente a Piazza dei Miracoli);

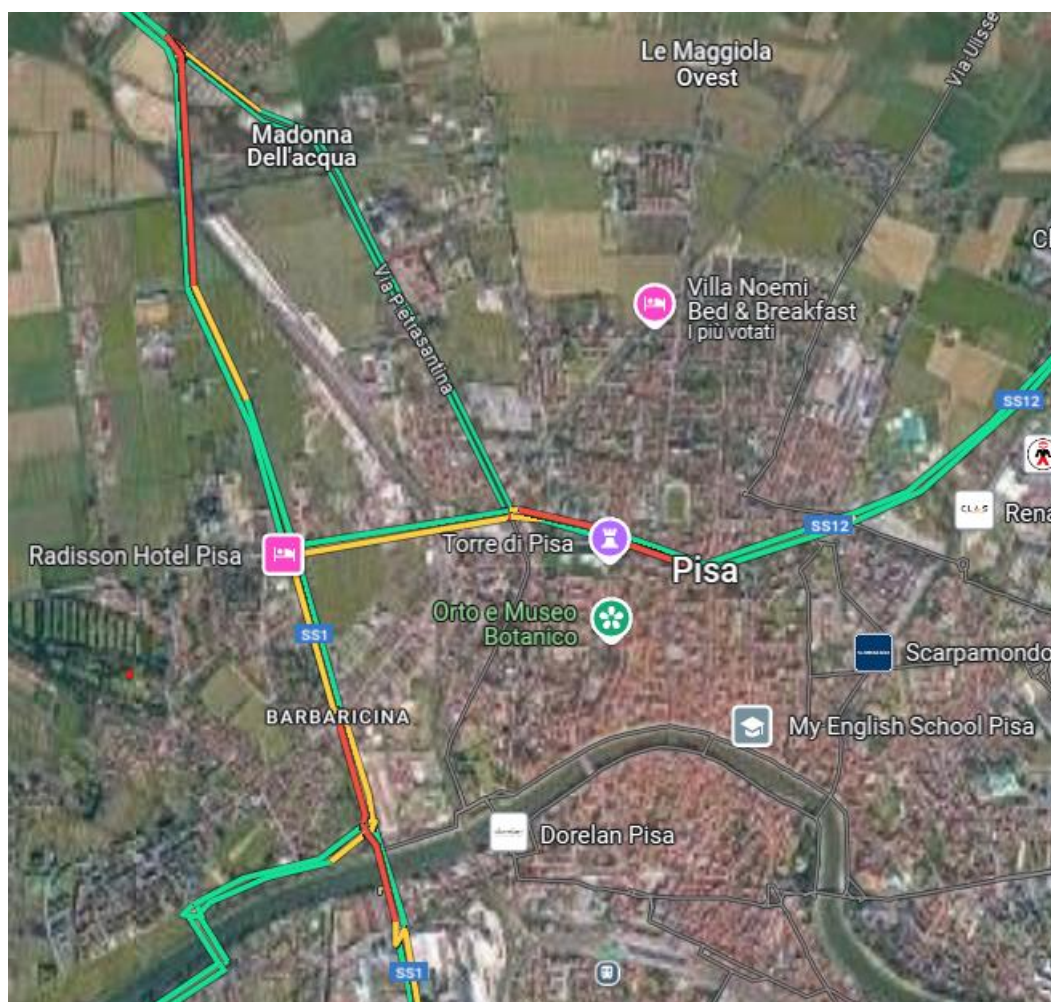


Figura 2.20 Traffico tipico su via Aurelia nel giorno ferial medio (ora di punta pomeridiana)

- **via Cisanello**, è l'arteria cruciale per l'accesso all'ospedale e ai quartieri residenziali, soffre di frequenti rallentamenti dovuti sia al traffico locale sia alla mobilità di accesso/egresso alla città di Pisa proveniente da Est dalla SS 67 e dalla diramazione della SGC FI-PI-LI, oltre che dalla SP 2;

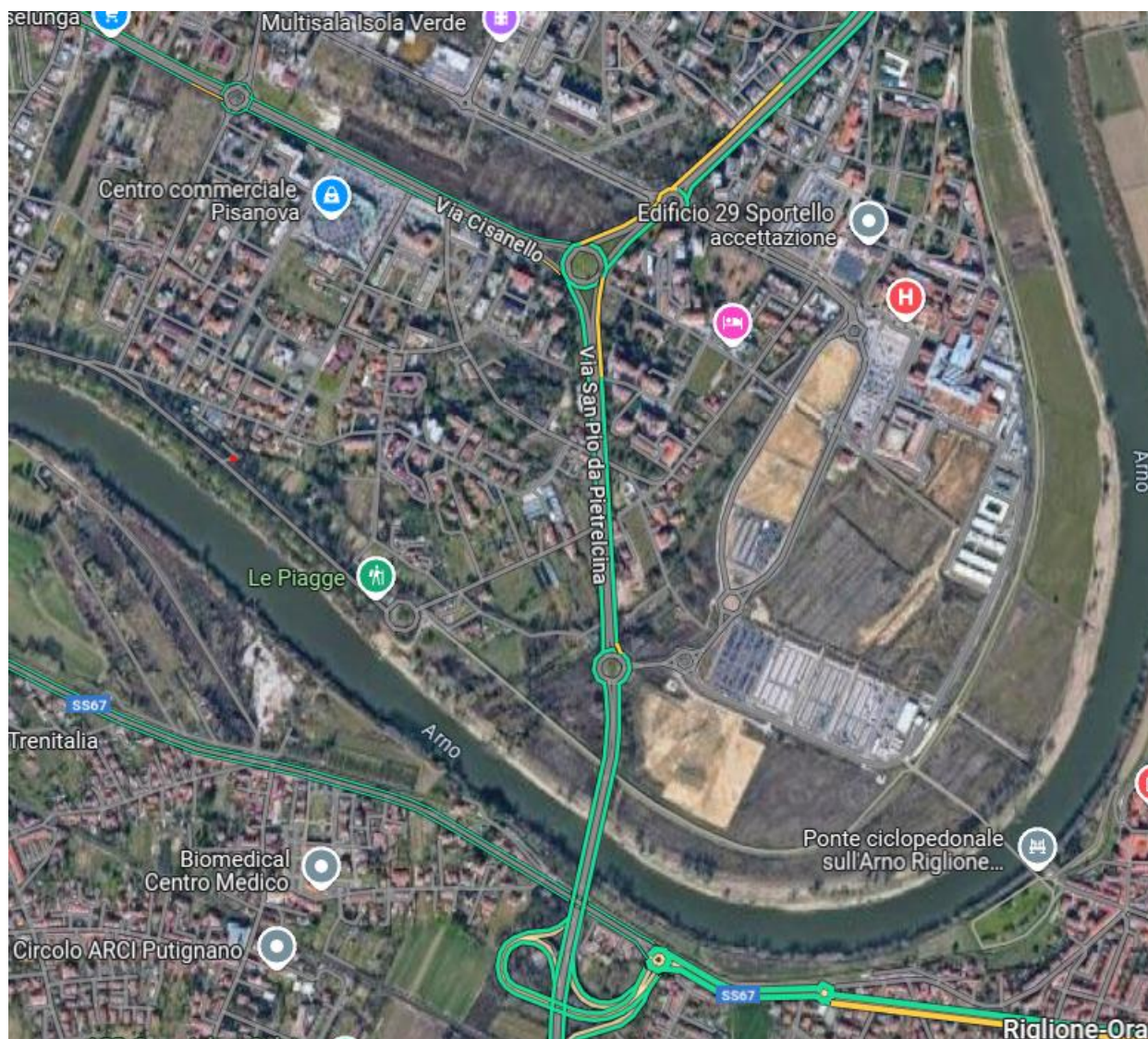


Figura 2.21 Traffico tipico sul sistema SS 67, via San Pio da Pietralcina e via Cisanello nel giorno feriale medio (ora di punta pomeridiana)

- **SP2 Vicarese**, rappresenta la viabilità principale di collegamento con Ghezzano e Mezzana, frazioni di San Giuliano Terme, ma anche con il comune di Calci. Presenta come principale criticità la rotatoria di intersezione con *via Giuseppe Moruzzi*, dovuta a flussi elevati e a una rete stradale di tipo prettamente urbana inadeguata a smaltire tali flussi;

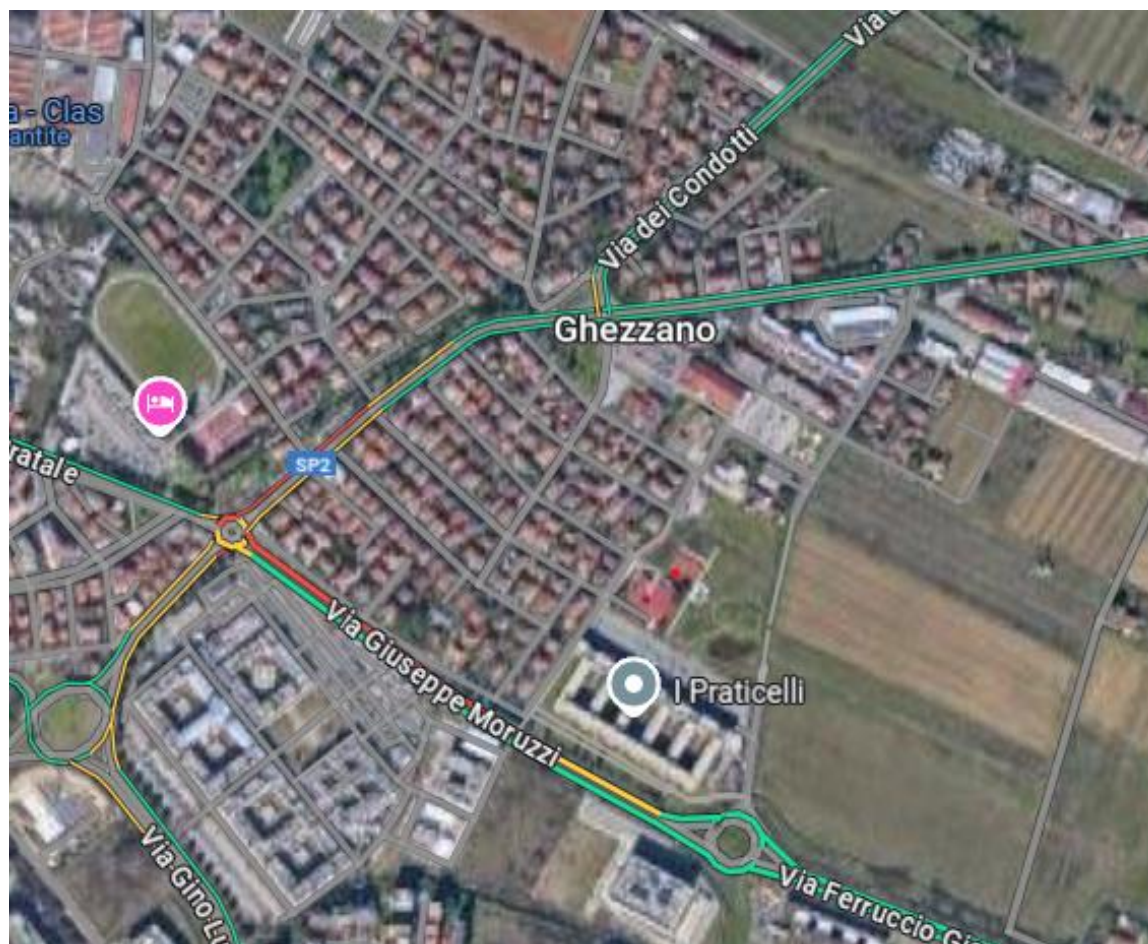


Figura 2.22 Traffico tipico su via Vicarese nel giorno feriale medio (ora di punta pomeridiana)

- **Strada statale 12 dell'Abetone e del Brennero**, rappresenta il collegamento diretto tra Pisa e il comune di San Giuliano Terme. Come nel caso di *via Vicarese*, gli elevati flussi, in questo caso dovuti anche alla presenza non trascurabile di mezzi pesanti, comporta un forte grado di congestione in prossimità di Piazza dei Miracoli (si veda Figura 2.20).

In sintesi, i problemi di congestione legati alla viabilità pisana sono prettamente dovuti sia alla forte attrattività che il comune esercita sull'hinterland, sia ai grandi assi viari che scaricano ingenti flussi su strade locali non in grado di gestirli. Alla luce di ciò, consentire alle auto di sostare nella periferia della città, tramite appositi parcheggi di scambio, consentirebbe di alleggerire i flussi da e per il centro cittadino.

Trasporto pubblico

Come ampiamente descritto nel paragrafo (si veda par. da pag.32) il comune di Pisa è fortemente collegato con il resto del territorio provinciale e nazionale sia tramite ferro che tramite gomma.

In particolar modo si sottolinea la presenza dei seguenti servizi:

- **Ferroviani:** le stazioni di Pisa Centrale e Pisa San Rossore consentono l'accesso ai servizi ferroviari in direzione dei principali capoluoghi di provincia limitrofi (Firenze, Livorno) mentre i servizi Intercity, Freccia Argento e Freccia Bianca consentono un accesso diretto a Roma e alle principali città del Nord-Ovest (Genova, Milano e Torino);
- **People Mover:** attivato nel 2017 consente l'accesso all'aeroporto dalla stazione di Pisa Centrale;

- **Gomma:** il sistema di trasporto pubblico su gomma rappresenta un sistema rapido e diretto da e per il centro di Pisa, oltre che per i poli attrattori principali come Piazza dei Miracoli o l'Ospedale di Cisanello, sia per gli spostamenti che si esplicano internamente al comune che quelli provenienti dai restanti comuni della provincia pisana.

Limitatamente all'ambito del servizio extraurbano su gomma, si riscontra l'assenza di collegamenti ad alta frequenza secondo uno schema di rete gerarchizzato. Tale impostazione, se ben organizzata a livello di interscambi tra linee feeder e portanti, potrebbe portare ad un uso più efficiente dei bus*km, prevedendo la possibilità di aumentare il numero di collegamenti giornalieri sulle direttrici principali, in un'ottica di reale alternativa all'auto privata anche per gli spostamenti di scambio su lunghe distanze.

Relativamente all'ambito urbano, alla luce di quanto appena descritto, la principale criticità risulta essere l'assenza di un sistema forte che colleghi i principali poli attrattori presenti sul territorio comunale, cioè la stazione di Pisa centrale con Piazza dei Miracoli e con i poli ospedalieri/universitari a Est della città.

Infatti, allo stato attuale, i servizi di trasporto urbano hanno prettamente il compito di distribuire i passeggeri che arrivano a Pisa o tramite la gomma alla *fermata Sesta Porta* o tramite ferro alla stazione di Pisa Centrale. Questo problema è tanto più marcato per chi proviene da Est, come da Cascina o Pontedera.

Un sistema che unisce parcheggi di scambio situati strategicamente rispetto alle tre direttrici principali di accesso alla città (SS 1 e SS 12 da Nord e Nord-Ovest, SS 67 e SGC FI-PI-LI da Est, SP 2 Vicarese da Nord-Est) e un servizio forte che collega internamente questi tre poli, ridurrebbe i tempi di viaggio soprattutto per chi provenendo da Est deve arrivare fino a *Sesta Porta* per poter effettuare un trasbordo su un mezzo urbano.

3. Il progetto della tramvia

Come illustrato in precedenza, per il documento strategico “Connettere Italia”, le infrastrutture su ferro sono la chiave per far fronte alla “questione urbana” italiana, una problematica che, più di tutte le contingenze finanziarie, rischia di trasformare la crisi da temporanea a sistemica. Gli organismi urbani italiani sono infatti inefficienti ovvero poco produttivi, poco innovativi, scarsamente relazionati nello scenario urbano mondiale, scarsamente infrastrutturati. In questa ottica i nuovi progetti di infrastrutture non devono essere visti come una risposta ad un bisogno ma una proposta ad un territorio. È giocoforza che la resilienza di un territorio non possa passare per lo smantellamento di una attrezzatura che ha avuto come fattore generante proprio quella attrezzatura.

Dal Connettere Italia hanno preso origine le Strategie per le Infrastrutture di Trasporto e Logistica che indicano le linee d’azione strategiche per la progettazione e pianificazione di nuove infrastrutture a impianto fisso:

- **Infrastrutture utili**, snelle e condivise: l’obiettivo è quello di migliorare il ciclo di progettazione e realizzazione delle infrastrutture. Si tratta di assumere le innovazioni introdotte nel processo di pianificazione, programmazione, valutazione e progettazione delle nuove opere infrastrutturali e, nel breve periodo, attraverso la revisione dei progetti (project review), in particolare di quelli eccessivamente costosi.
- **Integrazione modale e intermodalità**: il riequilibrio modale a favore di modalità di trasporto sostenibili e la riduzione delle quote modali di mobilità su gomma verrà perseguito mediante l’incentivazione di misure ad hoc mirate all’incremento dell’offerta e della qualità dei servizi.
- **Valorizzazione del patrimonio infrastrutturale esistente**: accanto ai temi dello sviluppo della rete e della qualità dell’offerta di trasporto, rimangono prioritari gli obiettivi di sicurezza, qualità ed efficientamento delle infrastrutture, in continuità con i programmi manutentivi del patrimonio infrastrutturale esistente.
- **Sviluppo urbano sostenibile**: gli obiettivi individuati saranno perseguiti attraverso l’implementazione di progetti integrati di mobilità urbana sostenibile che prevedano interventi in continuità con i grandi investimenti avviati negli ultimi anni su infrastrutture e sistemi di trasporto rapido di massa.

Il progetto per una nuova linea tramviaria a Pisa sposa in pieno questi principi realizzando infrastrutture utili, snelle e condivise attraverso una attenta valorizzazione del patrimonio infrastrutturale esistente per il sostegno e il supporto di uno sviluppo urbano sostenibile in un quadrante – quello orientale della città – nel quale grandi infrastrutture come la seconda università oppure un grande complesso ospedaliero sono rimasti sganciati dalla rete del trasporto di massa.

Quanto sopra detto si traduce nell’assumere come principio guida della progettazione la ricerca di una soluzione capace di coniugare efficacia ed efficienza, riducendo allo stretto necessario le opere d’arte.

Il tracciato della tramvia

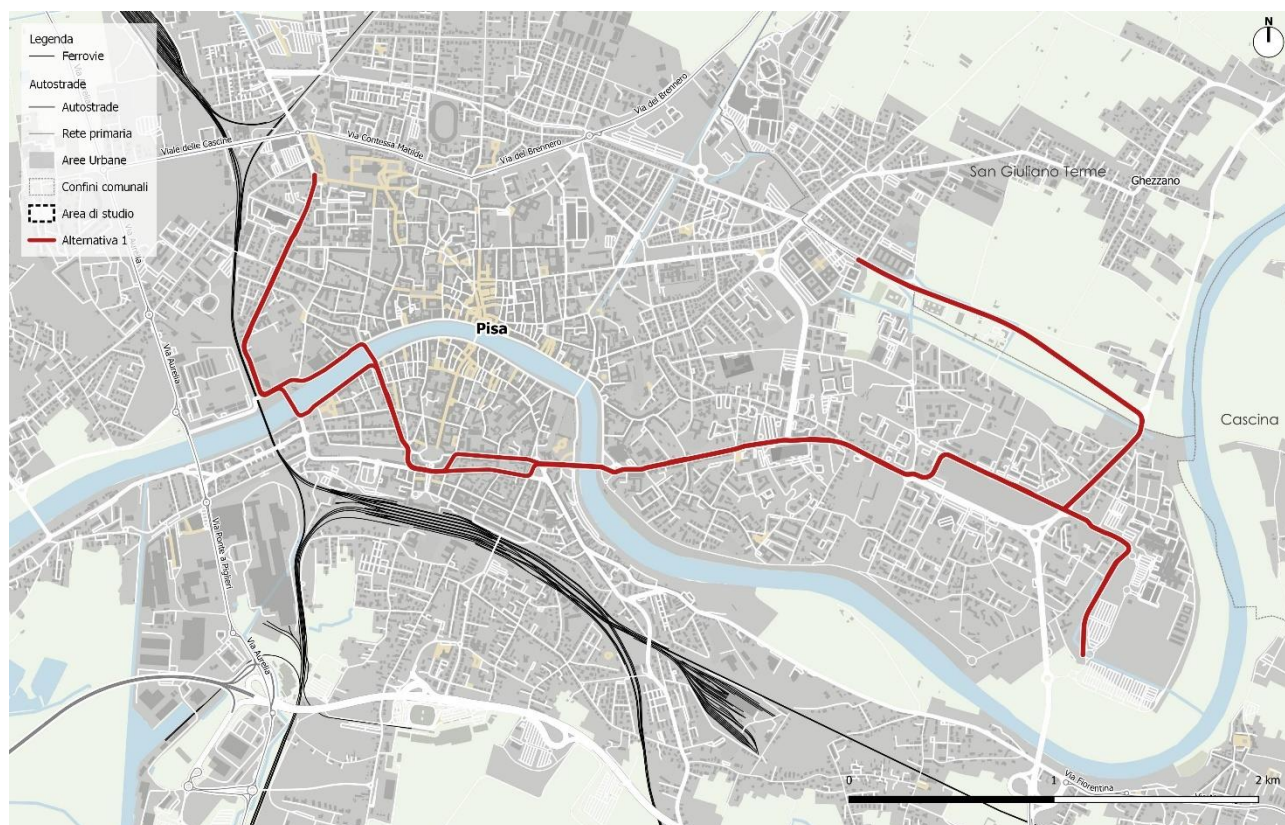


Figura 3.1 Tracciato della tramvia

Tracciato principale: Il tracciato principale si sviluppa su una lunghezza di circa 9 km, partendo da Piazza Daniele Manin, nelle immediate vicinanze di Piazza dei Miracoli e della Torre Pendente. Il percorso prosegue lungo Via Bonanno Pisano, attraversando il fiume Arno, per poi giungere in corrispondenza della Stazione Centrale, in Via Francesco Bonaini. Da questo punto, il tracciato si orienta verso est, attraversando nuovamente l'Arno e deviando su Via Carlo Matteucci. Successivamente, il percorso si sviluppa su Via Cisanello e Via Bargagna, raggiungendo l'Ospedale di Cisanello, con termine nelle vicinanze della rotonda "Maria di Vestea Fischmann".

Diramazione per il CNR e San Giuliano Terme: In corrispondenza di Via Italo Bargagna, si dirama una biforcazione finalizzata a servire il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) e il parcheggio di scambio situato nel comune di San Giuliano Terme, su Via Ferruccio Giovannini. In quest'area è previsto anche il costruendo deposito tranviario.

4. Il modello di simulazione

Al fine di stimare gli impatti che saranno generati dalla realizzazione del nuovo sistema tranviario oggetto dello studio, si è proceduto ad implementare un modello di simulazione multi-modale della domanda e dell'offerta di trasporto utilizzando il software PTV VISUM. Come base dati per ricostruire le caratteristiche del sistema di offerta sono stati utilizzati i dati raccolti ed elaborati da OpenStreetMap. Per quanto riguarda invece i dati di domanda, si è fatto riferimento alle fonti dati citate nel paragrafo Le fonti dati.

Nei prossimi paragrafi vengono dettagliatamente descritte le caratteristiche del modello di base e tutti gli ulteriori elementi di dettaglio che sono stati specificamente introdotti per lo studio in esame.

Area di studio e zonizzazione

Così come previsto nella pianificazione dei trasporti, l'area di studio illustrata nel paragrafo (si veda par. da pag.7) è stata suddivisa in zone omogenee che rappresentano le aree di generazione e attrazione della domanda di mobilità, comunemente chiamate "zone di traffico". Dualmente, il resto del territorio italiano è stato suddiviso in zone con differenti gradi di aggregazione, tenendo conto sia della viabilità di accesso che della prossimità all'area di studio.

La suddivisione è stata realizzata utilizzando le unità censuarie ISTAT, che sono state aggregate tramite procedure sviluppate ad hoc in base alle peculiarità del territorio dell'area di studio, come la popolazione e gli addetti. A seconda della prossimità agli interventi progettuali, il livello di dettaglio delle zone è stato progressivamente aumentato, garantendo così una rappresentazione più precisa della realtà dei flussi di mobilità.

Per ottenere la zonizzazione del modello di simulazione utilizzato ai fini dello studio, il territorio è stato suddiviso quindi in 182 zone di traffico, che possono essere suddivise in quattro tipologie così definite:

- **Area Core:** coincide con l'area di studio, sono state implementate 162 zone di traffico, sono quelle maggiormente impattate dal sistema tranviario oggetto dello studio;
- **Area Comuni:** corrisponde alla prima corona di comuni contermini all'area di studio, è costituita da 10 zone che coincidono con i comuni limitrofi alla suddetta area o a una loro aggregazione;
- **Area Province:** è la seconda corona ed è formata da 7 zone, coincidenti con le province contermini a Pisa o una loro aggregazione;
- **Resto di Italia:** corrisponde alla corona più esterna, costituita da 3 zone che coincidono con le tre viabilità di accesso all'area di studio (SS1 e A12 da Nord Ovest, A1 da Nord e A1 da Sud).

Di seguito, Figura 4.1 e Figura 4.2, si riporta la zonizzazione completa e lo zoom sull'area di studio.

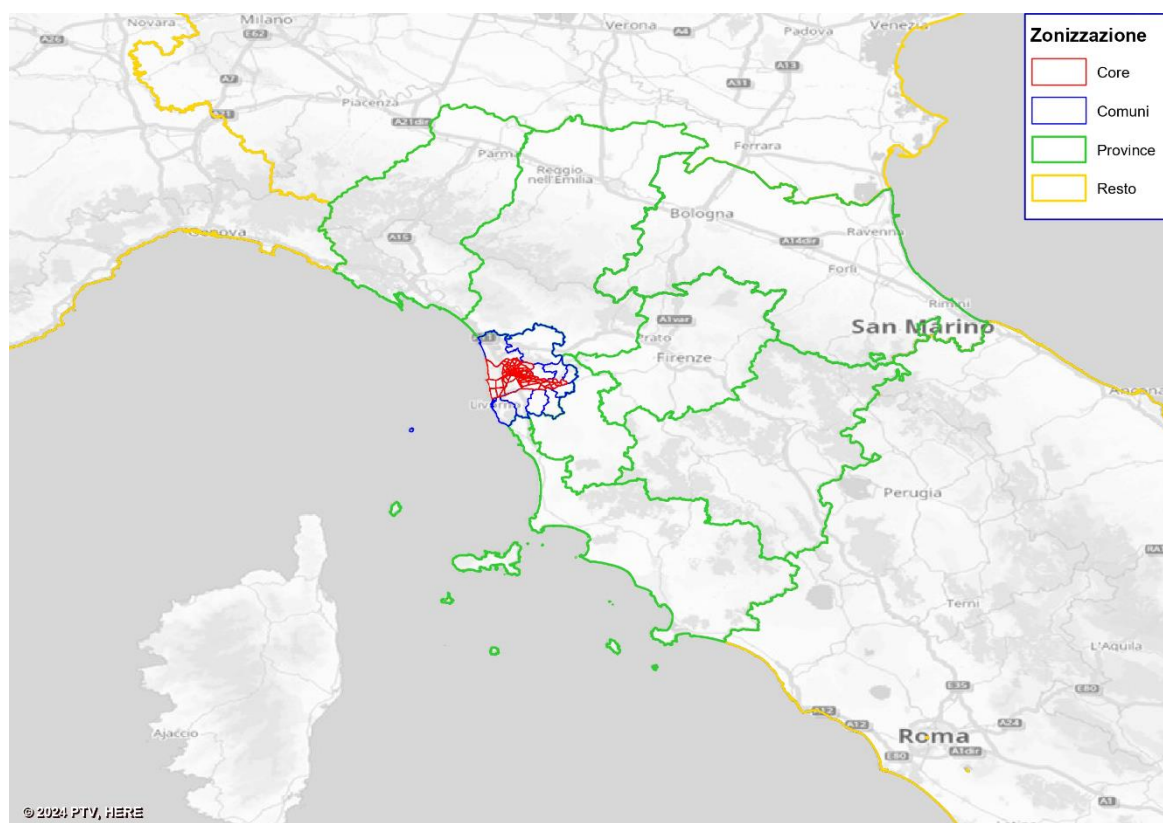


Figura 4.1 Zonizzazione completa

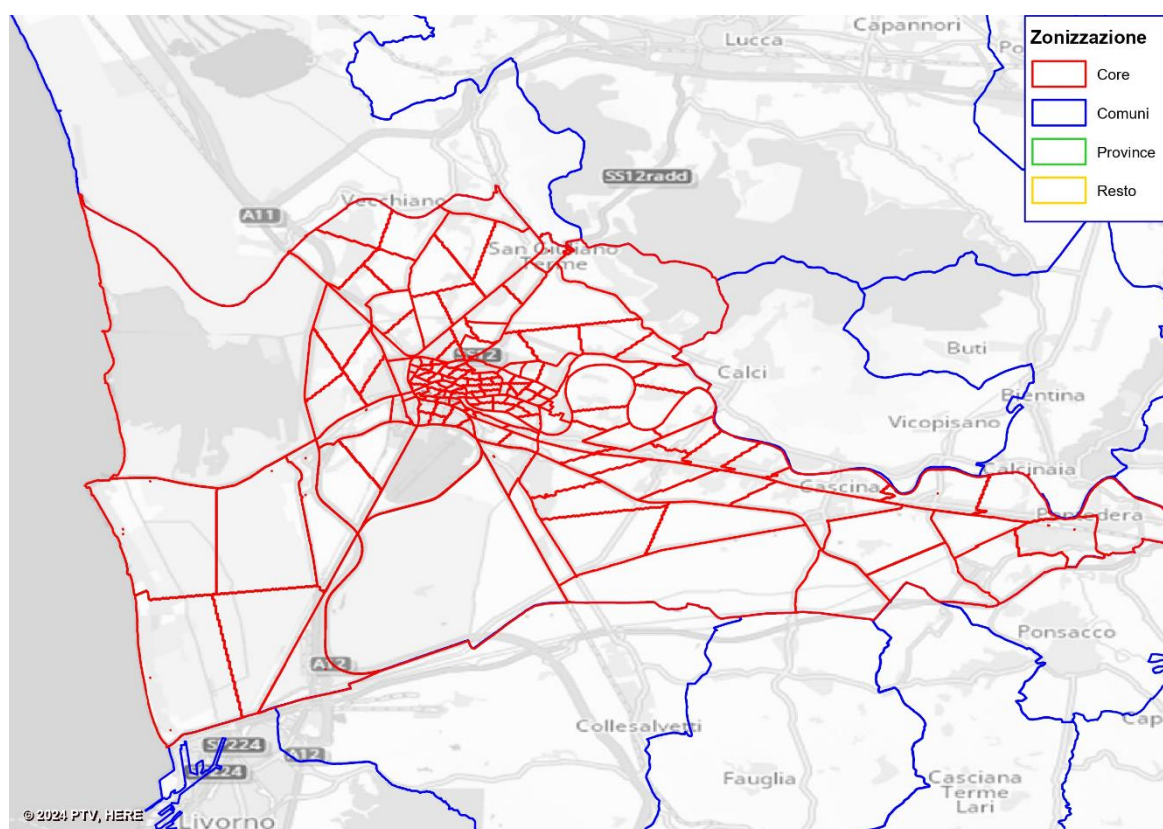


Figura 4.2 Zonizzazione area di studio

Dopo la zonizzazione, si posizionano i centroidi, ossia i punti che rappresentano le principali origini e destinazioni degli spostamenti in una zona. Il loro posizionamento è stato effettuato tenendo conto

della densità abitativa e delle attività presenti. In aree con grandi poli attrattivi, questi diventano il “baricentro” trasportistico, dove si ipotizza che convergano la maggior parte degli spostamenti generati ed attratti dalle zone di traffico.

Si sottolinea che, date le analisi preliminari atte a definire l’area di studio, così come illustrato nel paragrafo a pag. 7, nel caso in esame **l’area di influenza coincide con l’area di studio**.

Il modello di offerta

Il sistema dell’offerta di trasporto è costituito da quelle componenti fisiche, come ad esempio le infrastrutture, oltre che quelle organizzative e normative, come la gestione della circolazione, che determinano la produzione del servizio di trasporto e le relative caratteristiche.

Nei paragrafi che seguono si descrive come è stata costruita l’offerta per le due componenti della mobilità (trasporto privato e trasporto pubblico), per i quali si riporta anche una nota sintetica sugli algoritmi di calcolo utilizzati.

Trasporto privato

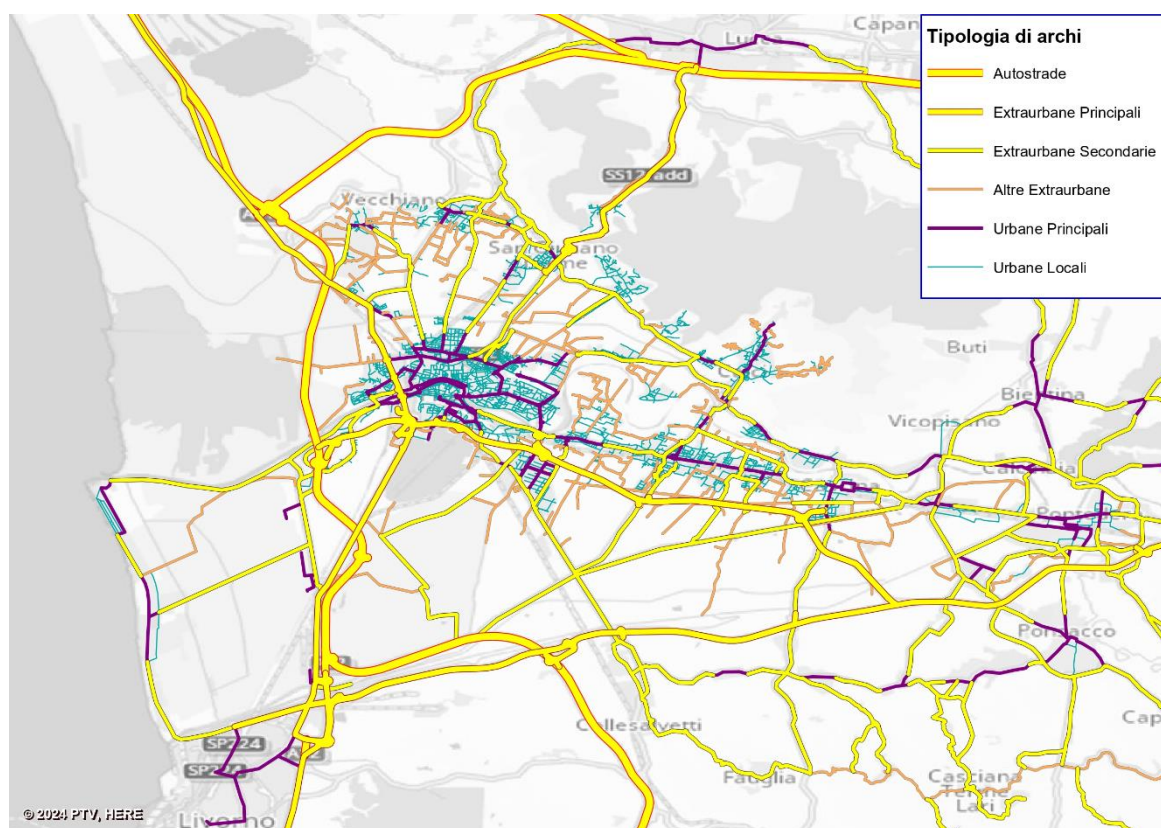


Figura 4.3 Rete stradale a servizio dell'area di studio

La rete stradale descritta nel paragrafo (si veda par. da pag.31) è schematizzata come successione di archi e nodi che vengono descritti in base alle loro caratteristiche fisico - geometriche.

Ogni arco è rappresentativo di un asse stradale, o di una sua porzione, che presenta caratteristiche omogenee, mentre i nodi sono rappresentativi delle intersezioni tra tronchi stradali o vengono posizionati in corrispondenza di variazioni significative delle caratteristiche geometriche dell’asse.

La rete implementata nel modello ricostruisce con buon dettaglio il sistema della viabilità esistente nell’area di studio ed in particolare lungo il corridoio stradale che ospiterà la nuova linea tranviaria, ed è illustrata nella Figura 4.3.

Ogni arco che compone il grafo stradale è stato descritto con le informazioni relative alla sua lunghezza, al numero di corsie disponibili per il deflusso, al limite di velocità. Inoltre, sulla base della sezione, geometria e tipologia di intersezione finale, ad ogni arco è stata attribuita una classe funzionale e per ogni classe funzionale sono stati associati specifici valori di capacità e velocità.

Nel complesso, la rete stradale implementata nel modello di simulazione è composta da circa **11.500 archi percorribili dal trasporto privato** che si sviluppano per **oltre 1.600 km all'interno dell'area di studio**.

Si riporta in Tabella 4.1, la sintesi delle tipologie di archi implementate nel modello di simulazione, con il numero della Tipologia a esse associato e la lunghezza chilometrica effettivamente percorribile all'interno dell'area di studio.

Numero Tipologia	Nome	Lunghezza (km)
10	Autostrade 2 corsie	38.90
18	Rampe autostradali 2 corsie	1.64
19	Rampe autostradali 1 corsie	4.18
20	Extraurbane Principali 2 corsie	40.91
21	Extraurbane Principali 1 corsia 1° tipo	16.62
22	Extraurbane Principali 1 corsia 2° tipo	27.15
28	Rampe Extraurbane Principali 2 corsie	1.77
29	Rampe Extraurbane Principali 1 corsia	18.65
30	Extraurbane Secondarie 2 corsie	7.62
31	Extraurbane Secondarie 1 corsia 1° tipo	124.35
32	Extraurbane Secondarie 1 corsia 2° tipo	168.80
39	Extraurbane Secondarie intersezioni	8.59
40	Extraurbane Locali 1 corsia 1° tipo	90.54
41	Extraurbane Locali 1 corsia 2° tipo	286.50
49	Extraurbane Locali intersezioni	1.16
70	Urbane Interquartiere 2 corsie	15.64
71	Urbane Interquartiere 1 corsia 1° tipo	64.30
72	Urbane Interquartiere 1 corsia 2° tipo	67.55
79	Urbane Interquartiere intersezione	8.65
80	Urbane locali 1° tipo	75.55
81	Urbane locali 2° tipo	91.06

Numero Tipologia	Nome	Lunghezza (km)
82	Urbane locali 3° tipo	472.53
83	Urbane locali ztl	16.20
TOT		1.632,66

Tabella 4.1 Tipologie di archi

Per i nodi stradali, che, come detto, rappresentano le intersezioni tra diversi archi stradali, sono state definite le penalità di svolta e le capacità delle svolte stesse. Sulla base della tipologia di archi (classifica funzionale) che insistono su un'intersezione e dalla geometria dell'intersezione sono state definite:

- le regole di precedenza tra le strade che convergono nel nodo;
- il tipo di manovre di svolta: a destra, diritto, a sinistra, inversione a U.

Per ogni manovra su ciascuna intersezione, sono stati associati “perditempo” caratteristici, così da tenere conto delle diverse proprietà (maggiore o minore facilità di eseguire la manovra) di ciascuna manovra di svolta.

Oltre ai nodi rappresentativi delle intersezioni, un'importante classe di nodi è costituita dai nodi **centroidi (182 nodi pari al numero delle zone di traffico)**, nei quali si ipotizzano concentrate tutte le attività di una zona e dove, quindi, risultano ubicate le origini e le destinazioni degli spostamenti generati o attratti dalla zona stessa. Generalmente essi non corrispondono a luoghi fisici e vengono solitamente posizionati nel baricentro della zona di traffico; essi sono collegati al grafo della rete stradale tramite archi fittizi che prendono il nome di “connettori”, che svolgono la funzione di collegare le zone di domanda alla rete e consentono di modellizzare l'ingresso e l'egresso dalla rete da parte degli utenti.

È utile sottolineare che una delle più importanti e delicate operazioni di calibrazione del modello di dell'offerta di un sistema di trasporto, è proprio quella di posizionare correttamente gli archi connettori, in modo che non si generino delle distorsioni nell'utilizzo della rete da parte degli utenti che, per poter accedere o uscire da una zona di traffico, devono necessariamente transitare per il/i nodo/i della rete stradale a cui è collegato l'arco connettore.

La ricostruzione del modello di offerta ha previsto una fase di calibrazione e validazione delle performance della rete. Tale operazione, è stata condotta verificando la coerenza dei percorsi seguiti dai veicoli privati, in termini di distanza e tempo di viaggio.

Questa metodologia è stata applicata sia per verificare la coerenza della rete in condizioni scariche o a flusso nullo, sia per le condizioni a rete carica. Per fare ciò si sono confrontate le distanze e i tempi tra centroidi ottenuti da modello di simulazione con quelli reperiti dal software di navigazione HERE.

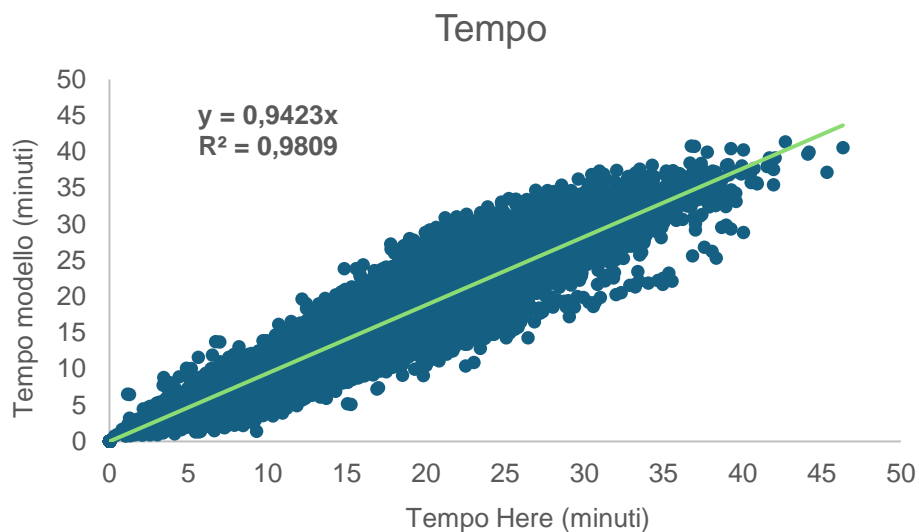


Figura 4.4 Calibrazione del trasporto privato – Tempi medi di viaggio tra O/D - ora notturna

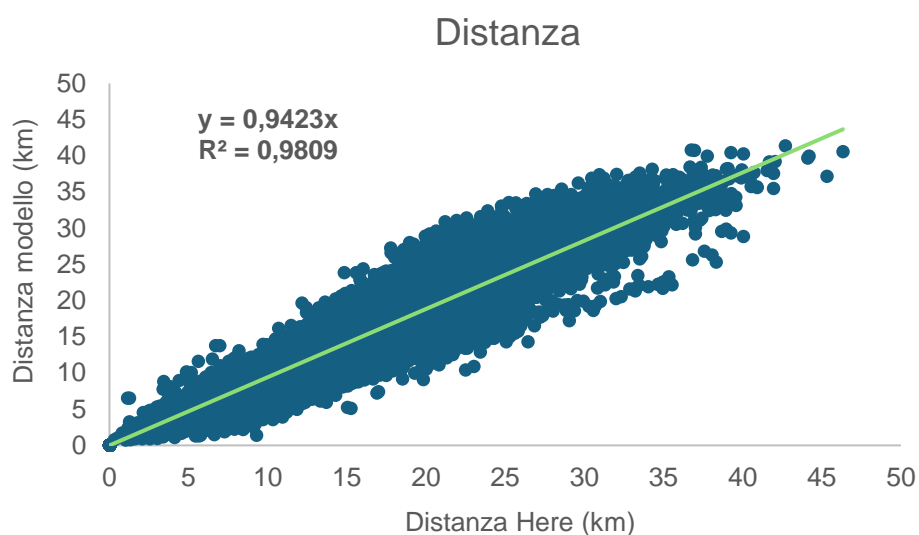


Figura 4.5 Calibrazione del trasporto privato – Distanze medie di viaggio tra O/D - ora notturna

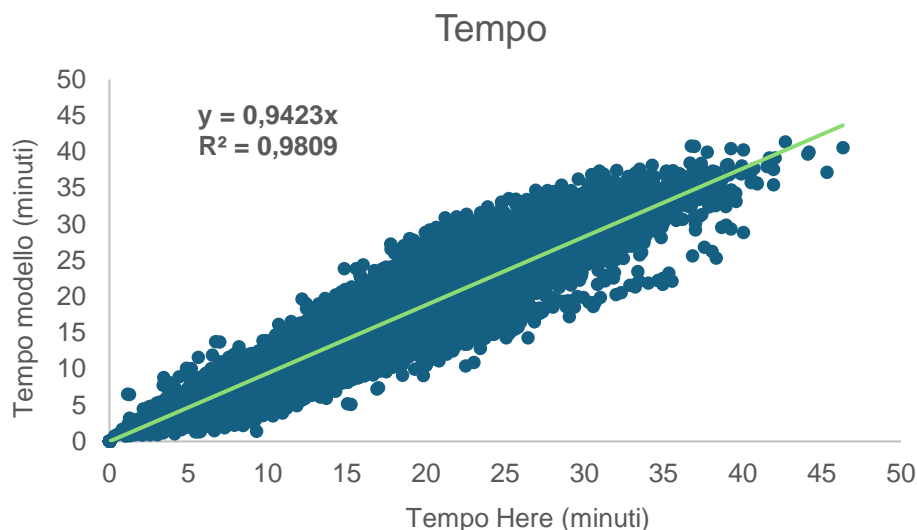


Figura 4.6 Calibrazione del trasporto privato – Tempi medi di viaggio tra O/D - ora di punta mattutina

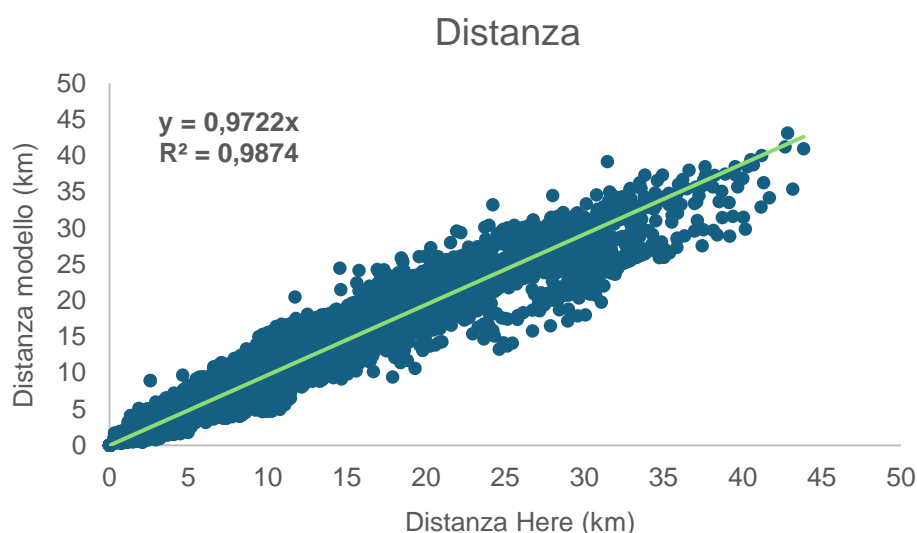


Figura 4.7 Calibrazione del trasporto privato – Distanze medie di viaggio tra O/D - ora di punta mattutina

Trasporto pubblico

Come ampiamente illustrato nel paragrafo (si veda par. da pag.32), il modello di trasporto pubblico implementato comprende sostanzialmente:

- rete urbana, suburbana ed extraurbana del trasporto su gomma operata da **Autolinee Toscane S.p.A.**;
- rete del sistema ferroviario regionale, interregionale e nazionale operato da **Trenitalia**;
- people mover “Pisa Mover”, operato da **PisaMover S.p.A.**

In ragione delle finalità dello studio in esame e dell'estensione dell'area di studio, le reti sono state schematizzate definendo i percorsi gli orari e le frequenze per ciascuna linea.

Nel modello implementato sono rappresentate complessivamente il seguente numero di corse per le differenti tipologie di servizio pubblico, di seguito riportate in Tabella 4.2.

Tipologia di servizio	N° corse giornaliere
Trasporto su gomma	2.539
Sistema ferroviario (regionale, interregionale, nazionale)	626
People mover	434
Totale	3.599

Tabella 4.2 Numero di corse per tipologia di servizio (giorno feriale medio)

Modello di domanda

Stima della matrice Origine-Destinazione (O/D)

La matrice Origine – Destinazione utilizzata per le analisi modellistiche è stata ottenuta attraverso un approccio olistico che ha preso in considerazione diverse fonti dati di mobilità, dalle tradizionali come l'indagine sul pendolarismo ISTAT a quelle innovative (Big Data) generate sia dalle scatole nere dei veicoli connessi (FCD) oltre che i dati telefonici Vodafone. Tale approccio nasce da una maturata esperienza sull'utilizzo delle nuove fonti dati (Big Data) che ha messo in evidenza come tali fonti, a causa delle loro debolezze intrinseche, non debbano essere considerate e analizzate in sostituzione o in contrapposizione a quelle di tipo tradizionale, ma come invece debbano essere integrate a queste ultime, secondo il principio del mutuo sostegno, allo scopo di compensarne i difetti strutturali di ciascuna ed esaltarne i punti di forza.

La matrice di partenza utilizzata per tale approccio è stata quella generata a partire dai dati telefonici. Tale matrice è costituita da tutti gli spostamenti senza distinzione per modalità di trasporto (amodali), ma classificati secondo le tipologie di utenza (residenti nell'area di studio, non residenti, stranieri), fasce di età (4 fasce), e cardinalità dello spostamento (1° spostamento, 2° spostamento, etc.).

Il primo passo è stato quello di individuare l'ora di punta mattutina del giorno feriale medio per rappresentare le matrici O/D, nel caso studio l'ora di punta della mattina del giorno feriale medio corrisponde alle **08:00-09:00**.

Adottando un approccio di tipo olistico in grado di tenere conto delle differenti fonti di dati, a valle del processo di calibrazione e validazione è stato possibile ricostruire le dinamiche di mobilità all'interno dell'area di studio durante l'ora di punta mattutina di un giorno feriale medio.

Sono state in questo modo ottenute tre matrici distinte, relative ai due segmenti di domanda veicolare (auto e veicoli commerciali) e al segmento di domanda corrispondente agli spostamenti avvenuti usufruendo del trasporto pubblico.

Risultano quindi (Tabella 2.13):

- 33.183 autoveicoli (per un totale di 41.411 spostamenti, considerando i riempimenti medi);
- 5.189 veicoli commerciali;
- 9.227 spostamenti utilizzando il trasporto pubblico locale.

Si sottolinea come per ottenere il numero di spostamenti effettuati con il trasporto privato, è necessario convertire i veicoli presenti sulla rete nel numero di persone che si spostano con il trasporto privato (conducente più passeggeri), a mezzo di coefficienti di riempimento delle

autovetture. Tali coefficienti sono stati stimati per ogni relazione O/D basandosi sulla matrice del pendolarismo ISTAT del 2011.

Modello di ripartizione modale

Prima di passare ad esporre le attività svolte per la simulazione degli scenari (attuali e futuri), si ritiene importante descrivere la struttura del modello di ripartizione modale implementato, calibrato e validato al fine di stimare la scelta della modalità di trasporto effettuata dagli utenti, e la variazione rispetto allo stato di fatto che si determina, sia nello scenario di riferimento che in quello di progetto, in virtù delle modifiche apportate all'offerta di trasporto pubblico e privato.

Tramite la definizione di una funzione di utilità legata ad alcuni parametri specifici delle alternative di spostamento, tale tipologia di modello fornisce come output le percentuali di ripartizione modale, per relazione O/D, degli spostamenti sulle modalità di trasporto tra cui l'utente effettua la scelta.

Le funzioni di utilità consistono in una combinazione lineare di un set di parametri, moltiplicati per dei coefficienti (β) che ne indicano il peso percepito dall'utenza.

In particolare, la funzione di utilità del trasporto privato ha la seguente forma funzionale:

$$U_{\text{auto}} = \beta T_{\text{auto}} \cdot T_{\text{auto}} + \beta C_{\text{auto}} \cdot C_{\text{auto}} + \beta ZTL_{\text{destinazione}} \cdot ZTL_{\text{destinazione}}$$

dove:

- T_{auto} = tempo di percorrenza sulla relazione O/D (minuti);
- $C_{\text{auto}} = 0,1 \cdot \text{Distanza auto} + \text{Pedaggio auto} + \text{Costo Park Destinazione (€)}$;
- $ZTL_{\text{destinazione}} = 1$ se la zona di destinazione è ZTL; 0 altrimenti (#).

I valori assunti dai coefficienti β risultano:

- $\beta T_{\text{auto}} = -0,06$;
- $\beta C_{\text{auto}} = -0,3$;
- $\beta ZTL_{\text{destinazione}} = -1$.

Mentre la funzione di utilità del trasporto pubblico assume la forma:

$$\begin{aligned} UTPL = & \beta T_{\text{tempo accesso/egresso}} \cdot T_{\text{accesso/egresso}} + \\ & + \beta f_{\text{frequenza}} \cdot SFQ_{\text{frequenza}} + \beta C_{\text{costo biglietto}} \cdot C_{\text{biglietto}} + \\ & + \beta T_{\text{tempo piedi}} \cdot T_{\text{piedi}} + \beta T_{\text{tempo bordo}} \cdot T_{\text{bordo}} + \\ & + \beta T_{\text{tempo trasbordo}} \cdot T_{\text{trasbordo}} + \beta N_{\text{numero trasbordi}} \cdot N_{\text{trasbordi}} + \\ & + \beta P_{\text{presenza ferro}} \cdot PR_{\text{ferro}} + ASCTPL \end{aligned}$$

dove:

- $T_{\text{accesso/egresso}}$ = tempi pedonali sui connettori in accesso/egresso dai centroidi (minuti);
- $SFQ_{\text{frequenza}}$ = numero di collegamenti possibili nell'intervallo di assegnazione tra la zona di origine e quella di destinazione (#);
- $C_{\text{biglietto}}$ = costo del biglietto (€);
- T_{piedi} = tempo pedonale su rete necessario a raggiungere la fermata (minuti);
- T_{bordo} = tempo a bordo (minuti);

- $T_{\text{trasbordo}}$ = tempo di attesa per l'eventuale trasbordo (minuti);
- $N_{\text{trasbordi}}$ = numero di trasbordi (#)
- PR_{ferro} = prodotto della percentuale di area coperta dai buffer delle fermate delle linee su ferro per la zona di origine e quella di destinazione¹¹ (#);
- $ASCTPL$ = parametro specifico dell'alternativa modale pari a +1,21 € (determinato in fase di calibrazione).

Questi i valori assunti dai coefficienti β :

- $\beta_{\text{Tempo}_{\text{accesso/egresso}}} = -0,2$;
- $\beta_{\text{SFQ}_{\text{frequenza}}} = +0,13$;
- $\beta_{\text{Costo}_{\text{biglietto}}} = -1,18$;
- $\beta_{\text{Tempo}_{\text{piedi}}} = -0,03$;
- $\beta_{\text{Tempo}_{\text{bordo}}} = -0,17$;
- $\beta_{\text{Tempo}_{\text{trasbordo}}} = -0,3$;
- $\beta_{\text{Numero}_{\text{trasbordi}}} = -0,36$;
- $\beta_{\text{PR}_{\text{ferro}}} = +0,91$.

I valori dei parametri sono stati calcolati dal modello di simulazione o, in alternativa, sono stati reperiti da fonte esterna (AT per costo biglietto, siti comunali per tariffazione sosta, etc.).

Determinato il valore numerico delle funzioni, la probabilità di scelta di ciascuna alternativa è definita secondo un modello di tipo logit binomiale, applicando la seguente formula:

$$p_{od}^j = \frac{e^{\frac{U_{od}^j}{\theta}}}{\sum_{i=1}^m e^{\frac{U_{od}^i}{\theta}}}$$

Pertanto, la probabilità della generica alternativa p_{od}^j è determinata dal rapporto tra il numero di Nepero elevato all'utilità di tale alternativa (U_{od}^j) diviso un coefficiente θ (che esprime il livello di stocasticità del modello) e la sommatoria dei rapporti per tutte le alternative di scelta disponibili.

Per determinare il valore dei coefficienti (compreso θ) è stata minimizzata, per relazione O/D a livello di macroarea (sia per il modo auto che per il trasporto pubblico), la somma degli scarti quadratici tra gli spostamenti da matrice O/D e quelli ottenuti a partire dalle probabilità calcolate dal modello di ripartizione modale.

Negli scenari di previsione, introducendo i nuovi valori dei parametri ricavati dal modello in funzione delle performance del sistema di offerta implementato, vengono quindi ottenute le stime delle relative quote di spostamenti su auto privata e trasporto pubblico la fascia oraria di analisi.

È opportuno sottolineare che, in funzione della maggiore disponibilità dei dati e nell'ottica di massimizzare l'affidabilità dei risultati ottenuti, **la calibrazione del modello di ripartizione modale ha interessato solo i dati relativi alle coppie O/D che compongono la cosiddetta “area di studio”**.

¹¹ 800 metri per le stazioni ferroviarie e 200 metri per le fermate del tram. In fase di calibrazione del modello, si è utilizzato soltanto il dato relativo alle stazioni ferroviarie, in quanto il servizio tranviario non è ancora in esercizio allo stato attuale.

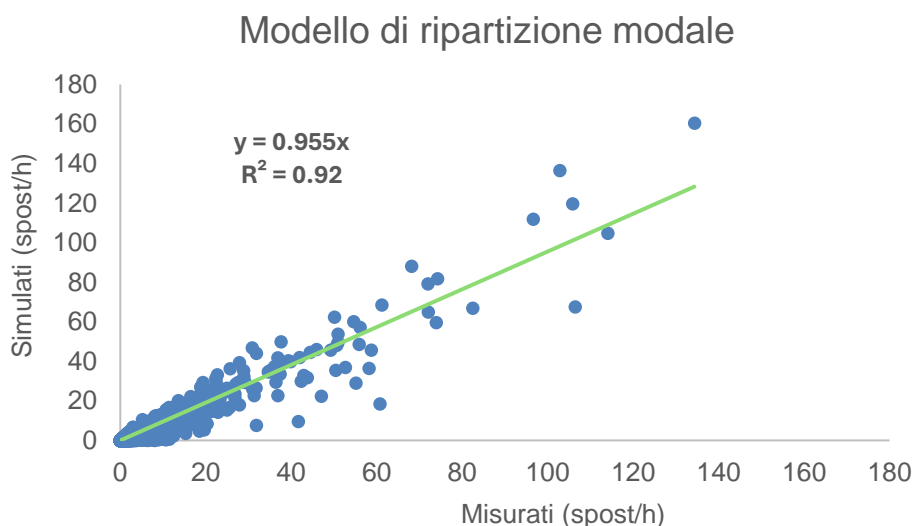


Figura 4.8 Scattergram modello di ripartizione modale

Modello di assegnazione

I modelli di assegnazione sono degli algoritmi matematici che consentono di simulare le modalità con cui la domanda utilizza il sistema di offerta. Applicando queste procedure, quindi, è possibile ottenere delle stime dei flussi di traffico sugli archi della rete stradale ovvero la stima degli utenti che utilizzano una data linea di trasporto pubblico.

Trasporto privato

Il software VISUM utilizza specifici algoritmi per calcolare i volumi del traffico privato sui singoli archi della rete stradale.

Come detto, gli algoritmi di assegnazione permettono di simulare le logiche di comportamento degli automobilisti che sono portati a scegliere l'itinerario del viaggio minimizzando il costo generalizzato del trasporto. Questo comprende, oltre agli eventuali costi monetari, la lunghezza dell'itinerario ed il tempo di viaggio; mentre i primi due parametri dipendono esclusivamente dalle caratteristiche proprie della rete stradale, il tempo di viaggio è invece influenzato dai flussi di veicoli che occupano gli archi.

La procedura di assegnazione è basata su un algoritmo per la ricerca degli itinerari ottimi. Ogni itinerario viene calcolato minimizzando la funzione di costo generalizzato che sinteticamente può essere espressa dalla formula:

$$\text{Costo gen.} = T \cdot VOT + D \cdot VOC + Cp$$

dove:

- T = tempo di percorrenza;
- VOT = valore monetario del tempo;
- D = distanza percorsa;
- VOC = costo operativo (carburante, consumo pneumatici, etc.);
- Cp = eventuali costi di pedaggio.

A rete scarica il tempo di percorrenza è unicamente funzione della velocità massima consentita dai limiti di circolazione, mentre in presenza di altri autoveicoli la velocità si riduce e dipende dal livello di congestione.

Il tempo di percorrenza con un dato flusso di veicoli viene dunque determinato con una funzione detta “curva di deflusso” o “capacity restraint” (funzione CR), che descrive la relazione esistente tra la capacità di una strada ed il flusso che la interessa.

Il software VISUM consente di applicare differenti tipologie di curve; nel caso in esame il modello è stato implementato utilizzando curve di deflusso di tipo BPR (“Bureau of Public Roads”) derivate dall’HCM (manuale americano “Highway Capacity Manual”).

Le curve BPR presentano la seguente formulazione

$$T_{corr} = T_0 \cdot \left[1 + a \left(\frac{q}{q_{max} * c} \right)^b \right]$$

dove:

- T_{corr} = tempo di percorrenza a rete carica;
- T_0 = tempo di percorrenza a rete scarica;
- q = flusso presente sull’arco stradale;
- q_{max} = capacità dell’arco stradale;
- a, b, c = parametri caratteristici adimensionali che variano con la tipologia degli archi e che determinano la pendenza e la convessità della funzione.

Il flusso del traffico presente sulla rete viene calcolato con la seguente funzione:

$$q = \sum_{i=1}^{NumSist} q_i + q_{precarico}$$

dove:

- q_i = flusso del sistema di trasporto i-esimo,
- $q_{precarico}$ = flusso preliminare e rappresentativo di una mobilità non espressa direttamente nella matrice O/D (ad esempio la mobilità intrazonale).

La procedura di calcolo utilizzata è quella detta “assegnazione all’equilibrio”, coerente con il *Primo Principio di Wardrop*; tale metodo di calcolo sottintende l’ipotesi che gli utenti abbiano una conoscenza completa delle caratteristiche della rete e dello stato del traffico sulla rete e decidano di conseguenza l’itinerario migliore.

Nel software VISUM tale procedura è implementata attraverso una prima assegnazione di tipo incrementale, in modo che il numero di veicoli presenti sulla rete aumenti gradualmente e di conseguenza l’impedenza di ogni tratto di strada possa variare gradualmente in funzione del flusso. Successivamente vengono effettuate diverse iterazioni per ricercare i percorsi con impedenza inferiore e quindi bilanciare i flussi tra tutti i possibili itinerari per ciascuna relazione O/D.

L’assegnazione, come è stato già illustrato in precedenza, è stata condotta per l’ora di punta mattutina del giorno feriale medio, corrispondente alle **08:00-09:00**.

Trasporto pubblico

I dati di input per il modello di trasporto pubblico comprendono tutte le informazioni relative al servizio offerto (linee, percorsi, orari e tempi di percorrenza, sia dei mezzi su gomma che su ferro) ed alla domanda di trasporto. Sulla base di questi dati, i risultati delle procedure di calcolo per il trasporto pubblico consentono di:

- determinare i carichi sulla rete: volumi sulle linee e volumi sugli archi;
- calcolare indicatori specifici per il trasporto pubblico, come la velocità media di servizio, i veicoli chilometro, i passeggeri chilometro ($pax \cdot km$) ed i passeggeri ora ($pax \cdot h$).

Il modello di trasporto pubblico è stato implementato utilizzando la procedura di calcolo basata sugli orari dei passaggi delle linee, che è indicata per simulare al meglio gli effetti del coordinamento degli orari e quindi massimizzare l'integrazione tra le varie modalità di trasporto pubblico.

Questa procedura di assegnazione ha inizio dalla rappresentazione di ogni linea attraverso una sequenza di fermate (percorso di linea), definisce i tempi di corsa tra le fermate e il distanziamento tra i veicoli di una linea.

Essa si sviluppa in tre passi:

- la ricerca dell'itinerario;
- la scelta dell'itinerario;
- la ripartizione degli spostamenti.

Il primo passo individua i possibili percorsi fra due zone di traffico. Il secondo passo confronta i singoli itinerari ed elimina quelli relativamente meno convenienti. Il terzo passo analizza le caratteristiche degli itinerari selezionati e assegna gli spostamenti della matrice OD a tali itinerari.

Gli itinerari possibili fra due zone di traffico vengono individuati applicando un algoritmo di minimo percorso. L'impedenza di ciascun itinerario comprende i tempi di accesso, di egresso, i tempi di percorrenza ed i tempi di trasbordo.

Nella fase di ripartizione si considerano tutti gli itinerari risultanti dalle fasi di ricerca-scelta, valutati con la loro funzione di impedenza. La distribuzione della domanda di trasporto nei differenti itinerari dipende dall'impedenza ed è calcolata utilizzando un "Logit".

Come per il trasporto privato, anche per il trasporto pubblico l'assegnazione è stata condotta per l'ora di punta mattutina del giorno feriale medio, corrispondente alle **08:00-09:00**.

La fonte dati utilizzata per riprodurre il funzionamento del sistema di offerta di TPL è rappresentata, per ogni tipologia di servizio, dai dati GTFS disponibili in formato open sul sito regionale e dai programmi di esercizio pubblicati da Trenitalia. In seguito alla verifica si corretta importazione del database nel modello di simulazione **è stata eseguita un'operazione di verifica della coerenza delle velocità su rete dei mezzi destinati al trasporto pubblico**, andando a correggere le tratte (tra ogni coppia di fermate consecutive (che si discostavano da valori coerenti con il sistema di trasporto della linea).

Periodo di analisi e coefficienti di espansione

Come descritto, il modello di simulazione fornisce le valutazioni e le stime per l'ora di punta della mattina.

In questo modo i risultati e gli indicatori sintetici di rete forniti per ciascuno Scenario temporale di analisi (Attuale, Riferimento e Progetto) risultano relativi a una sola ora e, pertanto, necessitano di opportuni *coefficienti di espansione* per apprezzare gli effetti dell'intervento di progetto sull'intero giorno feriale medio invernale; allo stesso modo, anche per ottenere indicazioni su un'intera annualità è necessario fare ricorso a opportuni *coefficienti di espansione "giorno-anno"*, la cui metodologia di calcolo è illustrata nei paragrafi seguenti.

Coefficienti espansione ora di punta-giorno

Come illustrato nei paragrafi precedenti, le stime inerenti alla domanda di mobilità che insiste sul territorio oggetto di analisi sono state condotte facendo ricorso ai dati telefonici, forniti dal provider Vodafone durante il mese di ottobre 2023. Tale fonte dati assicura, infatti, una notevole robustezza alle stime effettuate grazie all'elevato livello di campionamento (circa 1/3 dei dispositivi di telefonia mobile con un tasso di penetrazione di utenti unici che a livello nazionale supera l'80%¹²), alla capacità di rappresentare dinamiche di mobilità non esclusivamente sistematiche ed alla elevatissima granularità spaziale e temporale.

Trasporto privato

Soprattutto grazie a quest'ultima caratteristica e incrociando le informazioni con l'analisi della banca dati FCD, l'utilizzo dei Big Data ha consentito di stimare con estremo rigore metodologico e affidabilità i coefficienti di espansione da applicare per valutare correttamente gli effetti dell'intervento su orizzonti temporali di analisi più estesi.

Infatti, le valutazioni sui dati di domanda hanno riguardato non solo il numero di spostamenti che interessa l'ora di punta mattutina ma anche i valori complessivi dell'intero giorno medio feriale invernale; di conseguenza, tale approccio ha consentito una stima veloce ed attendibile del coefficiente di espansione ora-giorno che restituisce un valore pari a 18.11, a indicare come in una città universitaria e a forte vocazione turistica come Pisa, l'ora di punta mattutina, anche se significativa dal punto di vista degli spostamenti casa-lavoro e casa-studio, non è quella con la più elevata concentrazione di spostamenti all'interno della giornata. Per tale motivo **il coefficiente di espansione ora di punta/giorno per il trasporto privato è stato posto cautelativamente pari a 14.**

Trasporto pubblico

Per quanto riguarda invece il trasporto pubblico, è da sottolineare come dalle *"Linee Guida operative per la valutazione degli investimenti"*, il coefficiente ora di punta/giorno per espandere i risultati modellistici del trasporto pubblico deve sempre essere giustificato da opportune indagini relative al quinquennio precedente allo studio in esame e comunque compreso tra 7 e 12. Partendo dal GTFS del trasporto pubblico urbano su gomma di Pisa, così come illustrato al paragrafo Servizio urbano, si può evincere come la linea 1+, la quale maggiormente si sovrappone al futuro percorso del tram, presenta 22 corse nell'ora di punta mattutina e 338 nel giorno feriale medio. Ipotizzando che nell'intera giornata il load factor medio della linea sia pari al 60% rispetto a quello dell'ora di punta, valore plausibile per una linea urbana portante, è possibile stimare il rapporto tra i passeggeri trasportati dalla linea nell'ora di punta mattutina e nel giorno feriale medio. Dai calcoli effettuati si ottiene che **il coefficiente di espansione ora di punta/giorno per il trasporto pubblico risulta pari a 9.**

Coefficienti espansione giorno-anno

Per effettuare l'espansione dal giorno medio feriale invernale all'intera annualità, ci si è basati anche in questo caso sulle informazioni ottenute dal GTFS a disposizione.

¹² Fonte: <https://www.slideshare.net/wearesocial/digital-in-italia-2018>

Ogni GTFS presenta un calendario che riporta la validità operativa delle corse in esso presenti, per cui per la linea 1+ è stato possibile ottenere il numero di corse che la linea effettua nelle principali tipologie di giorni presenti nell'anno solare:

- giorno feriale scolastico;
- giorno feriale non scolastico;
- giorno festivo;
- giorno estivo.

Con questa procedura è stato possibile ottenere il numero di corse che la linea 1+ effettua nell'anno solare e nel giorno feriale medio invernale che, **una volta rapportati, restituiscono un coefficiente di espansione giorno-anno pari a 330**. Tuttavia, dalle linee guida ministeriali tale coefficiente deve essere compreso tra 250 e 300, per tale motivo **è stato quindi definito un coefficiente di espansione pari a 300 sia per il trasporto privato che per il trasporto pubblico**.

A seguito delle metodologie precedentemente illustrate, si riporta in Tabella 4.3 la sintesi dei coefficienti di espansione utilizzati per il trasporto privato e pubblico.

	Trasporto privato	Trasporto pubblico
Coefficiente espansione ora di punta-giorno	14	9
Coefficiente espansione giorno-anno	300	300

Tabella 4.3 Coefficienti di espansione

Calibrazione e validazione

L'attività di calibrazione comprende tutte quelle operazioni di revisione, controllo e aggiornamento dei dati di domanda ed offerta volti ad aumentare la precisione del modello e la sua capacità di riprodurre lo stato di fatto.

Dati PUMS e monitoraggio ZTL

Trasporto privato

I dati di rilievo utilizzati per la verifica della calibrazione del modello di trasporto privato provengono da due tipi di fonti differenti:

- **Piano strategico ricognitivo di Pisa:** conteggi su tre sezioni (via Cisanello, via Gello e via Fiorentina);
- **Relazione sulla gestione 2023 di “Pisamo”:** conteggi sulle sezioni di ingresso alla ZTL idonee al grado di dettaglio presente nel modello di simulazione.

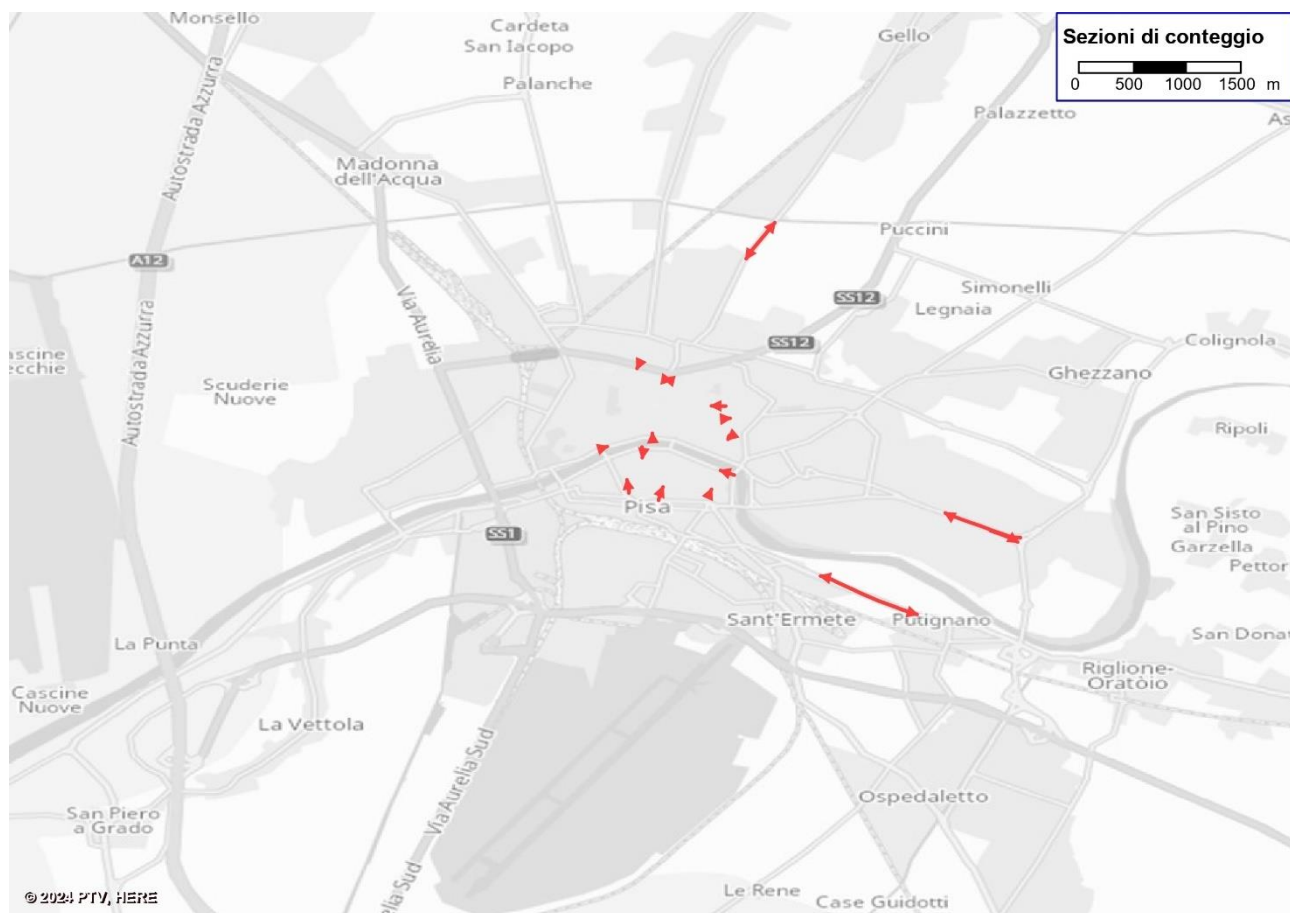


Figura 4.9 Sezioni di conteggio

Tramite opportuni coefficienti, ottenuti dalle analisi FCD eseguite sull'area di studio, è stato possibile ottenere i valori di conteggio di sezione per l'ora di punta della mattina del giorno feriale medio, sia per le autovetture che per i veicoli commerciali.

Si ricorda inoltre che i dati del piano strategico ricognitivo di Pisa fanno riferimento a un periodo precedente al 2017, per tale motivo, tramite i “*report di bilancio PISAMO*” degli ingressi nella ztl, i

conteggi presenti sul report sono stati aggiornati al 2023, attraverso opportuni coefficienti di proiezione dedotti dall'analisi della banca dati FCD.

Trasporto pubblico

Per quanto riguarda il trasporto pubblico, l'unica fonte a disposizione è il precedente studio del PFTE del tram di Pisa del 2019. I conteggi sono stati effettuati per alcune linee strategiche del centro storico oltre che per il People Mover, misurati per singola direzione di marcia, in un periodo compreso tra il 7 e il 10 ottobre 2019.

Calibrazione e validazione del modello

Trasporto privato

Sinteticamente le principali operazioni effettuate possono essere raggruppate in:

- revisione del grafo di offerta e controllo/calibrazione dei connettori, per ottenere un buon bilanciamento dei flussi di ingresso/egresso dalle zone e una corretta distribuzione dei flussi sulla rete nell'intorno dei nodi centroidi;
- correzione della domanda tramite procedure di matrix estimation sulla base dei flussi rilevati.

La corretta calibrazione del modello è stata effettuata, secondo prassi consolidata (ad esempio *Ortúzar e Willumsen, Pianificazione dei sistemi di trasporto, 2004*), attraverso il confronto tra i risultati dell'assegnazione del modello ed i rilievi disponibili.

Considerando che il modello di simulazione è stato implementato ad hoc ai fini del presente studio, che mira alla stima della domanda di un'infrastruttura lineare, ci si è concentrati ad effettuare un'operazione di validazione del modello nel territorio comunale di Pisa che verrà interessato dalla realizzazione del nuovo sistema tranviario. Inoltre, dal momento che le stime del modello di ripartizione modale risultano molto sensibili rispetto alle variazioni nei costi generalizzati del trasporto, è stata effettuata un'attenta e scrupolosa calibrazione e validazione rispetto alle distanze ed ai tempi di viaggio simulati sull'intera rete.

Si è ritenuto il modello validato quando i risultati delle simulazioni dello stato di fatto hanno ricostruito con buona precisione i dati di traffico rilevati dalle postazioni di conteggio.

La precisione della validazione sul corridoio è stata valutata in base ai seguenti parametri statistici:

- **confronto tra flussi stimati – flussi misurati:** si è controllato che i valori simulati, calcolati mediante il modello, fossero ben correlati ai valori rilevati mediante i conteggi; in una buona calibrazione il coefficiente di correlazione della retta di regressione lineare deve essere prossimo a 1 (coefficiente angolare della retta bisettrice);
- **coefficiente di correlazione R^2 :** è anche detto indice di correlazione di Bravais-Pearson e dà una misura della dipendenza tra due variabili; anche per quanto riguarda questo coefficiente, in una buona calibrazione il valore deve essere prossimo a 1.

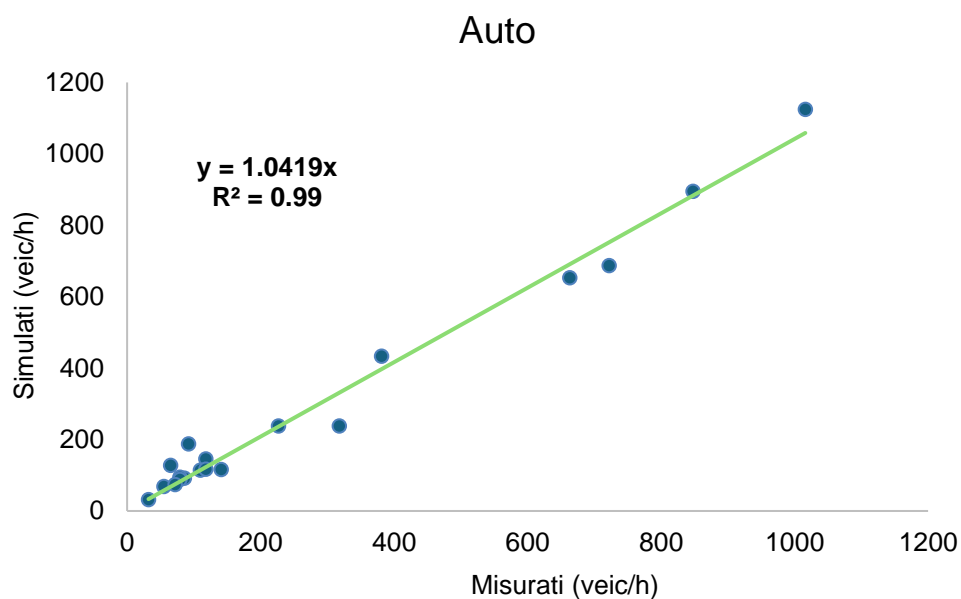


Figura 4.10 Calibrazione del trasporto privato (auto) - Flussi veicolari ora di punta mattutina

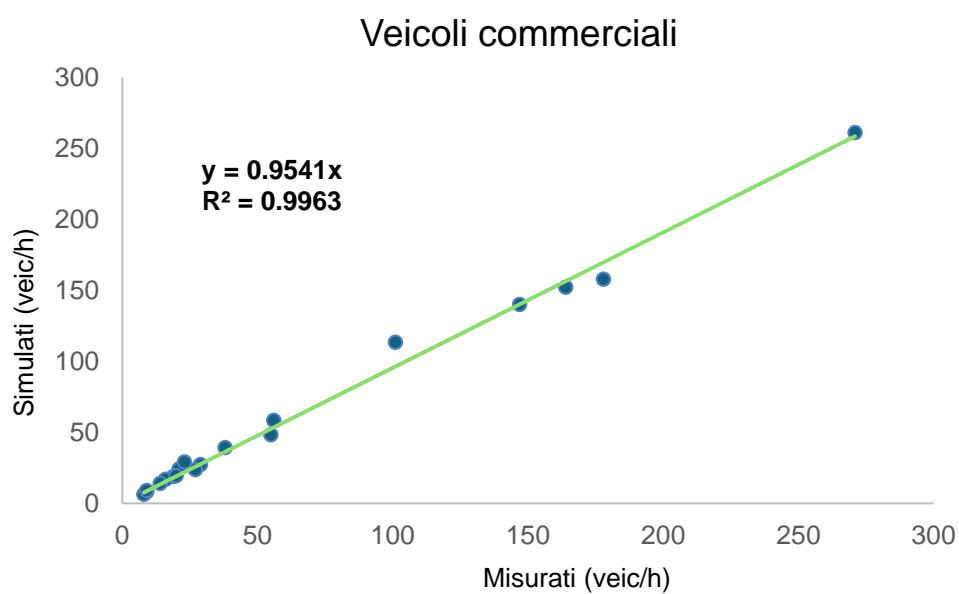


Figura 4.11 Calibrazione del trasporto privato (veicoli commerciali) - Flussi veicolari ora di punta mattutina

Trasporto pubblico

Analogamente al modello del trasporto privato, anche nel caso del trasporto pubblico si è proceduto ad una procedura di validazione soprattutto nel territorio del Comune di Pisa, direttamente interessato dalla realizzazione del nuovo sistema tramviario.

Sulla base delle informazioni disponibili è stato possibile ricostruire i passeggeri movimentati in un giorno feriale medio da alcune linee urbane presenti nell'area di studio, così da poterli utilizzare per la calibrazione del modello. Si sottolinea che il monitoraggio delle linee urbane è avvenuto nell'ottobre 2019, dato che i passeggeri sul trasporto pubblico sono sensibilmente aumentati tra il 2019 e il 2023 per quanto riguarda la motivazione turistica, si è ritenuto accettabile una lieve sovrastima del valore misurato rispetto ai conteggi, così come da Figura 4.12.

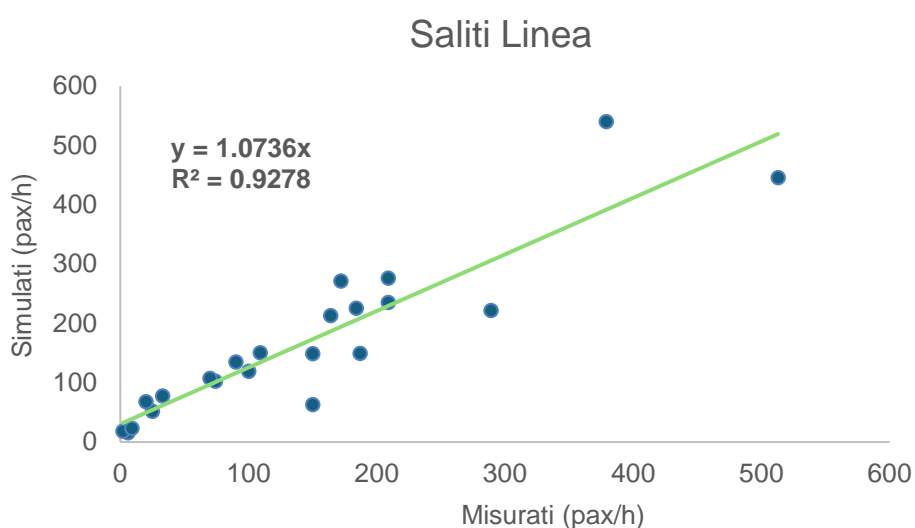


Figura 4.12 Calibrazione del trasporto pubblico –
Saliti per linea urbana e per singola direzione – Passeggeri ora di punta mattutina

5. Gli scenari futuri

Il modello matematico descritto nei capitoli precedenti e calibrato sulla situazione attuale, rappresenta la base di partenza per la costruzione degli scenari futuri. L'operazione successiva è stata quindi l'individuazione dell'orizzonte temporale di riferimento più rappresentativo nel quale riprodurre la distribuzione dei flussi di traffico indispensabili per tutte le attività di progettazione e di valutazione degli impatti del nuovo sistema tranviario.

L'orizzonte temporale individuato è il 2030, anno in cui s'ipotizza che il servizio tranviario sia entrato pienamente a regime e rispetto al quale è possibile definire, con buona approssimazione sulla base degli strumenti di pianificazione di medio e lungo periodo, l'assetto territoriale ed infrastrutturale previsto.

Gli scenari che saranno presi in esame, come prassi nelle valutazioni di progetti di infrastrutture e/o di servizi di trasporto, sono due:

- lo **Scenario di Riferimento** (o di “*non intervento*”), che modella la rete con tutti gli interventi sia sulla rete di trasporto privato sia su quella di trasporto pubblico che si prevede saranno realizzati entro l'anno di riferimento preso in considerazione a meno dell'intervento di progetto da analizzare;
- lo **Scenario di Progetto**, che in aggiunta a quanto previsto dallo scenario di riferimento introduce anche l'intervento di progetto e le eventuali modifiche alle reti infrastrutturali e dei servizi da esso indotte.

Il sistema di offerta

Lo Scenario di Riferimento

Nel presente paragrafo si riportano gli interventi che determinano la configurazione dello Scenario di Riferimento che, come già esposto, rappresenta lo scenario comprensivo di tutti gli interventi previsti sia sulle reti infrastrutturali sia su quelle sei servizi all'anno di riferimento (2030) a meno dell'intervento di progetto del quale si vogliono valutare gli effetti.

Per svolgere tale attività si è fatto in primo luogo riferimento a quanto previsto dal PUMS, avendo però cura di valutare attentamente la reale fattibilità dei singoli interventi all'orizzonte temporale considerato.

Interventi sulla rete di trasporto privato

Per quanto concerne la rete stradale, lo Scenario di Riferimento è stato implementato considerando la realizzazione degli interventi viari finanziati o in fase di realizzazione al momento in cui viene scritto il seguente report (2024) e che si considerano completati nel 2030.

Di seguito si riporta un elenco con una breve descrizione degli interventi implementati:

- **Tangenziale Nord-Est:** il lotto che è stato finanziato (Nodo 1 - Nodo 2, si veda Figura 5.1) si sviluppa a partire dall'Aurelia all'altezza dell'intersezione con via Filippo Turati, correndo parallela al sedime ferroviario e consentendo di by-passare la località di Madonna dell'Acqua, riconnettendosi al tracciato dell'Aurelia nei pressi del “Fiume Morto Nuovo”;

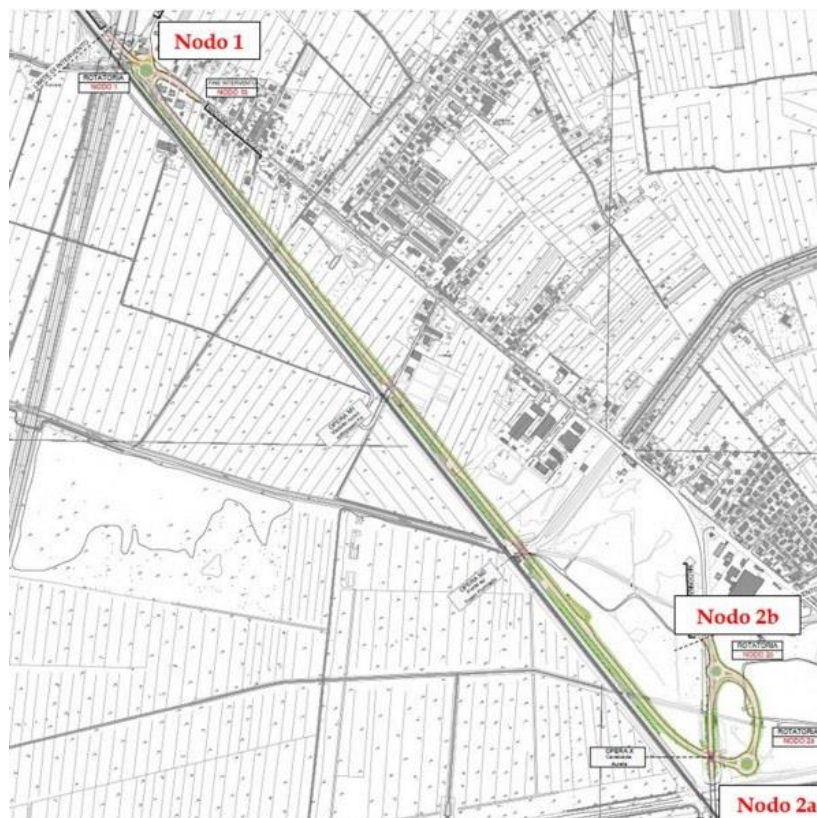


Figura 5.1 Tangenziale Nord-Est, Lotto da Nodo 1 a Nodo 2

- **Sottopasso via Putignano-Sant’Ermete:** allo stato attuale, *via Putignano-Sant’Ermete* consente la connessione tra la *SR 206 via Emilia* e la *SS 67 Tosco-Romagnola*, attraversando l’infrastruttura ferroviaria *Pisa-Firenze* tramite un passaggio a livello situato nel *quartiere Putignano*. L’intervento prevede la realizzazione di un sottopasso stradale a singola canna con una corsia per senso di marcia e la conseguente soppressione del passaggio a livello;
- **Zona 30 a Riglione:** l’intervento prevede la realizzazione di una zona 30 in *località Riglione*.

Interventi sulla rete di trasporto pubblico

Relativamente alla rete di trasporto pubblico non sono previsti interventi significativi, per tale motivo lo Scenario di Riferimento coincide sostanzialmente con la situazione attuale.

Lo Scenario di Progetto

Come noto, la configurazione dello Scenario di Progetto differisce da quello di Riferimento esclusivamente per la presenza del progetto che deve essere oggetto di valutazione e che, inevitabilmente, genera delle modifiche sia al funzionamento della rete di trasporto privato che a quello della rete del trasporto pubblico.

Del tracciato della nuova linea tramviaria si è già parlato nel precedente capitolo “Il progetto della tramvia” per la quale viene definita anche la riorganizzazione della rete urbana di trasporto su gomma del Comune di Pisa, ma anche delle linee extraurbane che parzialmente sono in sovrapposizione con il tracciato del tram.

Di seguito sono riportati tutti gli ulteriori elementi progettuali che discendono direttamente dalla realizzazione della nuova linea tramviaria.

Interventi sulla rete di trasporto privato

Per quanto alla rete del trasporto privato, il nuovo servizio tramviario prevede una serie di interventi infrastrutturali mirati a conferire al servizio le caratteristiche prestazionali tipiche di tale tecnologia quali sede riservata e gestione delle intersezioni.

Nello specifico, oltre ad una localizzazione delle fermate in grado di conferire maggiore accessibilità e comfort all'utenza, tra le principali modifiche previste relativamente alla rete stradale recepite nel modello di simulazione a scala macroscopica si segnalano:

1. **revisione degli schemi di circolazione**, in funzione delle manovre vietate introdotte dall'inserimento del sedime tramviario lungo l'estesa della linea;
2. **riduzione di capacità e velocità** lungo le carreggiate stradali a seguito dell'inserimento del sedime tramviario lungo l'estesa della linea.

Revisione degli schemi di circolazione

Per quanto riguarda la revisione degli schemi di circolazione, si pone particolare attenzione alle seguenti modifiche:

- **Lungarno Simonelli:** modifica che si estende dalla rotatoria di *Piazza di Terzanaia* all'intersezione con *via Volturmo* viene impedita la viabilità in direzione Est, trasformando l'asse viario in una strada a senso unico.
- **Lungarno Sidney Sonnino:** modificata la viabilità dall'intersezione con il *ponte della Cittadella* al *ponte Solferino*, viene invertito il senso di marcia, per cui risulta consentita la viabilità in direzione Est, creando un sistema di circolazione monodirezionale a senso antiorario costituito dal *Lungarno Sonnino*, dal *Ponte Solferino*, dal *Lungarno Simonelli* e dal *Ponte della Cittadella*.
- **Via Silvio Pellico:** impedita la circolazione in direzione Sud.
- **Viale Francesco Bonaini:** dualmente al caso dei lungarni, viene creato un sistema di circolazione monodirezionale a senso antiorario ottenuto impedendo la circolazione in direzione Ovest. Tale sistema di circolazione è costituito da *viale Bonaini*, *Piazza Guerrazzi*, *via Croce* e *via Queroilo*.

Contestualmente viene modificata la viabilità delle strade locali per garantire la corretta intersezione con le modifiche alla viabilità precedentemente descritte.

Riduzione di capacità e velocità

Allo stesso modo vengono sinteticamente riportate le riduzioni di capacità e velocità dovute all'inserimento del sedime tramviario secondo queste metodologie:

- **Riduzione da 2 a 1 corsia:** capacità e velocità impostate rispettivamente pari al 50% e al 70% del valore presente nello Stato Attuale;
- **Sede promiscua:** capacità e velocità impostate rispettivamente pari al 60% e al 70% del valore presente nello Stato Attuale;
- **Adeguamento sezione stradale a 3,5 m:** capacità e velocità impostate rispettivamente pari al 70% e al 80% del valore presente nello Stato Attuale;
- **Adeguamento sezione stradale da 3,5 m a 3 m:** capacità e velocità impostate rispettivamente pari al 80% e al 90% del valore presente nello Stato Attuale.

Interventi sulla rete di trasporto pubblico

Realizzazione dei parcheggi di scambio

Nell’ottica di facilitare l’intermodalità e il perseguimento degli obiettivi di diversione modale, nello Scenario di Progetto è prevista la realizzazione di tre parcheggi scambiatori, prevalentemente a servizio dei capolinea della nuova linea tramviaria: in *via Ferruccio Giovannini*, in prossimità della *Rotonda Maria di Vestea Fischmann* e in prossimità di *Piazza dei Miracoli*, da ora in avanti denominati **“Giovannini”**, **“Ospedale”** e **“Torre”**.

Per stimare la domanda che potenzialmente può usufruire dei parcheggi di scambio, è stata sviluppata una procedura ad hoc basata sull’estrazione dei dati FCD relativi all’area di studio. Nella Figura 5.2, sono riportate le macro-zone rispetto alle quali è stata applicata la procedura di seguito elencata.

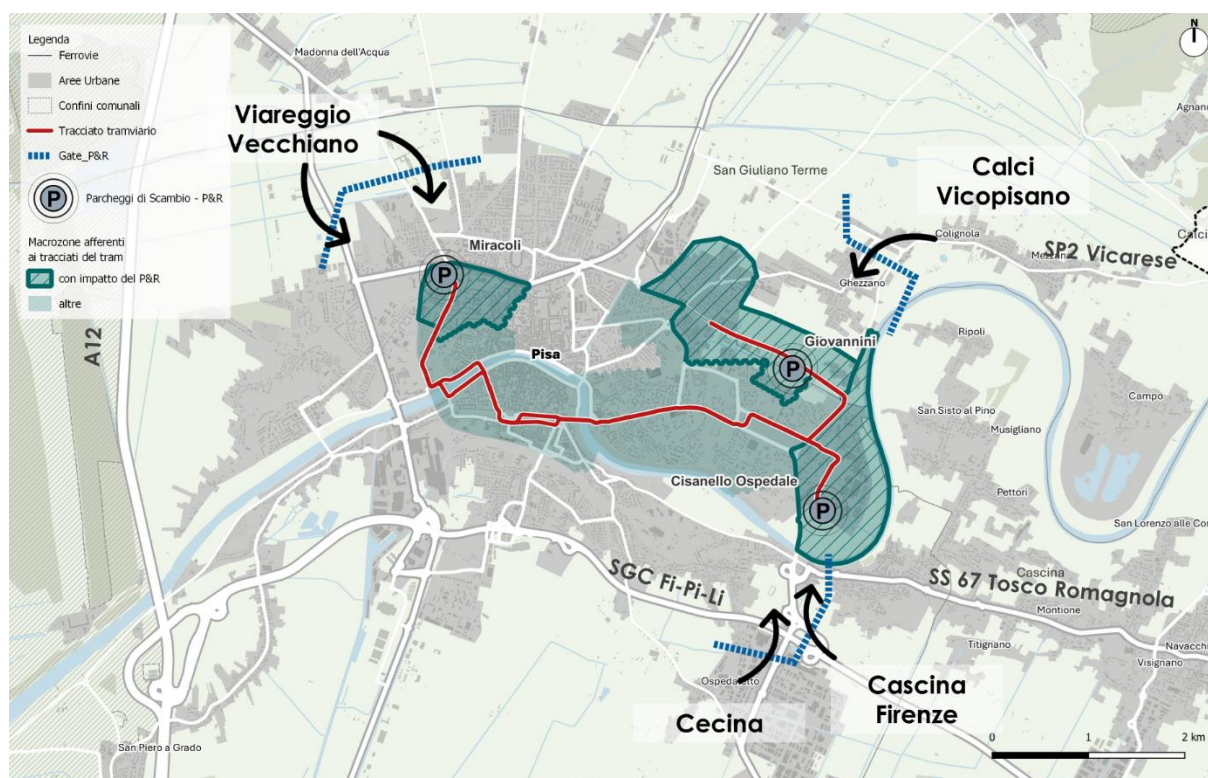


Figura 5.2 Area su cui viene valutato l’impatto da Park and Ride

Le otto macro-zone in arancione sono quelle su cui l’impatto dovuto alla realizzazione del tram risulterà maggiore, da ora in poi denominate **“macro-zone del tram”**. Di queste, tre sono state associate ai parcheggi di scambio descritti a inizio paragrafo poiché i parcheggi verranno realizzati all’interno di esse, e corrispondono alle macro-zone in arancione contornate di nero, da ora denominate **“macro-zone dei parcheggi di scambio”**. Sono rispettivamente:

- la macro-zona a Nord-Ovest, la quale è stata associata al parcheggio di scambio “Torre”;
- la macro-zona a Nord, in prossimità di Ghezzano, la quale è stata associata al parcheggio “Giovannini”;
- la macro-zona a Est, che segue il corso dell’Arno, la quale è stata associata al parcheggio “Ospedale”.

Sono stati anche realizzati tre gate, corrispondenti alle linee marroni numerate presenti nella figura sovrastante, che hanno lo scopo di individuare, tramite una apposita procedura spaziale, i percorsi FCD (paths) che li attraversano:

- **gate 1:** utenti provenienti dalla SS 1 Aurelia e dalla SP 9;
- **gate 2:** utenti provenienti dalla SS 67 Tosco-Romagnola, dalla SS 206 e dalla SGC FI-PI-LI;
- **gate 3:** utenti provenienti da SP 2 Vicarese.

Come primo step sono stati individuati i percorsi che hanno origine e/o destinazione nelle otto **macro-zone del tram** e che attraversano uno dei **tre gate**.

Successivamente, per i percorsi ottenuti allo step in precedenza, sono stati applicati i seguenti filtri temporali per ottenerne così un subset idoneo:

- Arrivo dopo le ore **6:00**;
- Ripartenza entro le ore **19:59**;
- Tempo minimo di sosta pari o superiore a **4 ore**.

Conseguentemente sono stati individuati gli utenti per cui può risultare effettivamente vantaggioso lasciare l'auto privata a un parcheggio di scambio. Per fare questa selezione sono stati inclusi solo coloro che, durante il tempo in cui l'auto si trova nelle 8 **macro-zone del tram**, hanno effettuato **al massimo due spostamenti interni all'area definita della macro-zone**.

Successivamente sono state individuate le tre matrici di domanda, una per ciascun gate. In questo modo è stato possibile calcolare:

- **Spostamenti campionari:** corrispondenti al numero di spostamenti ottenuti dall'estrazione FCD;
- **Spostamenti espansi:** ottenuti espandendo gli spostamenti campionari per appositi coefficienti di espansione legati al tasso di penetrazione che gli FCD hanno su scala comunale;
- **Distanza e tempi medi** relativi ai percorsi FCD.

A questo punto, utilizzando la piattaforma **HERE**, sono stati calcolati i tempi di percorrenza **a rete carica** (condizione di congestione), per i veicoli provenienti da tutte le zone presenti nel modello ed esterne all'area interessata dal tram e che, transitando per i tre gate, sono diretti:

- **verso le otto macro-zone del tram:** questo tempo di viaggio viene indicato come “**t_cur**”;
- **verso le tre macro-zone dei parcheggi di scambio:** questo tempo di viaggio viene denominato “**t_gate**”.

Parallelamente è stato calcolato il tempo che si impiegherà, nella configurazione di progetto, con il trasporto pubblico dalle tre **macro-zone dei parcheggi di scambio** a ciascuna delle restanti 7 **macro-zone del tram**, questo tempo verrà da ora in poi chiamato “**t_tpl**”.

In questo modo è stato possibile calcolare, per ciascuno viaggio che dall'esterno dell'area del tram è diretto alle otto **macro-zone del tram** il **tempo di park and ride (t_p&r)**. Questo tempo è pari, per ogni zona esterna, alla somma tra il tempo impiegato in auto per arrivare a una delle tre **macro-zone dei parcheggi di scambio (t_gate)** più il tempo che con il trasporto pubblico si impiega per arrivare dalla medesima macro-zona a una delle restanti **macro-zone dal tram (t_tpl)**. Cioè:

$$t_{p\&r} = t_{gate} + t_{tpl}$$

Infine, per stabilire se per uno specifico utente risulta più conveniente utilizzare il parcheggio di scambio rispetto a proseguire il viaggio con l'auto privata è stato utilizzato il seguente criterio di convenienza:

$$t_{p\&r} < 1.33 * t_{cur}$$

Dove si ricorda che **t_{cur}** è il tempo di viaggio in auto da ciascuna zona esterna all'area di interesse del tram a ognuna delle otto **macro-zone del tram**.

Tramite tale metodologia è stato possibile stimare, per ciascuno dei tre parcheggi di scambio, **la potenziale domanda in termini di veicoli che possono usufruirne nell'arco di una giornata media ferial invernale**:

- **Giovannini**: 373 veicoli;
- **Ospedale**: 1109 veicoli;
- **Torre**: 370 veicoli.

Si ricorda infine che, essendo l'intervallo di assegnazione tra le **08:00-09:00**, solo una quota dei veicoli sopra elencati si dirige effettivamente verso i parcheggi di scambio nell'intervallo temporale che viene assegnato nel software di simulazione. Risulta plausibile considerare che almeno il 40% degli spostamenti potenzialmente trasferibili alla modalità Park&Ride verrà effettuato in quest'ora, per cui nel modello **i veicoli che tra le 08:00-09:00 hanno come destinazione i tre parcheggi scambiatori sono stati imposti pari a**:

- **Giovannini**: 149 veicoli;
- **Ospedale**: 444 veicoli;
- **Torre**: 148 veicoli.

In totale quindi sono 741 veicoli che usufruiscono dei parcheggi di scambio nell'ora di punta della mattina che corrispondono a circa 1083 spostamenti complessivi (si veda il paragrafo a pag.63 per quanto riguarda i coefficienti di riempimento).

La riorganizzazione delle linee di TPL

Contestualmente all'implementazione del nuovo servizio tramviario, è stata prevista la ristrutturazione delle linee TPL urbane, suburbane ed extraurbane del bacino di Pisa nell'ottica di perseguire due principali obiettivi:

- l'integrazione tra le varie modalità previste nello Scenario di Progetto per la rete dei servizi di trasporto pubblico;
- il riequilibrio modale a favore del TPL, attraendo la quota di domanda potenziale che attualmente utilizza il mezzo privato.

Sono stati pertanto implementati due differenti servizi tramviari in grado di garantire all'utenza al contempo velocità e capacità di trasporto lungo la direttrice Ovest/Est:

- **Piazza dei Miracoli-Ospedale Cisanello**, che prevede corse con cadenzamento alternato di 4 e 8 minuti, così da avere 10 corse/h/direzione nell'ora di punta mattutina e un totale di 180 coppie di corse ogni giorno;
- **Piazza dei Miracoli-CNR**, che prevede corse ogni 8 minuti, effettuando 5 corse/h/direzione nell'ora di punta mattutina per un totale di 91 coppie di corse ogni giorno.

Con tale organizzazione del servizio, si assicura un intervallo di cadenzamento di 4' nel tratto in comune.

Per quanto riguarda, invece, la riorganizzazione delle linee del trasporto su gomma, è stato necessario prevedere un significativo riassetto dei servizi di TPL che attualmente utilizzano le direttrici interessate dall'intervento progettuale.

I driver utilizzati nella riorganizzazione del trasporto su gomma sono sostanzialmente i seguenti:

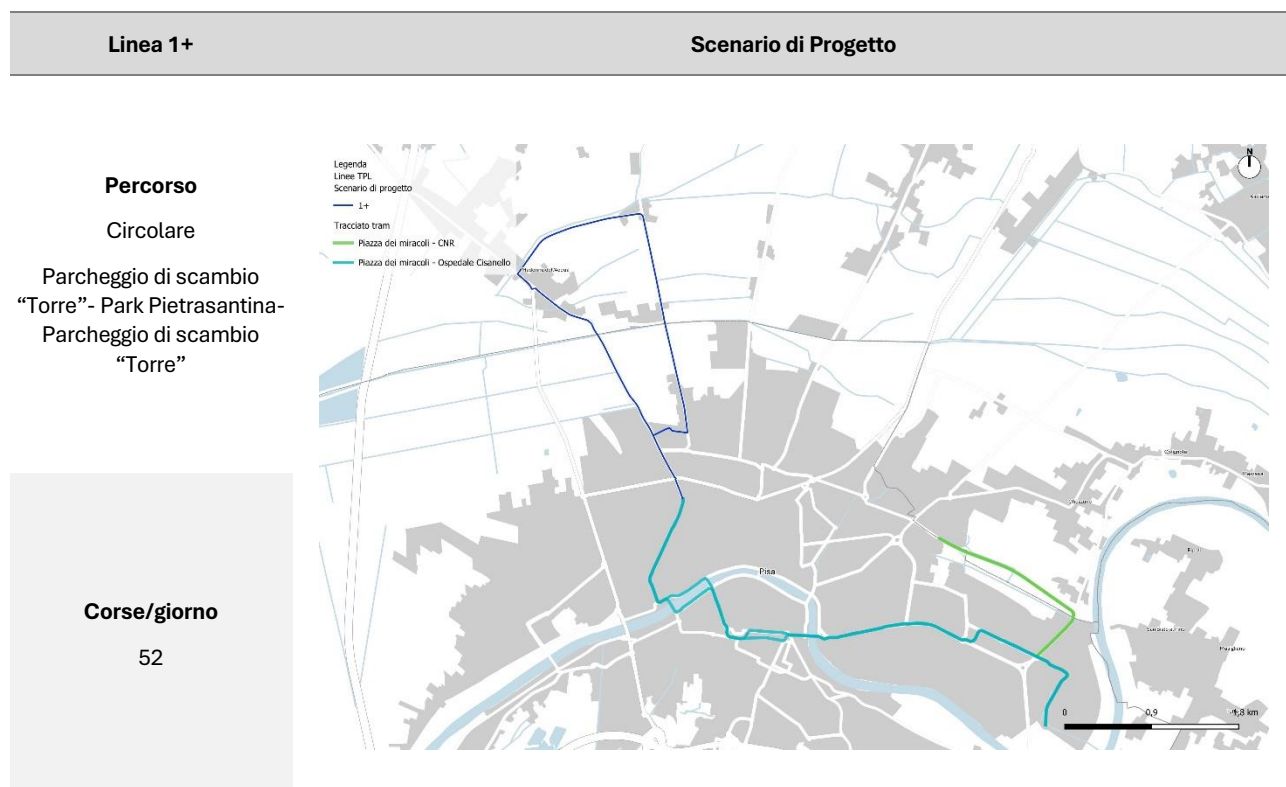
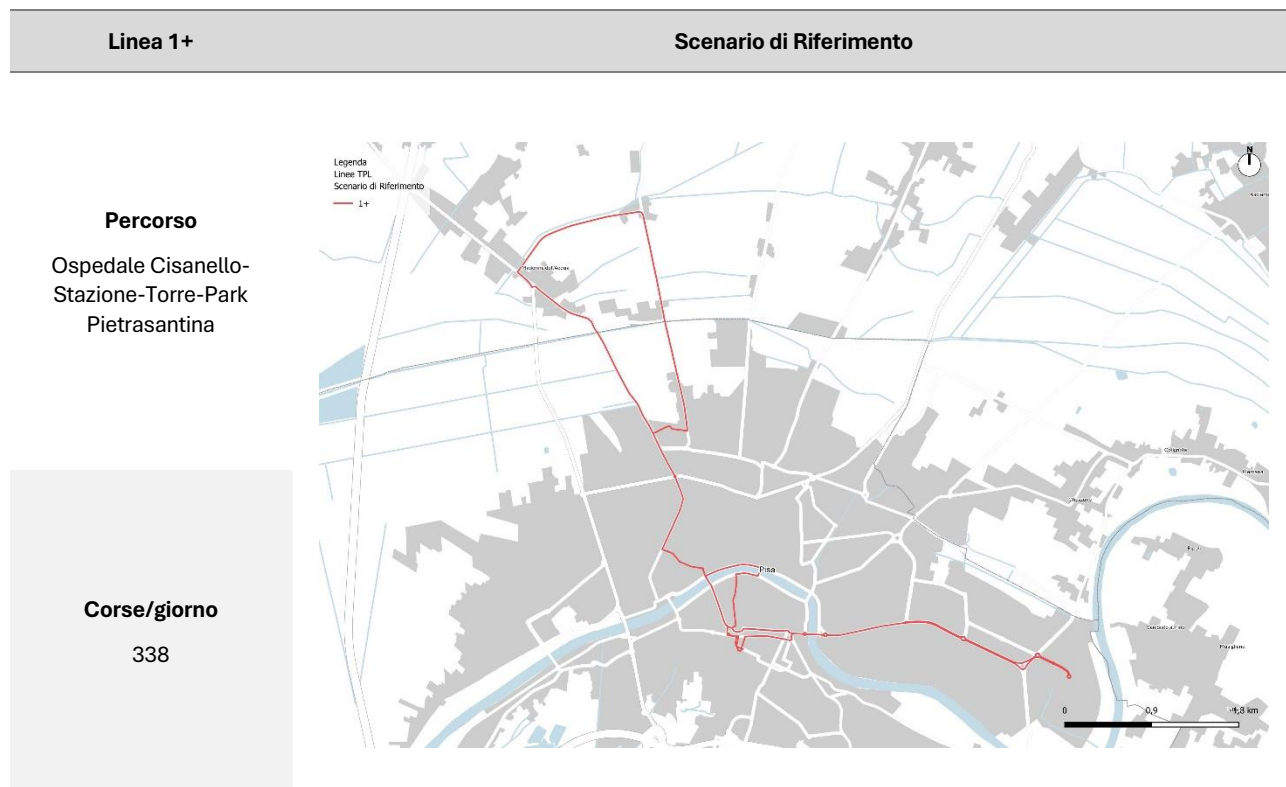
- le linee che presentano allo Stato Attuale una quasi completa sovrapposizione con il tracciato della tramvia vengono soppresse;
- le linee che presentano allo Stato Attuale tratte in comune con il tracciato ipotizzato per la tramvia oggetto di studio vengono attestate al parcheggio di scambio più vicino al fine di discostarsi il minimo possibile dal percorso attualmente effettuato dalla linea;
- le porzioni di territorio rimaste scollegate dal servizio TPL a valle dell'attuazione dei due punti precedenti sono collegate ai nodi strategici della rete (parcheggi di scambio, stazione etc) a mezzo di linee circolari.

Nelle successive figure sono illustrate le modifiche introdotte alle linee urbane, suburbane ed extraurbane rispetto a quanto previsto nello Scenario di Riferimento.

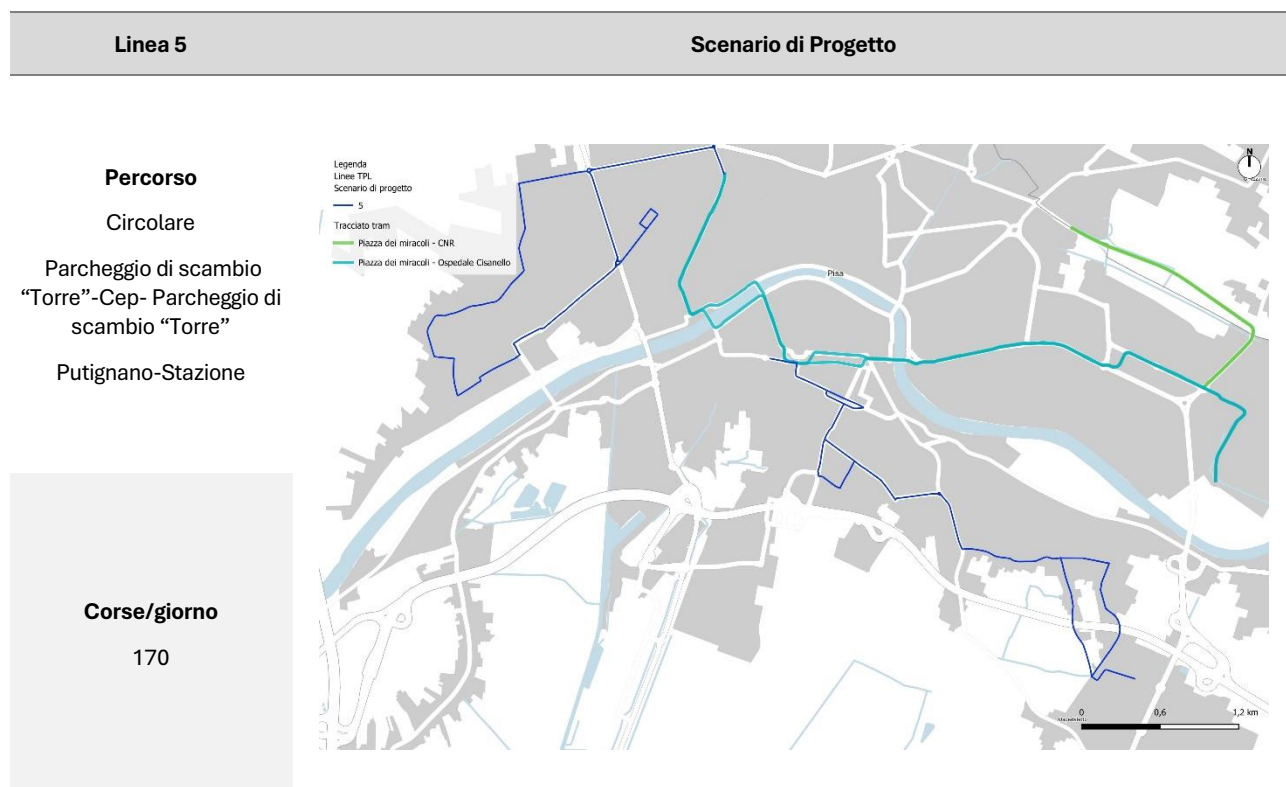
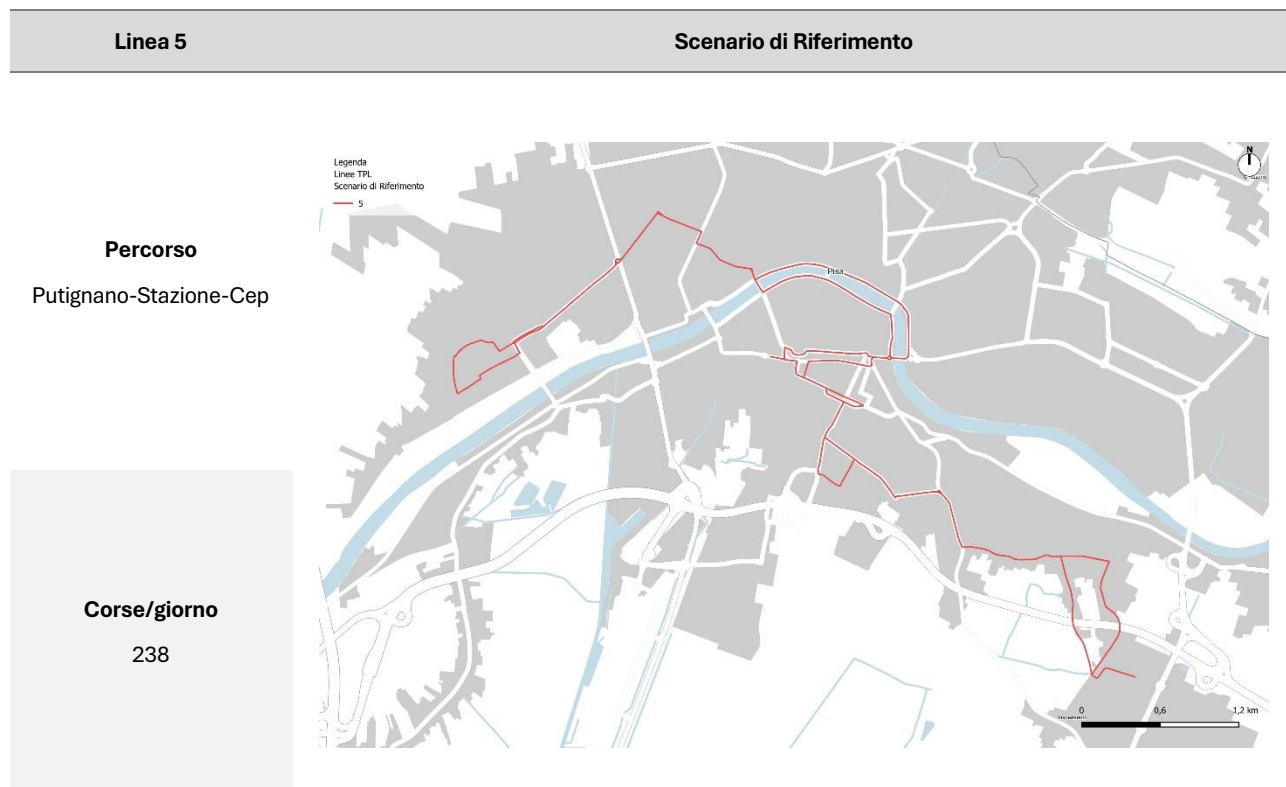
Si sottolinea che **la linea 14 è stata soppressa** poiché ha un tracciato simile al tram e le fermate da essa servite sono già collegate ai nodi strategici tramite linee di adduzione al tram.

Dualmente le linee 1+ e 13 presentano un tracciato che si discosta notevolmente da quello presente allo Stato Attuale. Per la 1+ viene prevista una notevole riduzione del tracciato, diventando una linea di adduzione al tram che collega il *Parcheggio Pietrasantina* al parcheggio di scambio "Torre". Anche la linea 13 viene totalmente stravolta, venendo riproposta come una circolare che collega la zona compresa tra i lungarni e via Nenni con il CNR.

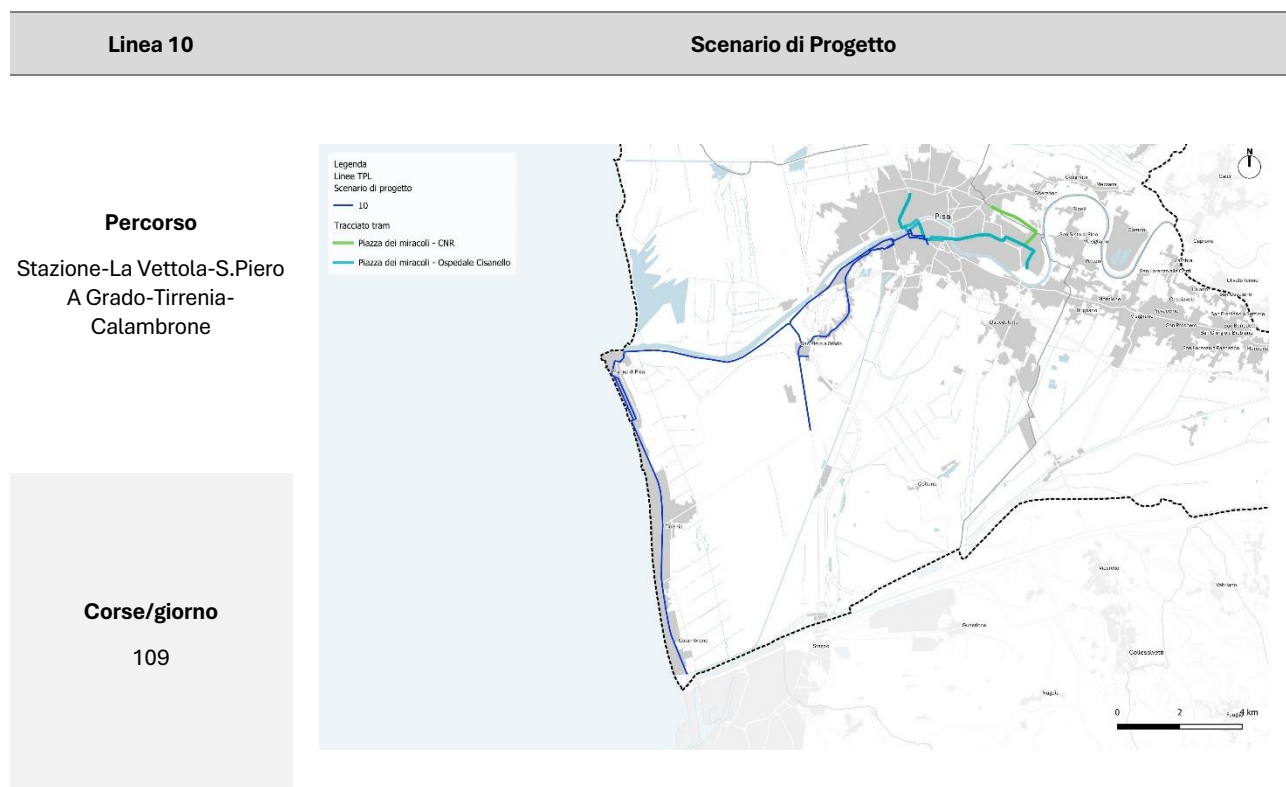
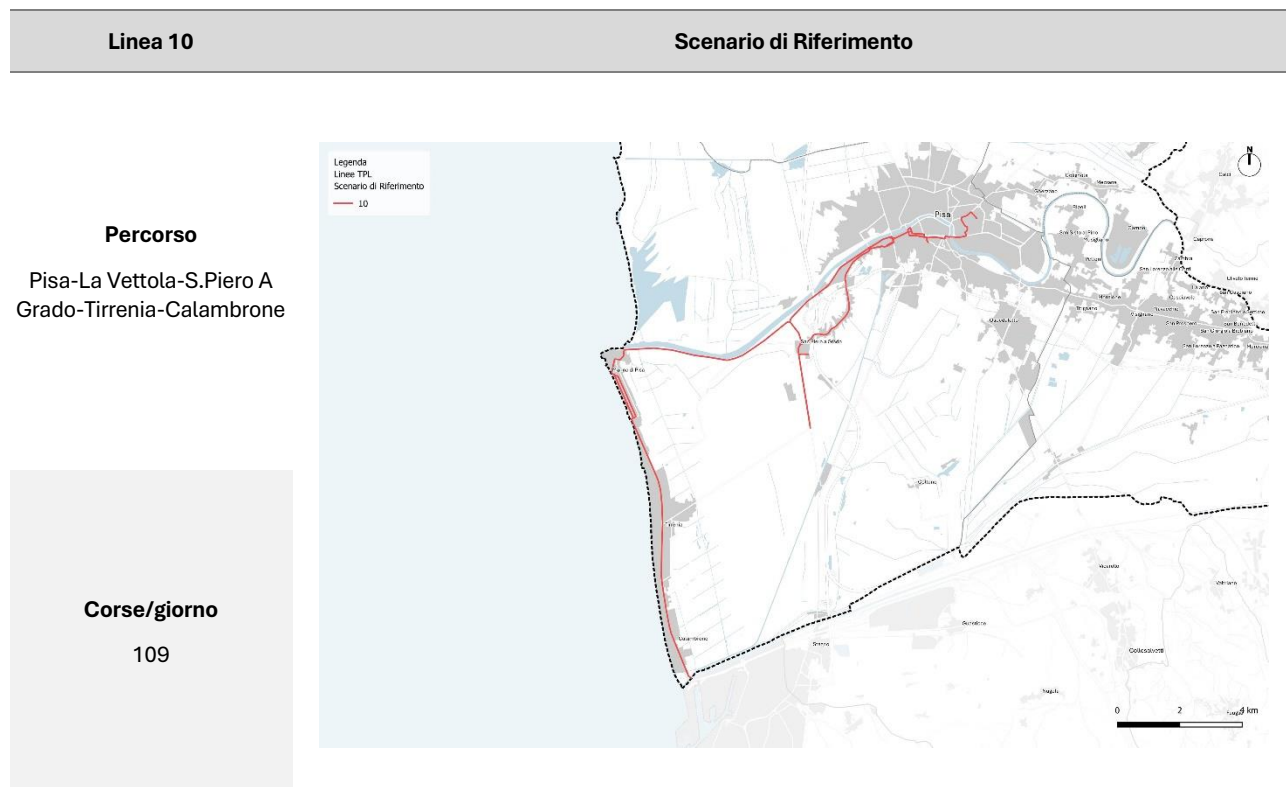
Linea 1+



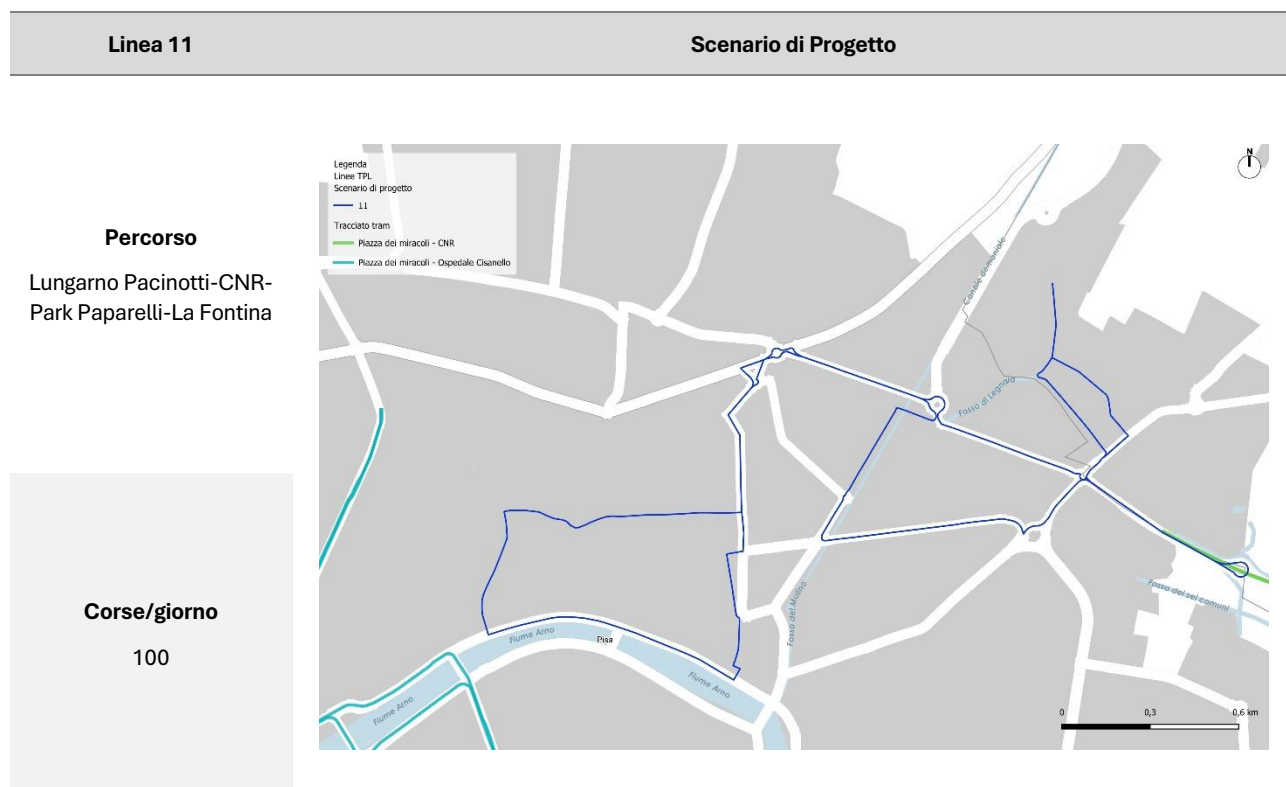
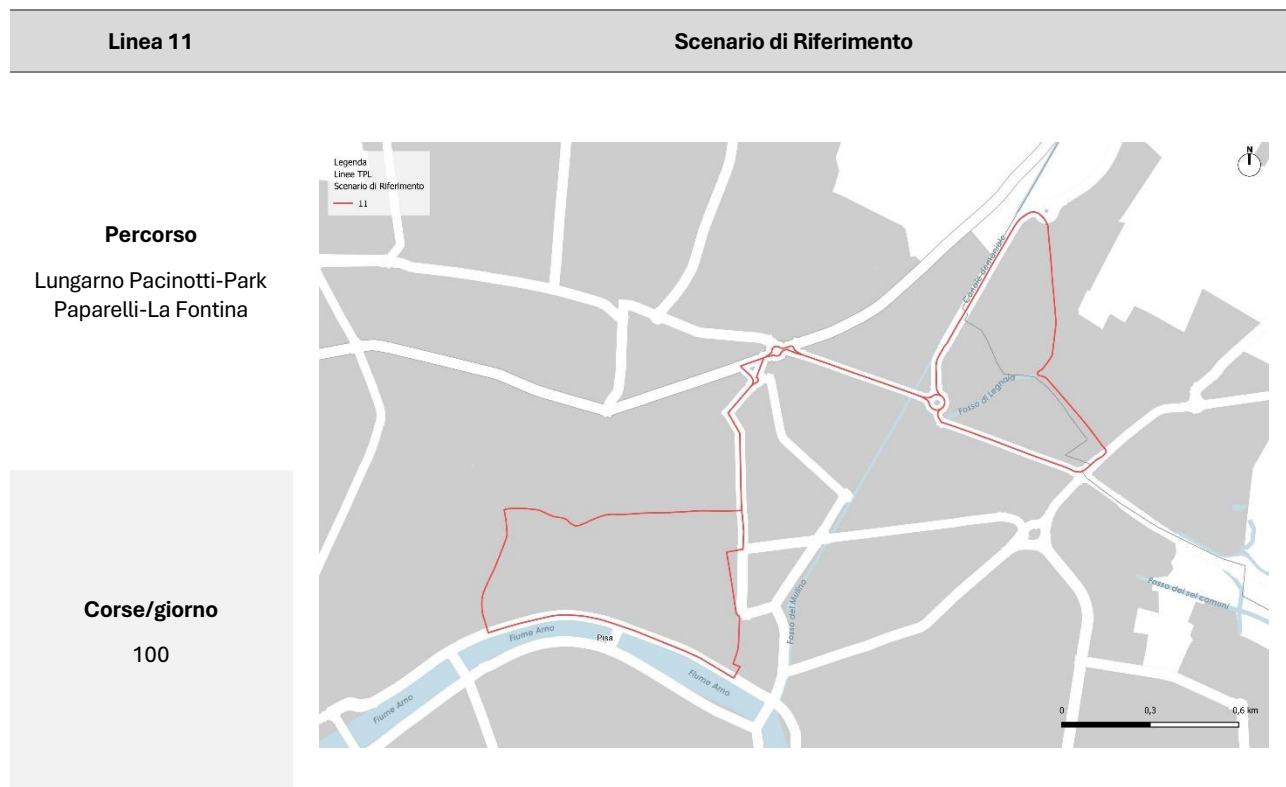
Linea 5



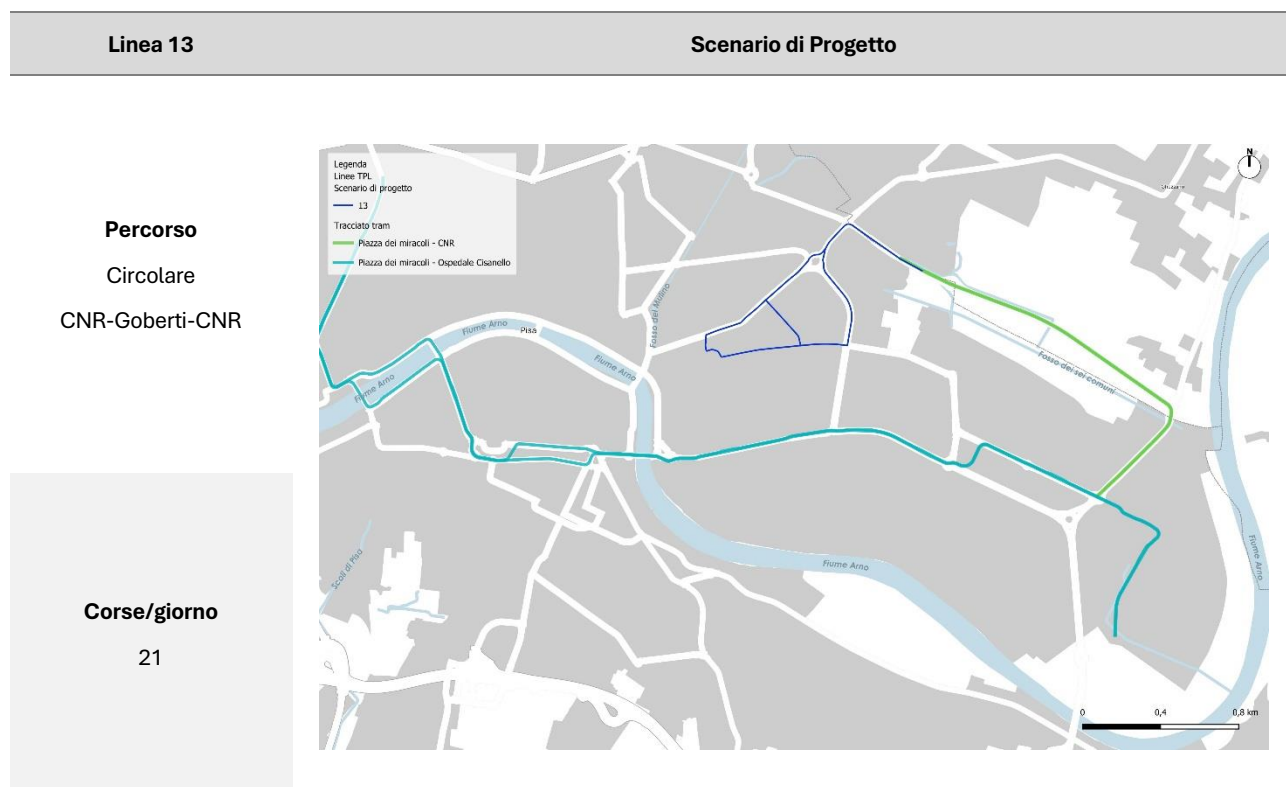
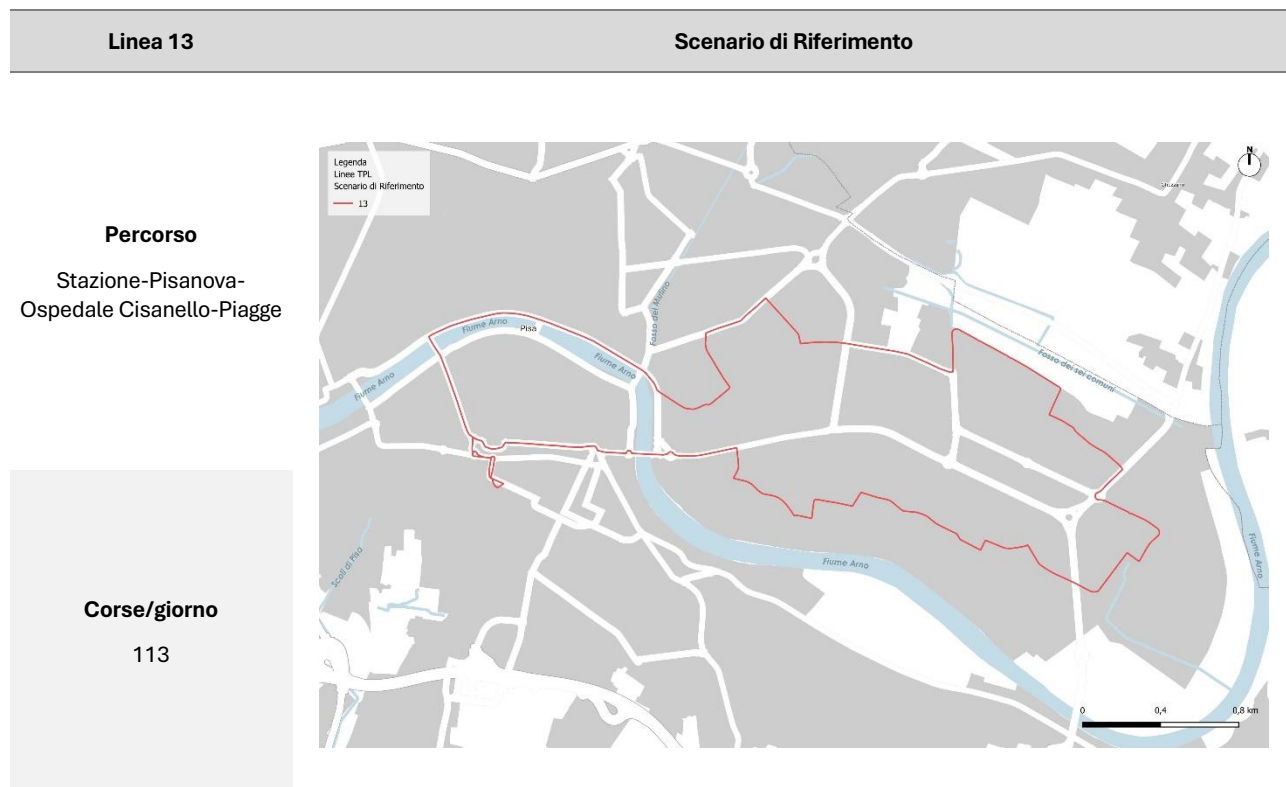
Linea 10




Linea 11



Linea 13

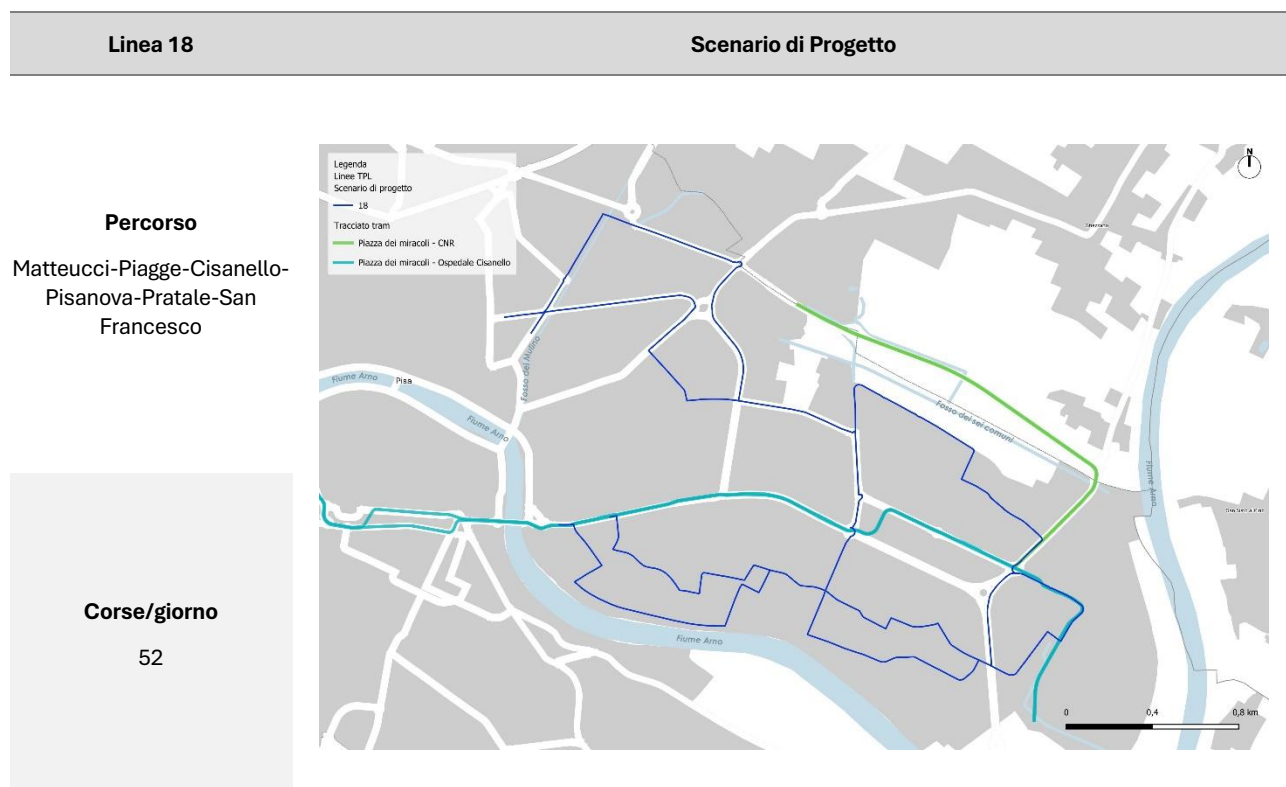
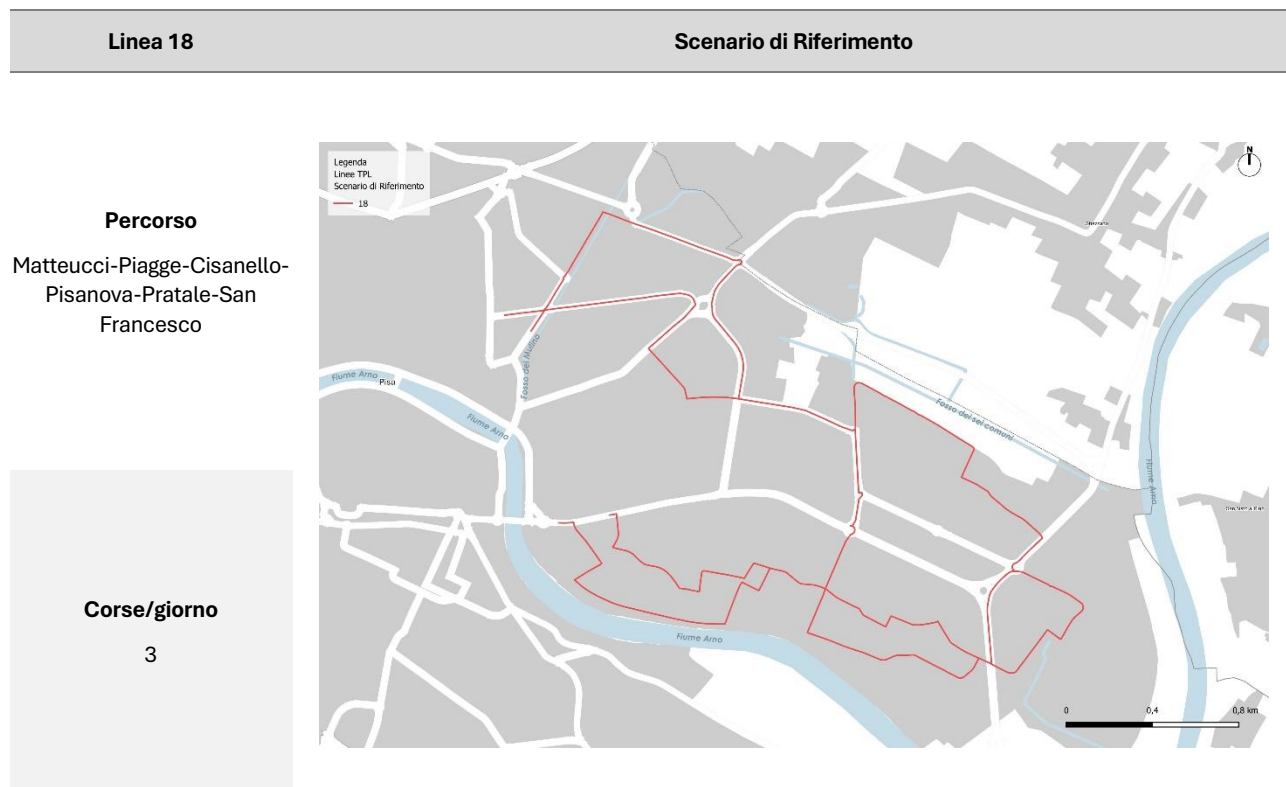


Linea 14

Linea 14	Scenario di Riferimento
<p>Percorso Stazione-Piagge-Ospedale Cisanello-Pisanova</p> <p>Corse/giorno 113</p>	

Linea 14	Scenario di Progetto
<p>Percorso ---</p> <p>Corse/giorno ---</p>	<p>SOPPRESSA</p>

Linea 18



Linea 21

Linea 21

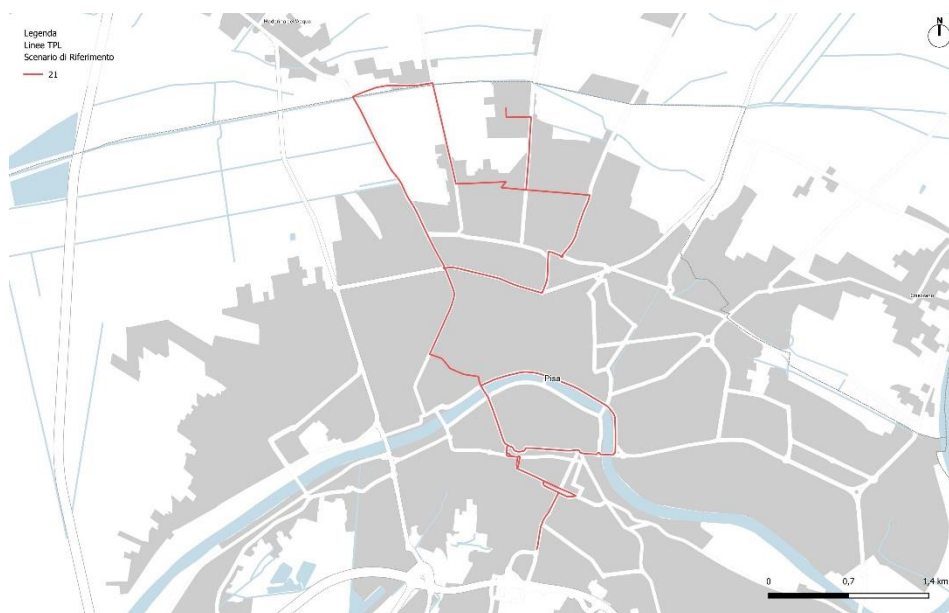
Scenario di Riferimento

Percorso

I passi–Torre–CEP–Stazione–
San giusto

Corse/giorno

14



Linea 21

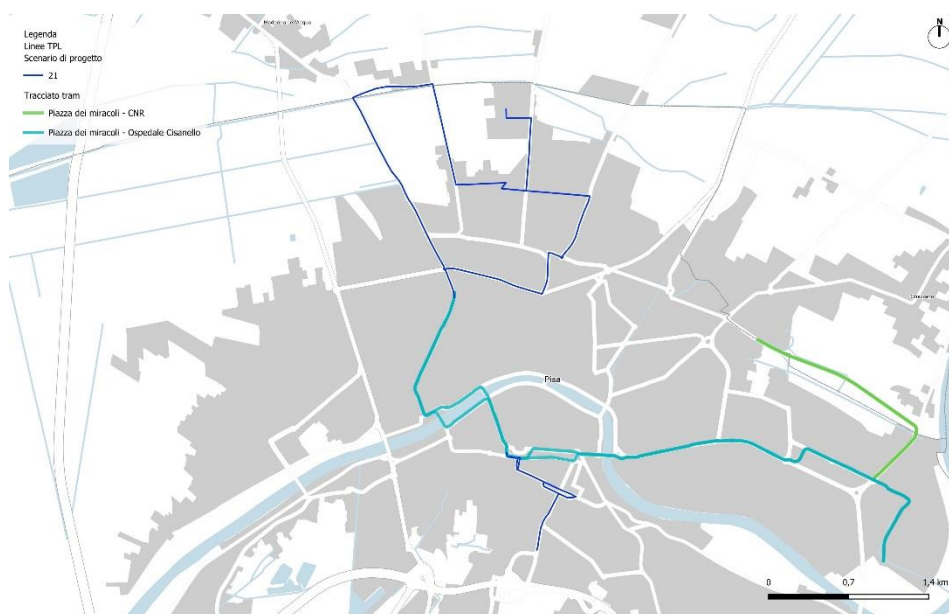
Scenario di Progetto

Percorso

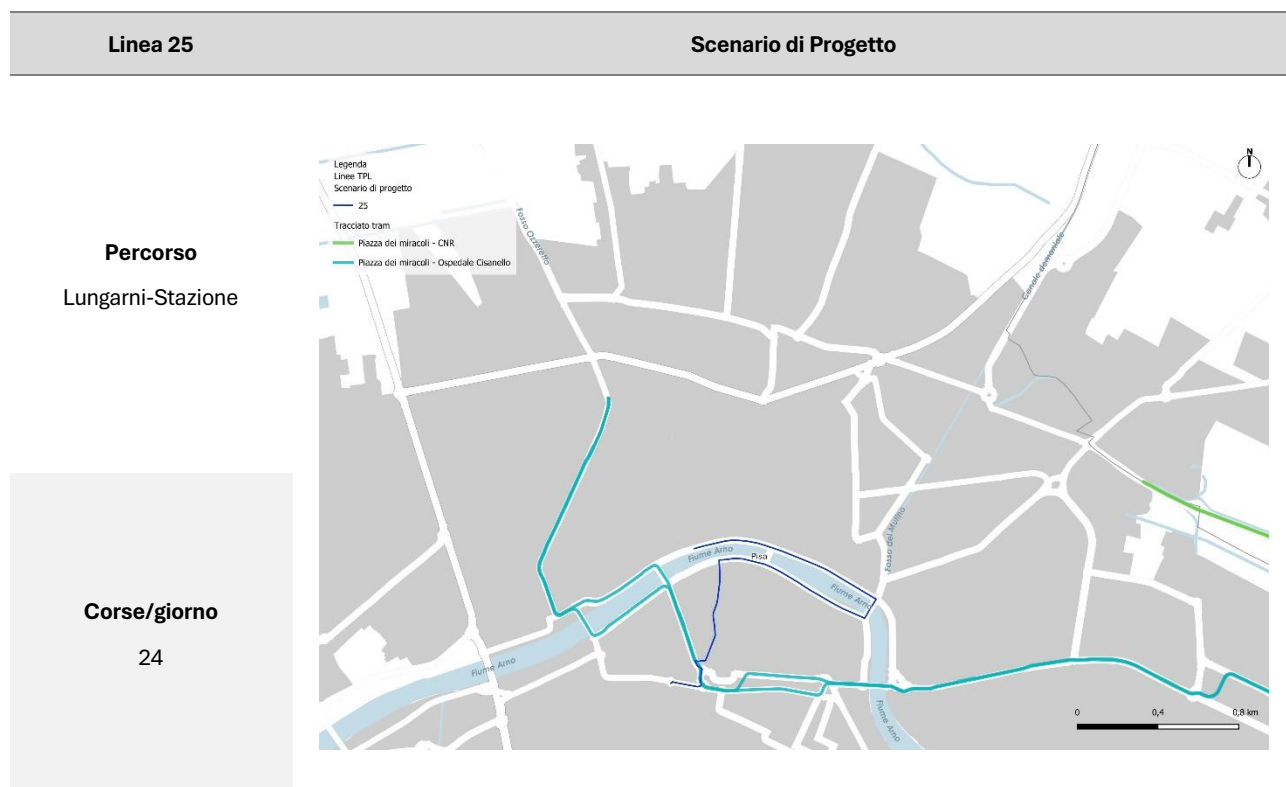
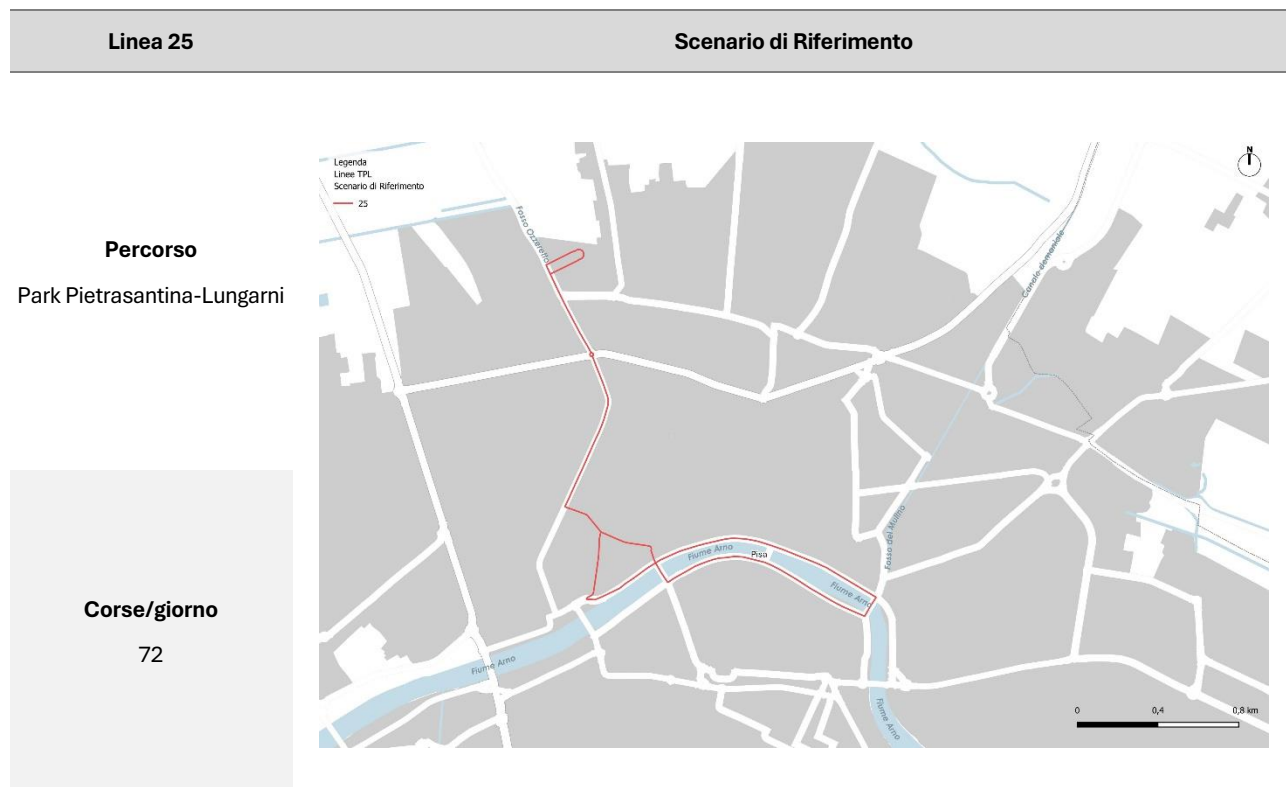
I passi–Parcheggio di
scambio “Torre”
San giusto–Stazione

Corse/giorno

24



Linea 25



Linea 50

Linea 50

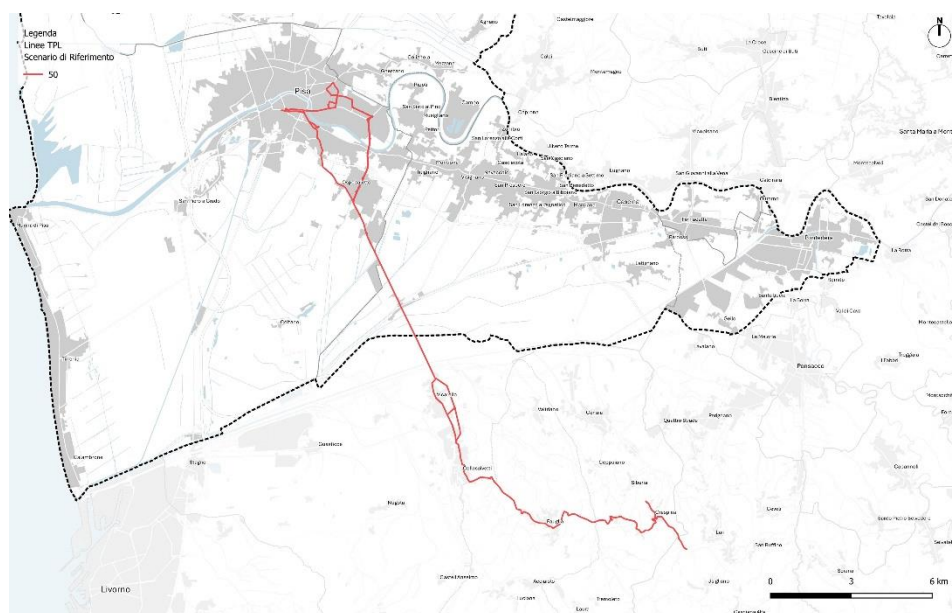
Scenario di Riferimento

Percorso

Pisa-Collesalveti-Fauglia-
Crespina

Corse/giorno

31



Linea 50

Scenario di Progetto

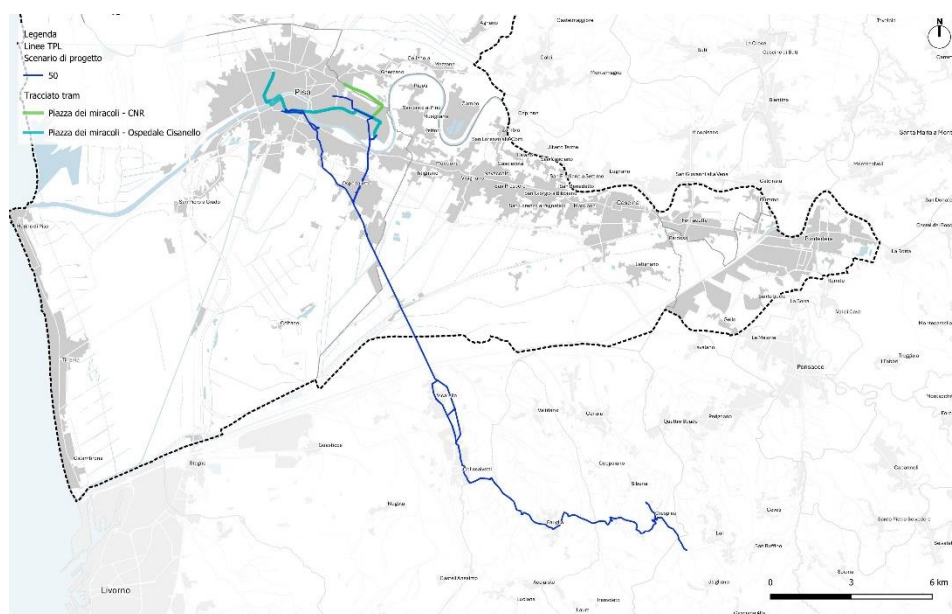
Percorso

Pisa-Collesalveti-Fauglia-
Crespina

Parcheggio di scambio
“Ospedale”-Collesalveti-
Fauglia-Crespina

Corse/giorno

31



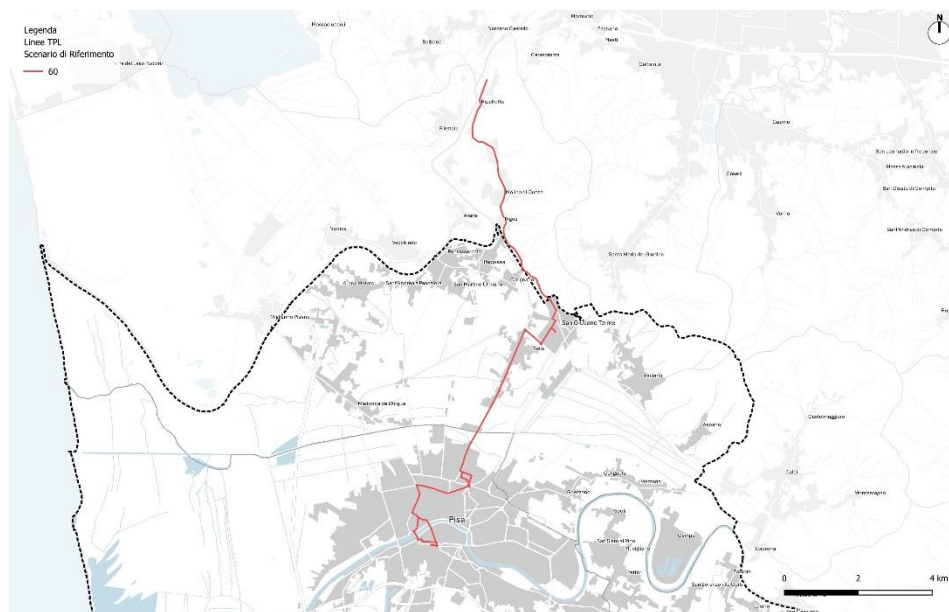
Linea 60

Linea 60

Scenario di Riferimento

Percorso
Pisa-S.Giuliano Terme-
Ripafratta

Corse/giorno
37

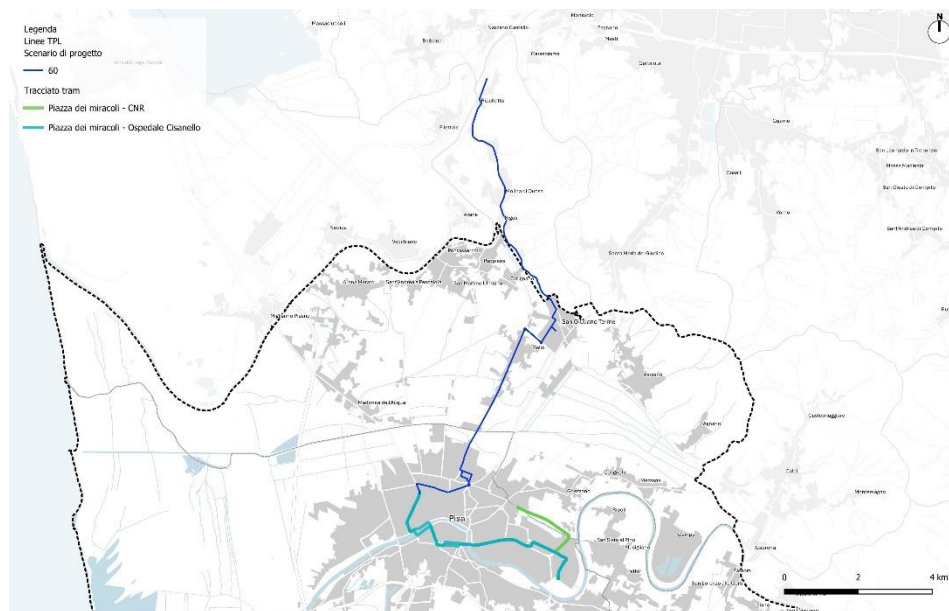


Linea 60

Scenario di Progetto

Percorso
Parcheggio di scambio
"Torre"-S.Giuliano Terme-
Ripafratta

Corse/giorno
37



Linea 70

Linea 70

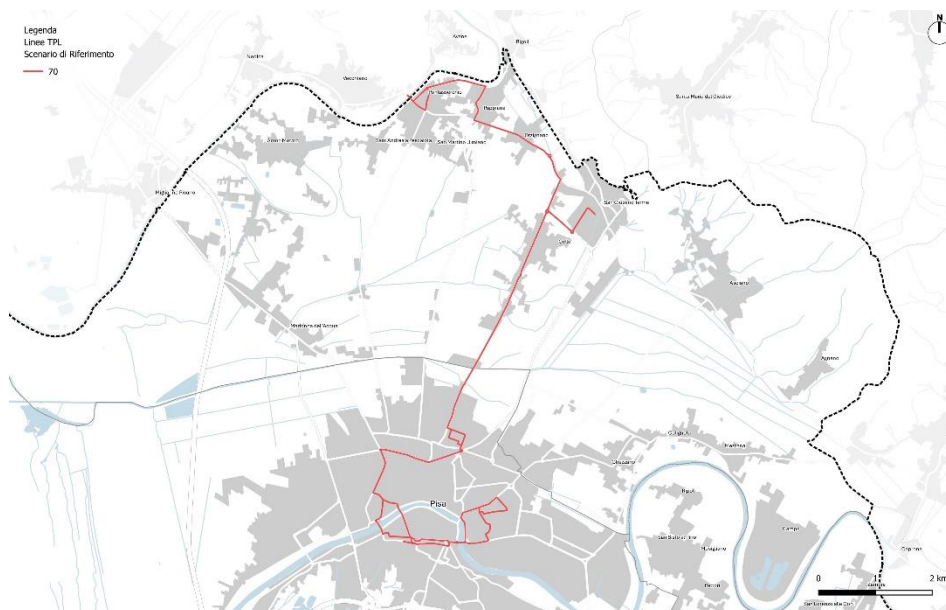
Scenario di Riferimento

Percorso

Pisa-Gello-Pontasserchio

Corse/giorno

41



Linea 70

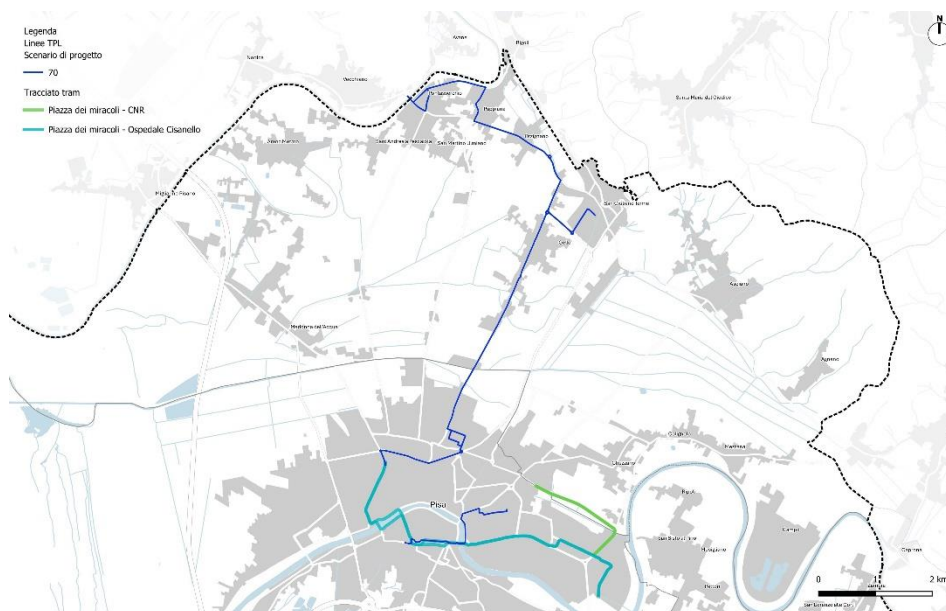
Scenario di Progetto

Percorso

Parcheggio di scambio
"Torre"-Gello-Pontasserchio
Marchesi-Stazione

Corse/giorno

41



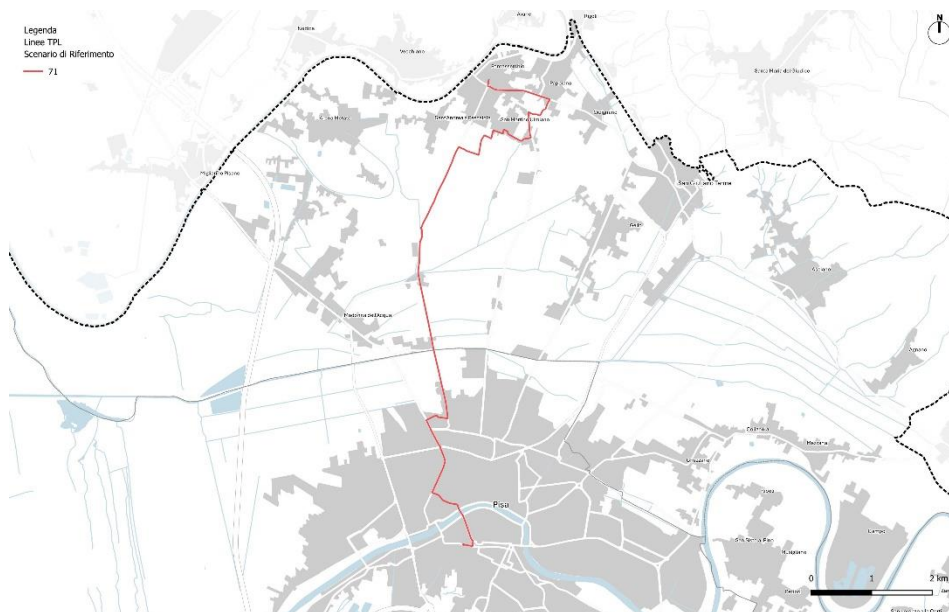
Linea 71

Linea 71

Scenario di Riferimento

Percorso
Pisa-S. Martino u.no-
Pontasserchio

Corse/giorno
2

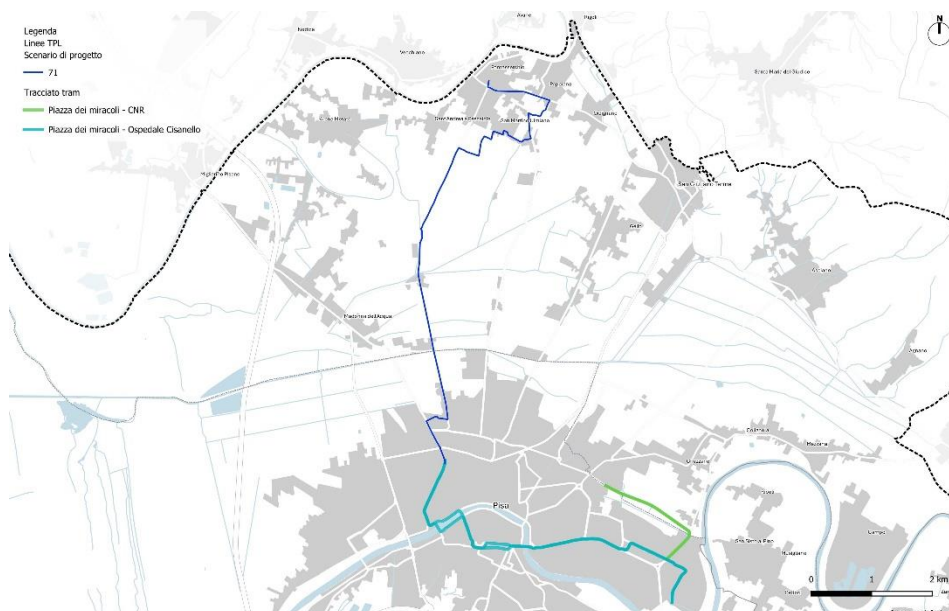


Linea 71

Scenario di Progetto

Percorso
Parcheggio di scambio
"Torre"-S. Martino u.no-
Pontasserchio

Corse/giorno
2



Linea 80

Linea 80

Scenario di Riferimento

Percorso

Pisa-Migliarino-Vecchiano-
Filettole

Corse/giorno

47



Linea 80

Scenario di Progetto

Percorso

Parcheggio di scambio
"Torre"-Migliarino-
Vecchiano-Filettole

Corse/giorno

38



Linea 81

Linea 81

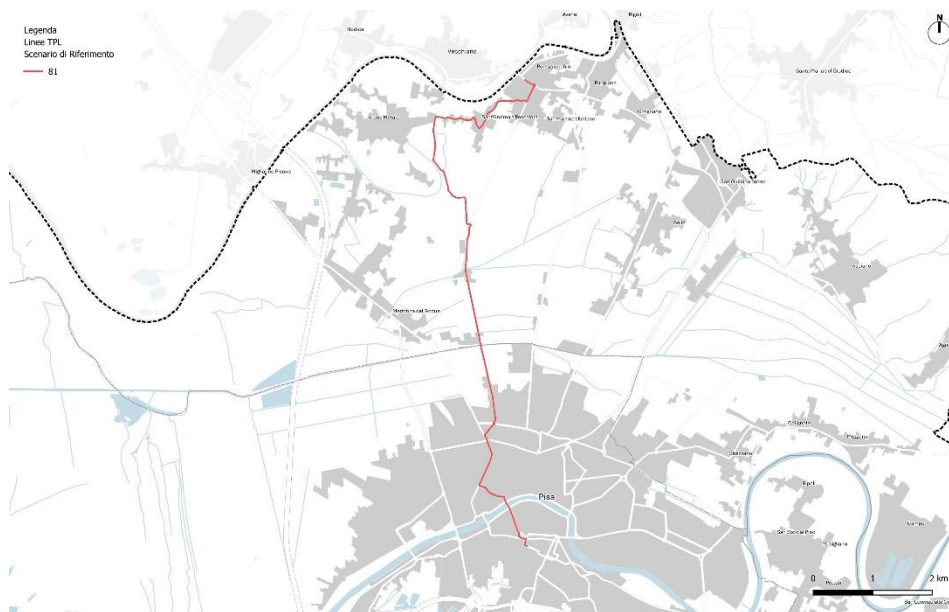
Scenario di Riferimento

Percorso

Pisa-Sant'Andrea in p.-
Pontasserchio-Vecchiano

Corse/giorno

3



Linea 81

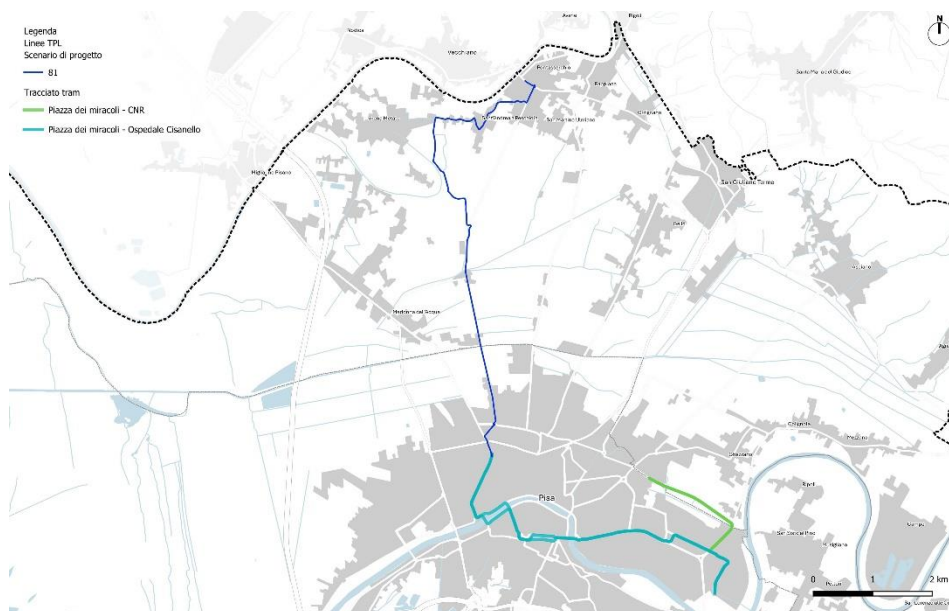
Scenario di Progetto

Percorso

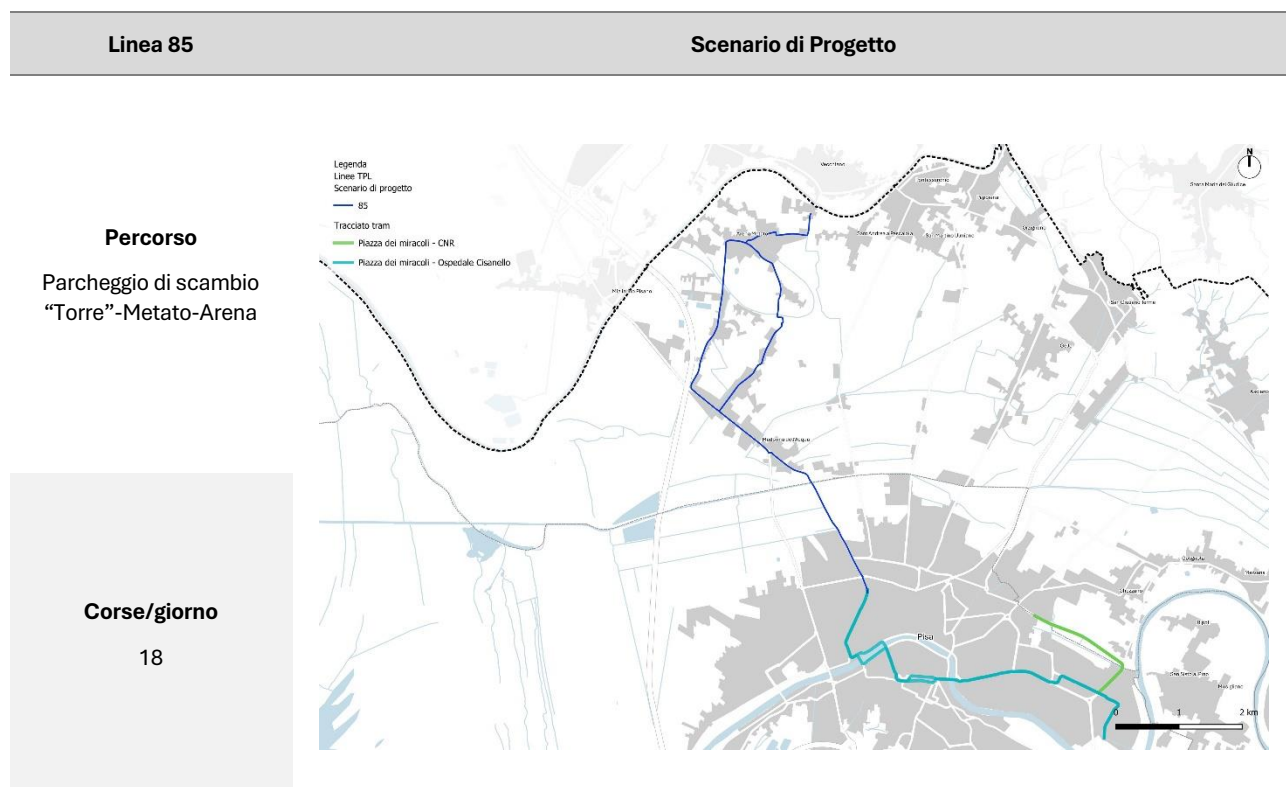
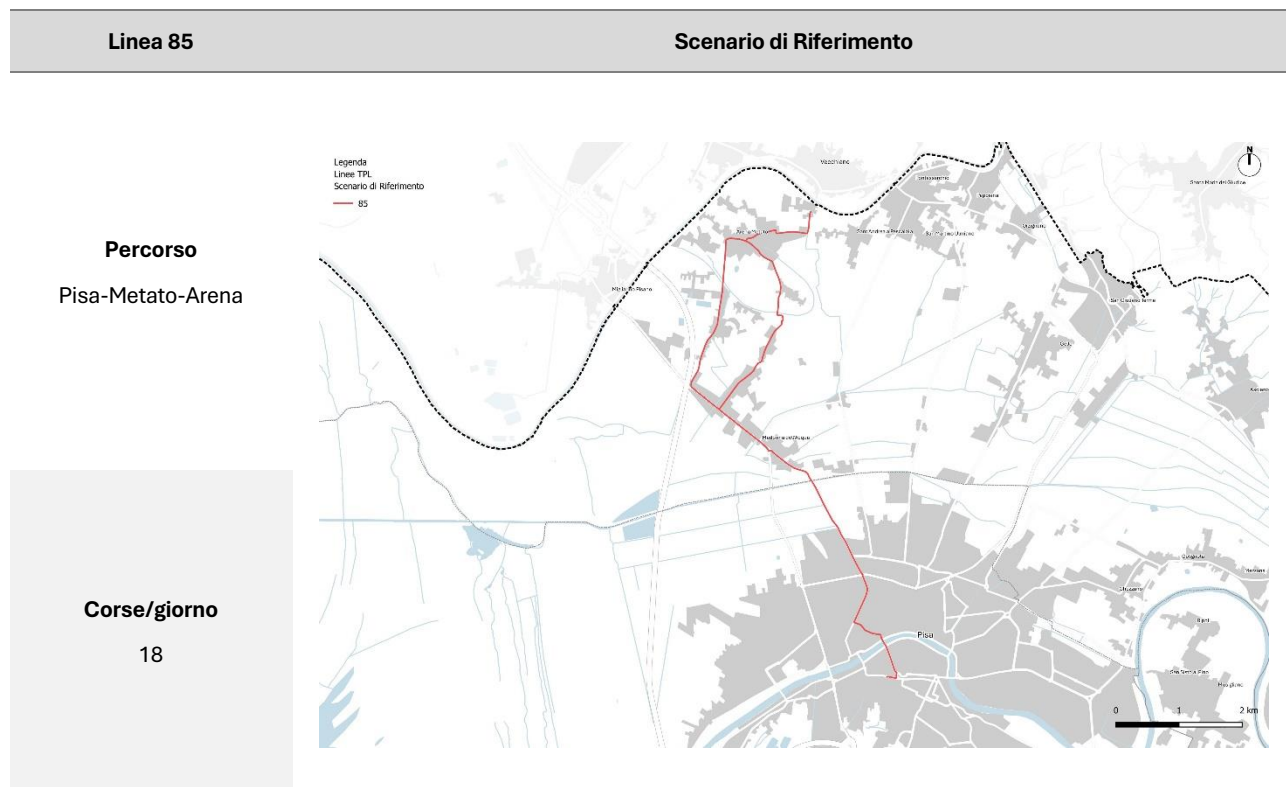
Parccheggio di scambio
"Torre"-Sant'Andrea in p.-
Pontasserchio-Vecchiano

Corse/giorno

3



Linea 85



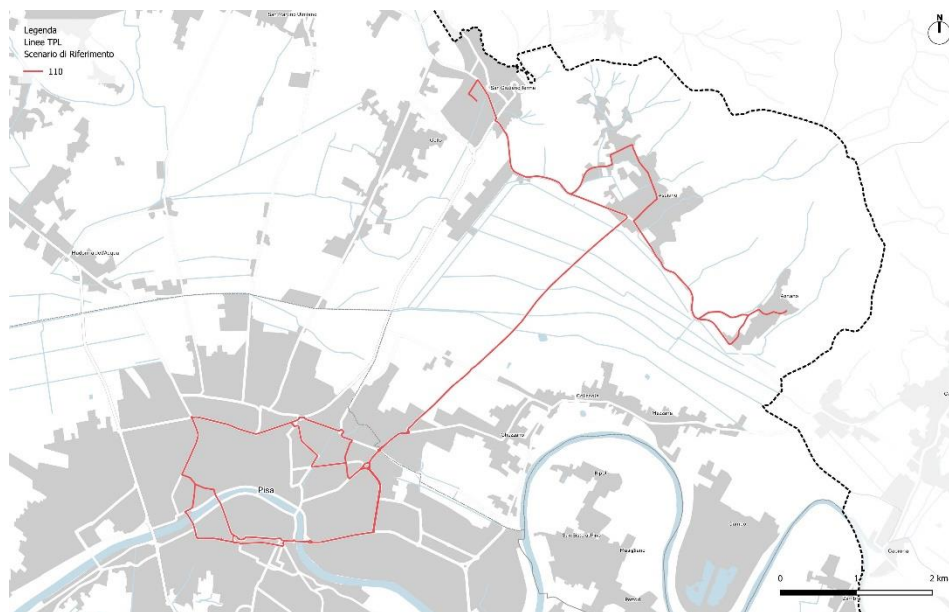
Linea 110

Linea 110

Scenario di Riferimento

Percorso
Agnano-Asciano-Pisa

Corse/giorno
17

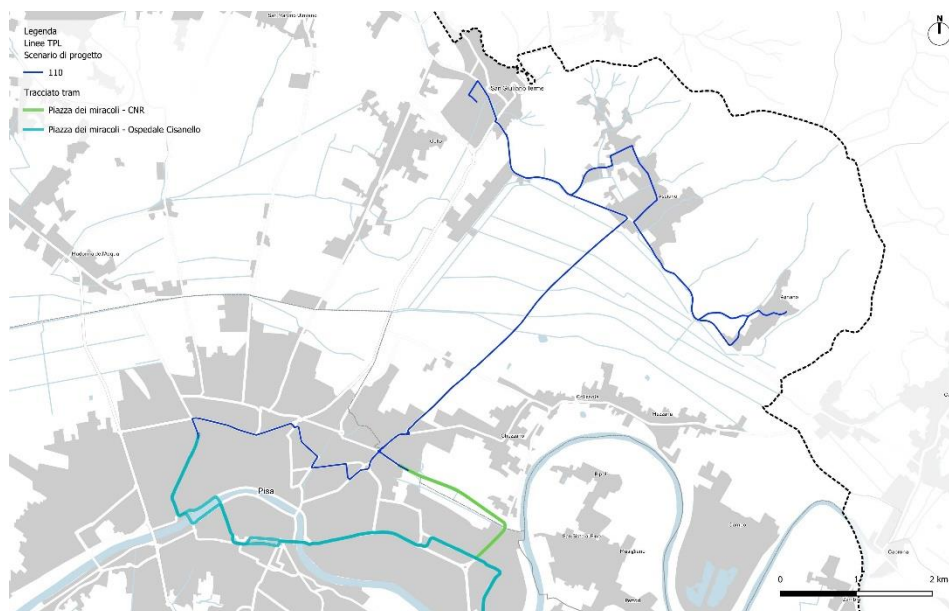


Linea 110

Scenario di Progetto

Percorso
Agnano-Asciano- Parcheggio
di scambio “Torre”
Agnano-Asciano- CNR

Corse/giorno
19



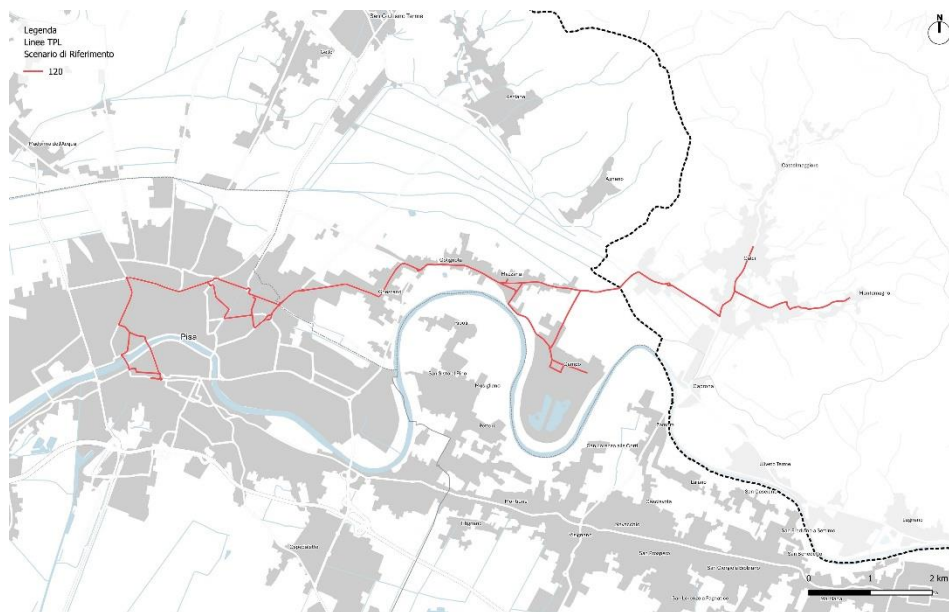
Linea 120

Linea 120

Scenario di Riferimento

Percorso
Pisa-Calci-Montemagno

Corse/giorno
39

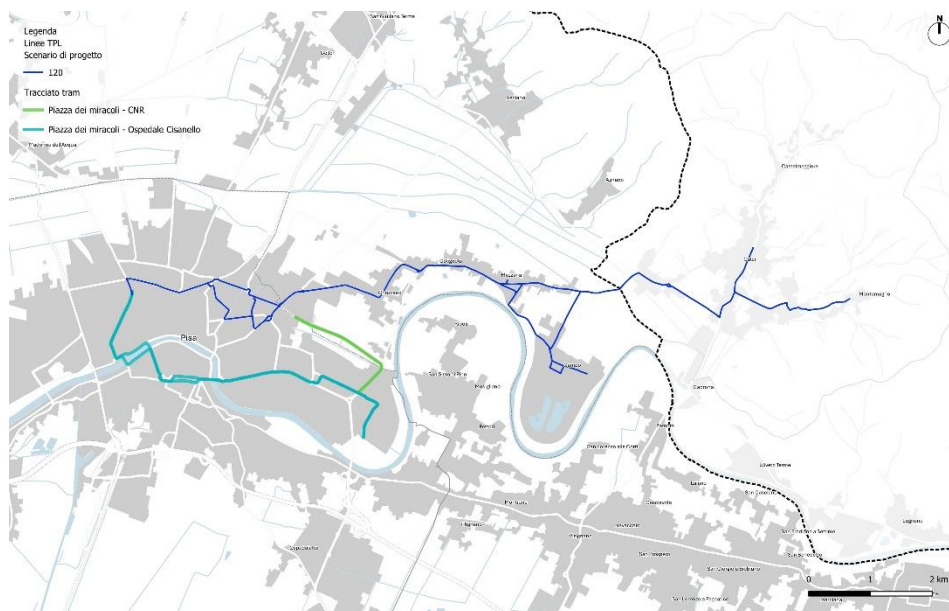


Linea 120

Scenario di Progetto

Percorso
Parcheggio di scambio
“Torre”-Calci-Montemagno

Corse/giorno
39



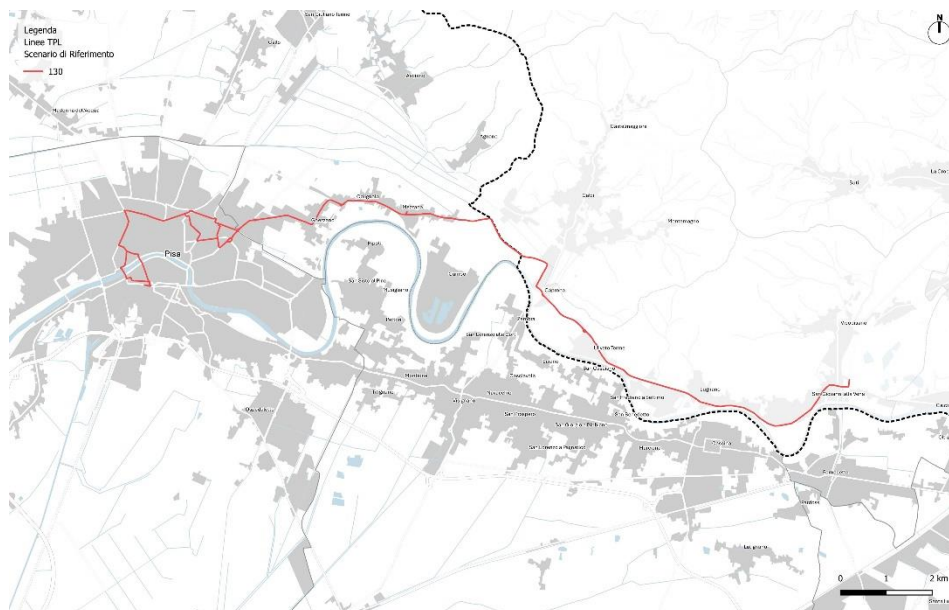
Linea 130

Linea 130

Scenario di Riferimento

Percorso
Pisa-Vicopisano

Corse/giorno
33

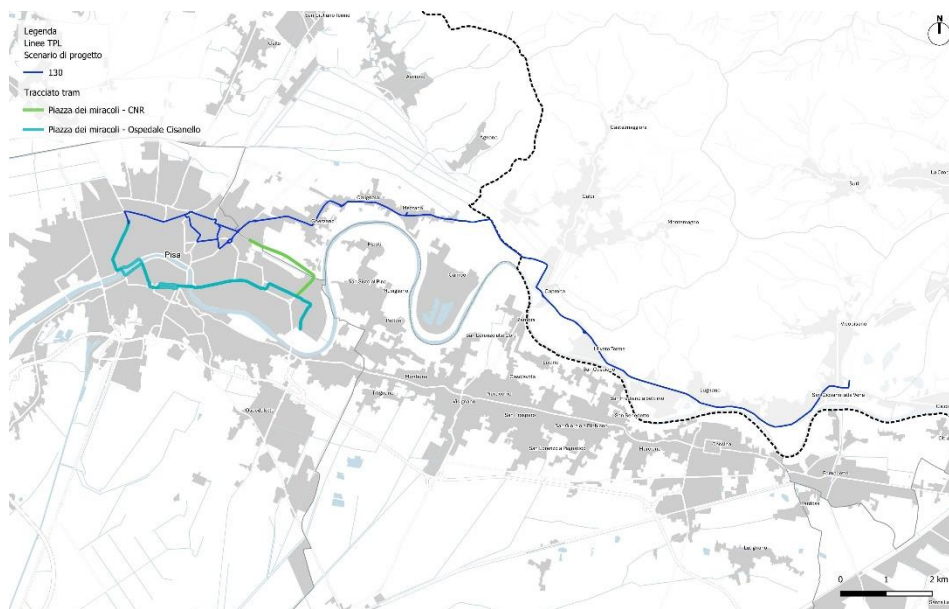


Linea 130

Scenario di Progetto

Percorso
Parcheggio di scambio
“Torre”-Vicopisano

Corse/giorno
33



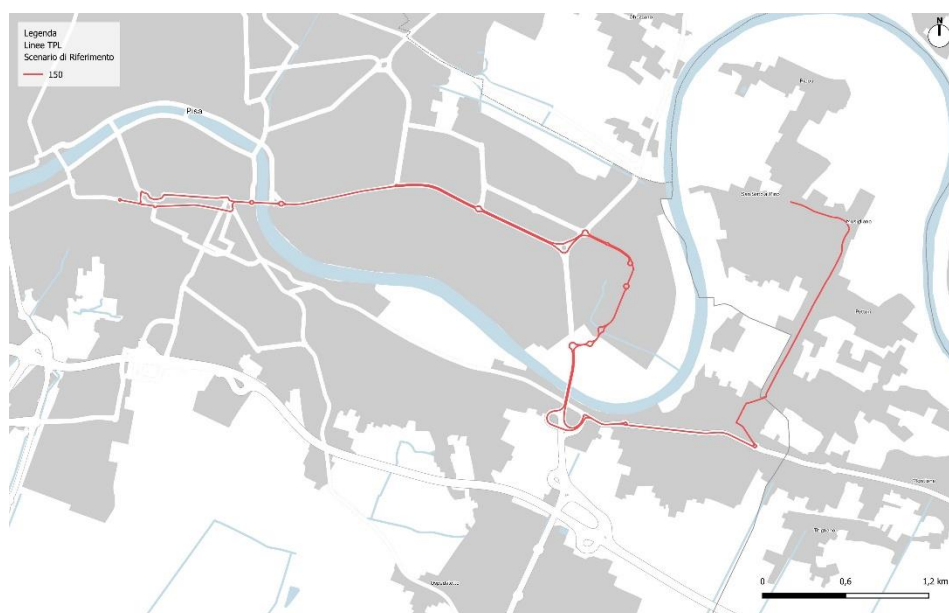
Linea 150

Linea 150

Scenario di Riferimento

Percorso
Pettori-Riglione-Pisa

Corse/giorno
24

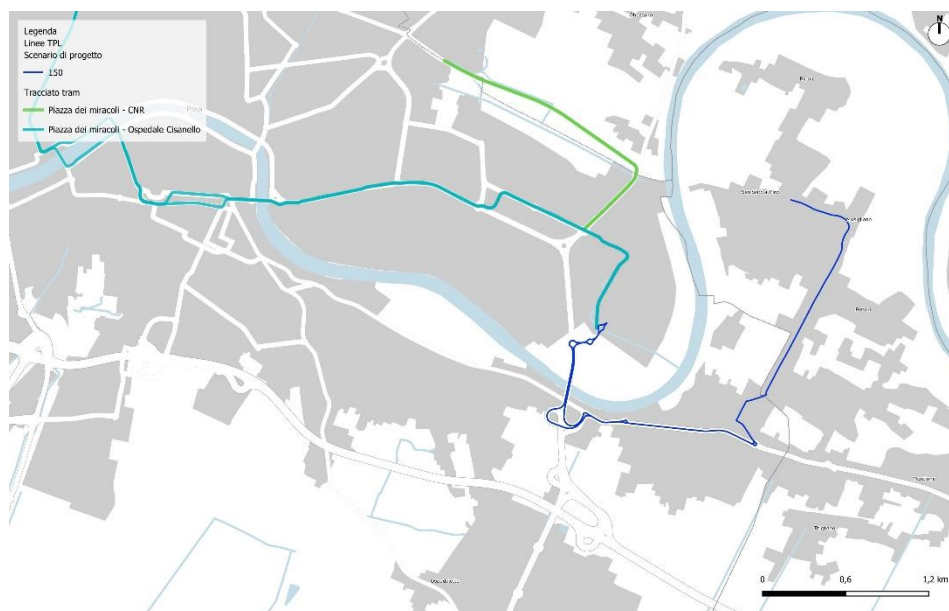


Linea 150

Scenario di Progetto

Percorso
Pettori-Riglione- Parcheggio
di scambio “Ospedale”

Corse/giorno
24



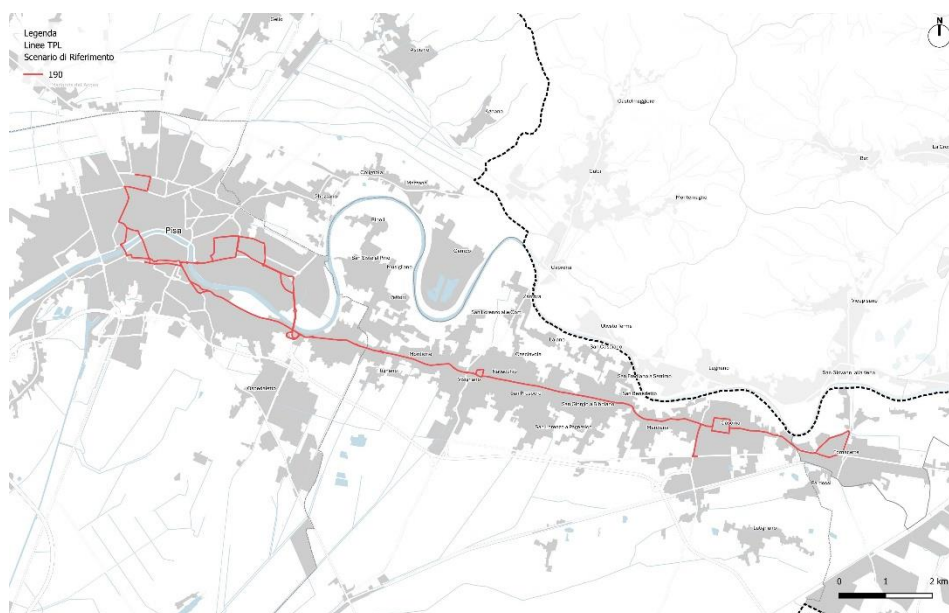
Linea 190

Linea 190

Scenario di Riferimento

Percorso
Pisa-Cascina

Corse/giorno
129

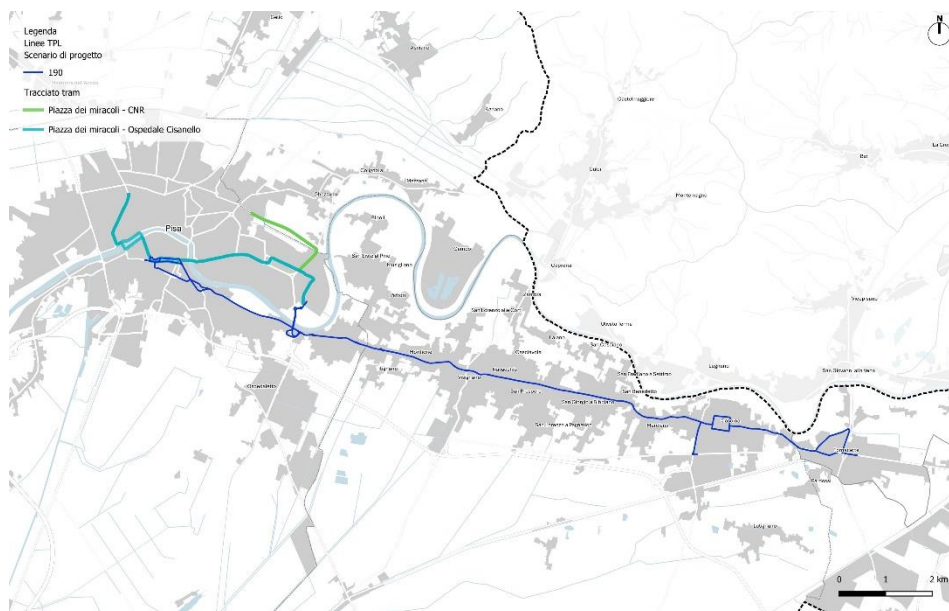


Linea 190

Scenario di Progetto

Percorso
Stazione-Cascina
Parcheggio di scambio
“Ospedale”-Cascina

Corse/giorno
131



Linea 840

Linea 840

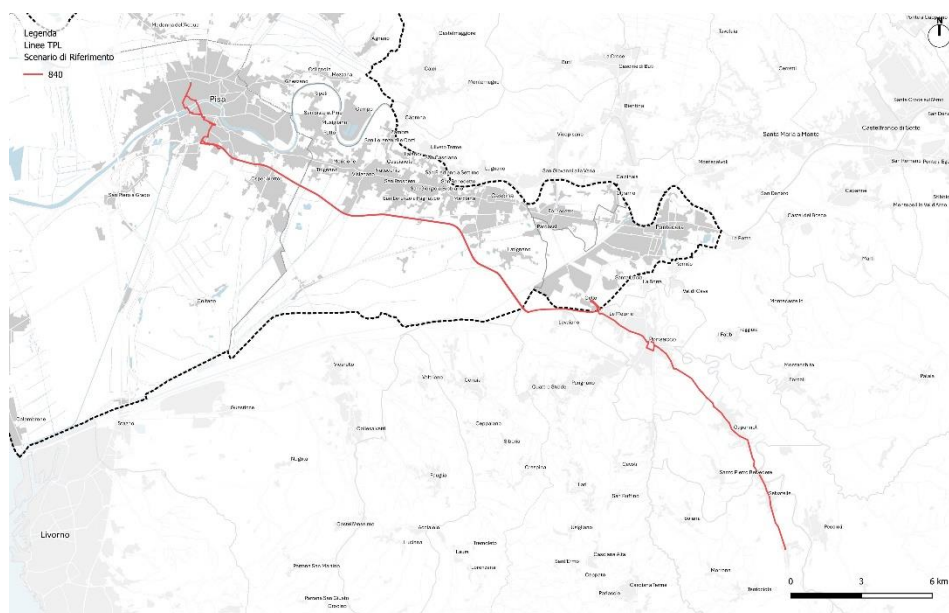
Scenario di Riferimento

Percorso

Castelnuovo Val Di Cecina-
Pomarance-Pisa (Piazza
Manin)

Corse/giorno

2



Linea 840

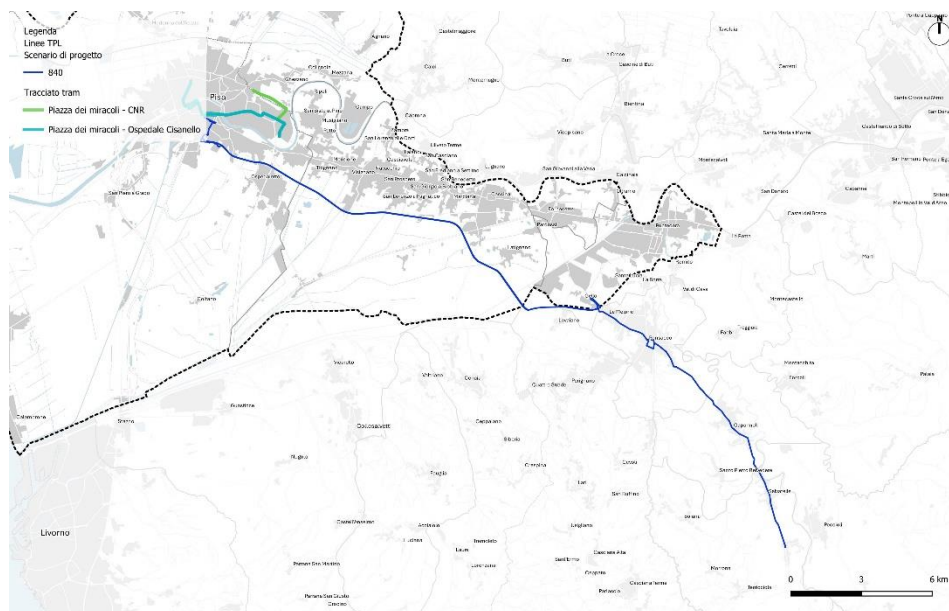
Scenario di Progetto

Percorso

Castelnuovo Val Di Cecina-
Pomarance-Stazione

Corse/giorno

2



Il sistema di domanda

Evoluzione demografica

La misura di una città non si limita all'analisi della ripartizione amministrativa. La Commissione Europea¹³, in sinergia con l'ufficio demografico OCSE, definisce una *functional urban area* come una città e la propria area del pendolarismo: un contesto urbano integrato, in cui i territori sono strettamente interconnessi da un punto di vista economico. Sulla base di tale definizione, si può ritenere che l'area urbana funzionale di Pisa integra 5 comuni per una popolazione complessiva di circa 194.000 persone.

A partire da ciò è possibile fare previsioni sugli scenari demografici futuri analizzando le tendenze in atto: in particolare disaggregando le proiezioni Istat¹⁴ sulla "memoria" demografica locale del periodo 2011-2024 si ottiene una proiezione che è l'impronta del *business-as-usual*, cioè della possibile evoluzione secondo l'attuale modello socioeconomico. È stata quindi sviluppata un'analisi specifica sulla base dei dati ISTAT disponibili degli ultimi anni, ed evoluta rispetto al contesto di Pisa e degli ulteriori 4 comuni compresi, così da poter costruire un trend di riferimento che rappresenti un punto di partenza per gli studi specialistici.

Come riportato in Tabella 5.1, negli ultimi 14 anni la popolazione è complessivamente cresciuta, ad eccezione del comune di San Giuliano Terme che registra un lieve calo. La variazione maggiore è riscontrata nei comuni di Cascina e Pontedera, con rispettivamente un +10% e un +6%. L'area di studio pertanto mostra un trend crescente che porta i residenti a quasi 194.000 con un delta di oltre 6.000 unità rispetto all'attuale.

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Pisa	85.858	85.517	86.263	88.627	89.523	89.158	90.488	90.118	90.096	90.036	89.969	89.828	89.059	89.371
Pontedera	28.061	28.087	28.249	28.915	29.196	29.223	29.267	29.168	28.935	29.187	29.270	29.288	29.458	29.670
San Giuliano Terme	31.103	31.090	31.066	31.315	31.410	31.399	31.480	31.447	30.846	30.847	30.915	30.805	30.701	30.762
Cascina	43.833	43.719	43.961	44.901	45.102	45.257	45.361	45.212	44.801	44.765	45.005	44.775	44.826	44.814
Calcinaia	11.684	11.698	11.838	12.142	12.285	12.439	12.476	12.582	12.587	12.652	12.700	12.697	12.750	12.822
Area di studio¹⁵	187.735	187.298	188.483	192.736	194.234	194.136	195.703	195.145	193.985	194.130	194.462	194.003	193.358	193.928

Tabella 5.1 Popolazione residente nei comuni oggetto di analisi e nell'area di studio, periodo 2011-2024. Fonte: ISTAT

A partire da questi valori specifici dell'area oggetto di analisi per il passato più prossimo e intersecandoli con le proiezioni fornite dall'ISTAT è stato ottenuto un quadro più cautelativo che mostra variazioni più contenute, aderenti con maggior confidenza agli sviluppi futuri.

Di fatto, osservando l'andamento della popolazione per l'area di studio, si delinea una curva crescente che porta i residenti a superare le 195.000 unità al 2030 (Figura 5.3).

¹³ Si veda: <https://www.istat.it/it/informazioni-territoriali-e-cartografiche/cities-&-functional-urban-areas>

¹⁴ Si veda: <http://demo.istat.it/previsioni2017/index.php?lingua=ita>

¹⁵ I valori dell'area di studio non corrispondono alla somma dei valori comunali in quanto i territori dei singoli comuni non sono interamente inclusi nel perimetro analizzato. Le variazioni parziali concorrono in proporzione alla percentuale di popolazione comunale contenuta nell'area di studio.

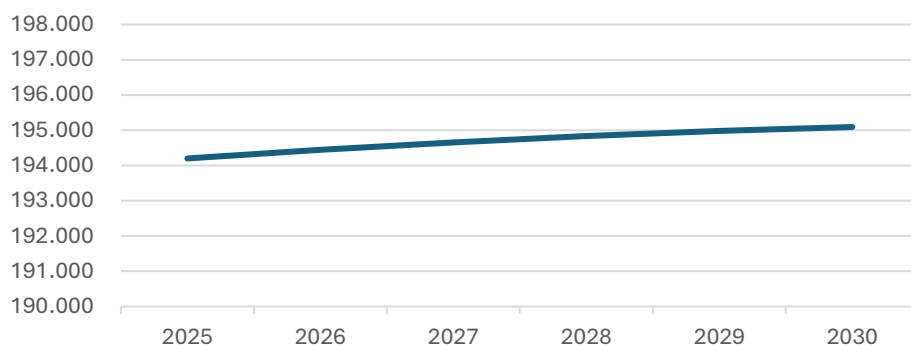


Figura 5.3 Proiezione della popolazione residente nell'area di studio nel periodo 2025-2030

Analogamente a quanto fatto per i dati demografici relativi alla popolazione residente è stato costruito l'andamento del numero degli addetti per i 5 comuni e l'area di studio.

Negli ultimi 12 anni si registra una crescita consistente (+12%) nel territorio analizzato, con Pisa e Pontedera le realtà maggiormente virtuose. San Giuliano Terme e Cascina, invece, mostrano un leggero calo, il quale però non influisce sul trend complessivo dell'area di studio. Nell'arco temporale analizzato, infatti, si rilevano oltre 7.000 nuovi addetti.

Comune	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Pisa	33.559	34.622	34.950	34.659	34.398	34.911	36.172	35.964	35.190	34.528	37.902	39.249
Pontedera	13.934	14.763	14.868	15.264	15.301	15.360	15.974	16.316	16.396	15.402	15.942	16.734
San Giuliano Terme	5.550	5.596	5.292	5.354	5.179	5.381	5.290	5.399	5.346	5.272	5.150	5.373
Cascina	10.055	10.285	11.501	10.401	10.215	10.509	8.567	8.616	8.527	8.607	8.965	9.376
Calcinai	4.038	4.493	3.868	3.623	3.783	4.078	3.864	4.003	4.477	3.953	4.259	4.449
Area di studio¹⁶	62.267	64.551	65.492	64.308	63.834	65.066	64.644	64.946	64.407	62.632	66.878	69.587

Tabella 5.2 Numero di addetti nei comuni oggetto di analisi e nell'area di studio, periodo 2011-2022. Fonte: ISTAT

Come è possibile vedere nel seguente grafico (Figura 5.4), sulla base delle variazioni storiche dell'ultimo decennio, è prevedibile che la forza lavoro per l'area di studio superi le 73.000 unità entro il 2030, con un incremento di circa 4.000 addetti concentrati nei comuni di Pisa e Pontedera.

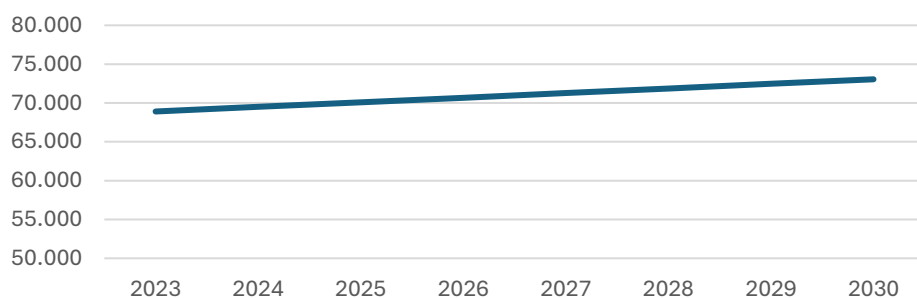


Figura 5.4 Proiezione del numero di addetti nell'area di studio nel periodo 2023-2030

¹⁶ I valori dell'area di studio non corrispondono alla somma dei valori comunali in quanto i territori dei singoli comuni non sono interamente inclusi nel perimetro analizzato. Le variazioni parziali concorrono in proporzione alla percentuale di popolazione comunale contenuta nell'area di studio.

Nuovi sviluppi urbanistici

Alla luce del trend di crescita demografica ed occupazionale precedentemente descritto, che ben rendiconta le dinamiche attuali legate alla popolazione ed agli addetti ed aiuta a comprendere le variazioni future, un ulteriore elemento che concorre alla definizione degli sviluppi futuri di un territorio sono i piani regolatori vigenti.

Dunque, parallelamente all'analisi svolta nel paragrafo precedente, sono state condotte una revisione ed uno studio dei documenti di pianificazione esistenti per il territorio di riferimento in un'ottica di individuazione dei poli residenziali o produttivi pianificati capaci di incrementare la presenza di abitanti e lavoratori e mutare la domanda di mobilità all'interno del territorio.

Lo strumento principe per il governo degli interventi sul territorio nella regione Toscana è il Piano Strutturale (PS) che, per sua natura, racchiude al suo interno le linee di sviluppo futuro auspicabili assieme ad una serie di interventi.

Per quanto riguarda l'area di studio la maggior parte del territorio ricade nei comuni di San Giuliano Terme, Pisa e Cascina.

I comuni di Pisa e di Cascina, si sono dotati nel 2023 del Piano Strutturale Intercomunale che regola ed indirizza lo sviluppo del territorio dei 2 comuni per il futuro prossimo. Pertanto, dall'analisi di questo strumento è stato possibile studiare, oltre alle tendenze in atto, anche le intenzioni politiche e quindi le volontà locali di crescita demografica ed economica esplicitate sotto forma di superfici trasformabili.

Le previsioni di tale piano vengono distribuite spazialmente secondo 27 Unità Territoriali Omogenee Elementari (UTOE), 15 per il comune di Pisa e 12 per quello di Cascina, consentendo di localizzare con maggior precisione le superfici.

Il PSI per ogni UTOE definisce e dimensiona le previsioni di trasformazione per 6 diverse funzioni. Come esplicitato nella Tabella 5.3 sono suscettibili di trasformazione quasi 1,5 km² del territorio intercomunale. È inoltre possibile fare alcune considerazioni:

- la funzione maggiormente estesa è quella Direzionale e di servizio con oltre 430.000 m² concentrati per il 60% nel territorio di Cascina;
- seguono la funzione industriale e residenziale, rispettivamente con 400.000 e 300.000 m²;
- la funzione che occupa la fetta inferiore è quella del commercio all'ingrosso, quasi 77.000 m² per oltre l'80% concentrati nel comune di Cascina;
- la funzione turistica prevede nuove superfici quasi esclusivamente (87%) nel comune capoluogo;
- complessivamente, le superfici trasformabili risultano equamente ripartite tra i due comuni.

Anche il comune di **San Giuliano Terme** si è dotato del proprio **Piano Strutturale**. Di seguito si riporta in Tabella 5.3 le previsioni di sviluppo considerate per ciascuno dei tre comuni sopracitati al fine del calcolo dell'incremento della domanda negli scenari futuri.

	SUL nuove trasformazioni urbanistiche		
	San Giuliano	Comune di Pisa	Comune di Cascina
Residenziale	555 m ²	190.780 m ²	112.800 m ²
Industriale/Artigianale	-	226.000 m ²	173.100 m ²
Commerciale al dettaglio	3056 m ²	79.405 m ²	61.900 m ²
Turistico/ricettiva	151 m ²	85.120 m ²	12.800 m ²

	SUL nuove trasformazioni urbanistiche		
	San Giuliano	Comune di Pisa	Comune di Cascina
Direzionale e di servizio	19038 m ²	174.050 m ²	256.650 m ²
Commerciale all'ingrosso/depositi	-	13.000 m ²	63.800 m ²
TOTALE		768.355 m²	681.050 m²

Tabella 5.3 Previsioni di sviluppo da PSI al 2050 per il territorio intercomunale di Pisa e Cascina. Principali previsioni di sviluppo Superfici trasformabili per funzione. Fonte: PSI Pisa-Cascina

Per completare il **quadro previsionale** in grado di influire sul sistema di domanda, è stata condotta un'analisi sulla pianificazione attuativa e sulle evidenze dei progetti in via di realizzazione. Sono stati vagliati quindi gli interventi di cui sono state approfondite le fasi progettuali e costituiscono una manifestazione concreta della volontà di realizzazione di una nuova edificazione nel breve periodo e offrono una visione più puntuale e determinata sull'andamento dell'urbanizzazione futura dei prossimi anni. I dati sulle superfici oggetto di intervento che vengono qui esposti sono espressione delle direttive pianificatorie del PSI e ne rispettano i parametri di SUL; pertanto, non costituiscono un'aggiunta alle superfici sopra descritte, ma una più dettagliata e precisa espressione degli interventi generali.

In sintesi, si riportano di seguito le evidenze più rilevanti per l'area oggetto di intervento:

- La **Scuola Sant'Anna** ha iniziato a maggio 2024 i lavori per la realizzazione del nuovo Polo Scientifico in via Giovanni Berchet accanto all'area del CNR di Pisa. Il progetto prevede la realizzazione di quattro nuovi edifici in 27 mesi di cantiere. Il complesso si svilupperà su circa 6mila metri quadri di superficie coperta, per **circa 20mila metri quadri** di superfici interne agli edifici, su più piani, con ampi spazi verdi e dotazioni a sostegno della mobilità sostenibile come piste ciclabili e punti di ricarica per veicoli elettrici. Tre dei quattro edifici ospiteranno attività di ricerca, di didattica e di trasferimento tecnologico delle Scienze Sperimentali (Ingegneria, Medicina, Scienze Agrarie e Biotecnologie) mentre il quarto edificio assolverà alle funzioni di centro servizi per l'area ospitando un grande auditorium e gli spazi di supporto come caffetteria, mensa, uffici¹⁷;
- **L'area di Cisanello** prevede un importante ampliamento del Polo Ospedaliero Universitario verso sud a completamento del lotto libero tra gli edifici già realizzati ed il parcheggio di via Vittorio Putti. L'intervento nel complesso si estende su un'area di quasi 30 ettari e prevede la realizzazione di oltre 50.000 mq di superfici coperte. L'area ospedaliera vedrà un incremento consistente dei posti letto, paria a circa 800 unità, mentre la parte universitaria sarà in grado di accogliere circa 3.360 studenti nei 7.700 m² di laboratori di ricerca.
- L'intervento **residenziale "Isola Verde"** (fronte nord di via Bargagna), da tempo già parzialmente realizzato al grezzo, ha di recente ripreso i lavori per il suo completamento dopo un periodo di stasi. L'intervento consiste in due torri residenziali alte circa 45m per un totale di circa 90 nuove unità abitative residenziali.

¹⁷ fonte <https://www.santannapisa.it/it/news/polo-scientifico-scuola-santanna-posa-prima-pietra>

- All'interno dell'area ineditata tra via Bargagna e via Cisanello è prevista la realizzazione del nuovo **ospedale pediatrico Stella Maris**, il cui progetto risulta attualmente in fase di definizione dello stadio esecutivo. La superficie territoriale consiste in circa 2,8 ettari e consente una capacità edificatoria massima di circa 12.000 m². Si ipotizza cautelativamente che le strutture realizzate al 2030 corrispondano al 90%;
- È in corso una procedura privata finalizzata ad individuare la migliore offerta per l'acquisto e la valorizzazione del Complesso Monumentale di **Santa Chiara**. Si tratta di un intervento di **rigenerazione urbana** che copre una superficie di quasi **118.000 mq** con destinazioni d'uso ancora da definire al netto di un centro congressuale da 1.500 posti, per tale motivo si prevede che solo il 50% della rigenerazione urbana sia effettivamente realizzata;
- Dal Piano Strutturale di San Giuliano Terme, in prossimità del tracciato tramviario si evidenzia un'ampia area di trasformazione territoriale. Si tratta del **comparto n. 1 della UTOE n. 31 – Carraia**, ampio 75.671 mq. L'area è destinata a servizi di interesse generale a carattere privato (concretizzabili in una struttura alberghiera, strutture di ristoro, sportive e ricreative collegate al tempo libero, o in servizi di interesse generale collegati alla struttura ospedaliera), infrastrutture ed impianti tecnici di interesse generale e opere di mitigazione correlate alla viabilità ovest est. Non si hanno evidenze di piani particolareggiati in attuazione del comparto. Data la presenza su tale comparto del parcheggio di scambio di via Giovannini, oltre che la realizzazione del deposito dei tram, la massima realizzazione consentita corrisponde al 25% delle opere previste;
- Conversione **Caserma Artale** in edifici residenziali, destinati sia agli studenti che al libero mercato, corrispondenti a una superficie pari a 11.290 mq;
- È prevista la realizzazione della **Facoltà di Biologia** nei pressi della Facoltà di Chimica in via Giuseppe Moruzzi. Si estenderà su una superficie pari a 16.143 mq;

Come precedentemente esplicitato, le superfici elencate in Tabella 5.3 sono inclusive di quelle citate nel successivo punto elenco. La superficie ottenuta dalla differenza tra il valore totale e quello elencato nel punto elenco corrisponde alla massima trasformabilità del territorio nel lungo periodo (2050). Risulta difficilmente ipotizzabile che il 100% di queste superfici siano effettivamente convertite in nuovi sviluppi urbanistici entro il **2030**, per cui si considera cautelativamente che solo il **50% di tali superfici** sia effettivamente edificata. Successivamente, attraverso l'utilizzo di specifici coefficienti, è stato possibile stimare la domanda generata e attratta dalle varie zone prese in analisi, così da inserire nell'analisi trasportistica gli effetti derivanti dagli interventi urbanistici previsti dagli strumenti di pianificazione territoriale all'orizzonte temporale di riferimento del 2030.

In seconda battuta, utilizzando coefficienti desunti dalla letteratura (Trip Generation Manual), sono stati stimati gli spostamenti generati ed attratti dalle trasformazioni territoriali a livello giornaliero. Tali coefficienti variano in funzione delle diverse tipologie di intervento e delle relative dimensioni. Si riportano di seguito gli spostamenti derivanti dalle nuove realizzazioni e suddivisi per destinazione d'uso:

- **residenziale:** 1,777 spostamenti/giorno/mq;
- **industriale/artigianale:** 471 spostamenti/giorno/mq;
- **commerciale:** 6,998 spostamenti/giorno/mq;

- **turistico:** 544 spostamenti/giorno/mq;
- **direzionale:** 9,222 spostamenti/giorno/mq;
- **produttivo:** 61 spostamenti/giorno/mq.

Infine, sono stati ottenuti i nuovi spostamenti per l'ora di punta della mattina. Per fare ciò, i valori giornalieri evidenziati in precedenza, sono stati divisi per un apposito coefficiente ora di punta/giorno. Tale coefficiente è stato ottenuto rapportando gli spostamenti giornalieri da dato telefonico relativamente alle zone in cui si inseriscono gli sviluppi urbanistici con gli spostamenti dell'ora di punta mattutina, corrispondente alle 08:00-09:00. Tale coefficiente è stato stimato pari a 12,5. L'incremento complessivo di domanda dovuto agli sviluppi urbanistici è risultato quindi pari a:

- 1,526 **spostamenti/h** durante l'ora di punta AM.

Infine, per la stima della ripartizione modale di questi spostamenti si è utilizzato lo specifico modello descritto in precedenza. In questo modo è stato possibile tenere conto dell'impatto che gli interventi previsti sull'offerta di trasporto avranno sullo share modale, sia nello Scenario di Riferimento che in quello di Progetto.

6. I risultati

Principali risultati

Nel presente capitolo vengono riportati i principali risultati ottenuti dall'analisi trasportistica allo scopo di valutare gli impatti sulla mobilità generati dell'inserimento della nuova linea tramviaria lungo la direttrice Piazza dei Miracoli – Cisanello/CNR, così come descritto nei capitoli precedenti.

Come specificato nel paragrafo a pag.63, il modello sviluppato simula le dinamiche di mobilità per l'intervallo orario più rappresentativo dell'ora di punta mattutina per la definizione dei dati di domanda:

- fascia oraria punta AM (08:00-09:00);

Nell'analisi viene individuata e suddivisa in due componenti, di seguito elencate, la domanda intercettata dal nuovo servizio tramviario:

- la domanda tendenziale (Scenario di Riferimento);
- la domanda in diversione modale.

Per ciò che concerne la *domanda indotta*, si è scelto di effettuare una scelta in favore di sicurezza non considerando, in mancanza di evidenze certe sulla sua dinamica, questa quota, che certamente sarà indotta a spostarsi una volta che sia reso disponibile il nuovo servizio di Trasporto Pubblico.

Nei paragrafi seguenti vengono riportati i principali indicatori trasportistici, riferiti all'intera area di studio, per gli scenari simulati:

- Scenario Attuale (2023);
- Scenario di Riferimento (2030);
- Scenario di Progetto (2030).

Modalità	Indicatore	Scenario Attuale (2023)	Scenario di Riferimento (2030)	Scenario Progetto (2030)
Trasporto privato	Spostamenti/ora	41.411	42.635	40.490
Trasporto pubblico	Spostamenti/ora	9.227	9.512	12.740
Domanda totale	Spostamenti/ora	50.638	52.147	53.230

Tabella 6.1 Shift modale negli scenari simulati - ora di punta AM

Come si evince dalla Tabella 6.1, la realizzazione della nuova linea tramviaria comporta un incremento di utenza di 3.228 spostamenti/h nella fascia di punta AM (pari al + 33.9%), rispetto alla domanda che utilizza il Trasporto Pubblico nello Scenario di Riferimento.

Come si può notare, la matrice del riferimento e quella del progetto si differenziano di un valore totale pari a 1083 spostamenti/h. Questa quota è pari al numero spostamenti che si ipotizza verranno attratti dai parcheggi scambiatori previsti ai capolinea del tram, che quindi andranno ad incidere sia sulla modalità auto che su quella TPL (a differenza dello scenario di riferimento in cui sono effettuati esclusivamente in auto privata) così come illustrato nel paragrafo a pag.78.

Orario grafico del servizio tramviario

La stima della domanda giornaliera sul tram

Nelle tabelle successive, si riportano le stime degli utenti che utilizzeranno la nuova linea tramviaria nello Scenario di Progetto, riportando sia l'ora di punta della mattina che il totale giornaliero e annuale:

Indicatore	Intervallo temporale	Scenario Progetto (2030)
Saliti	ora	4.896
Pax*km	ora	12.344
Pax*h	ora	525
Percorrenza media (km)		2,52
Tempo medio a bordo (min)		6,43

Tabella 6.2 Stima della domanda sulla linea tramviaria e degli indicatori sintetici – ora di punta mattutina

Indicatore	Intervallo temporale	Scenario Progetto (2030)
Saliti (pax)	giorno	44.065
	anno	13.219.479
Pax*km	giorno	111.099
	anno	33.329.867
Pax*h	giorno	4.722
	anno	1.416.717

Figura 6.1 Stima della domanda sulla linea tramviaria e degli indicatori sintetici - totali giornalieri e annuali

Come si evince dalle tabelle sovrastanti, si stima che i passeggeri annui del tram nei suoi due tracciati, **Piazza dei Miracoli – Ospedale Cisanello** e **Piazza dei Miracoli – CNR**, siano circa 13,2 milioni, che corrispondono a circa 44.000 passeggeri nel giorno medio feriale invernale.

Tali passeggeri si stima percorreranno circa 2,5 km a bordo del tram per un tempo medio superiore a 6 minuti.

Di seguito si riportano due flussogrammi di carico; il primo in Figura 6.2, mostra l'intero tracciato del tram, mentre il secondo, in Figura 6.3, pone attenzione sulla sezione di massimo carico.

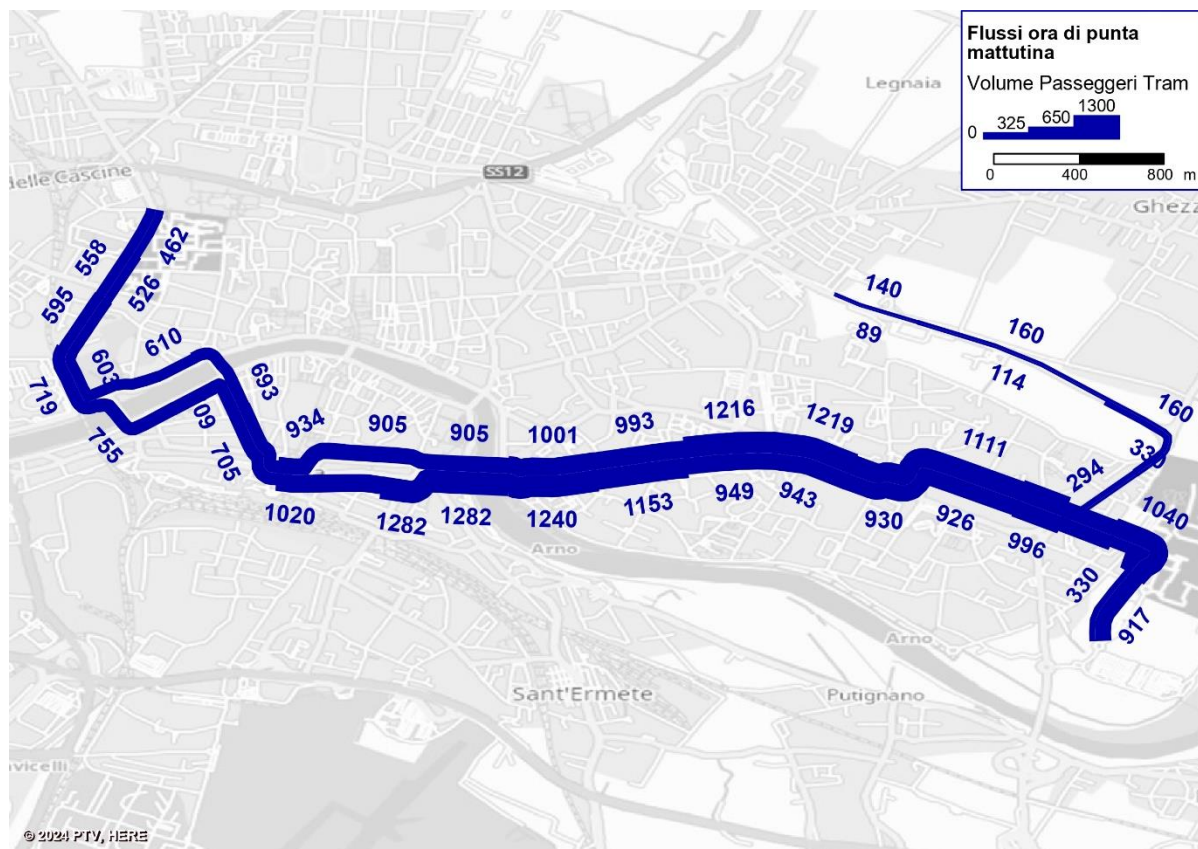


Figura 6.2 Flussogramma linea tramviaria

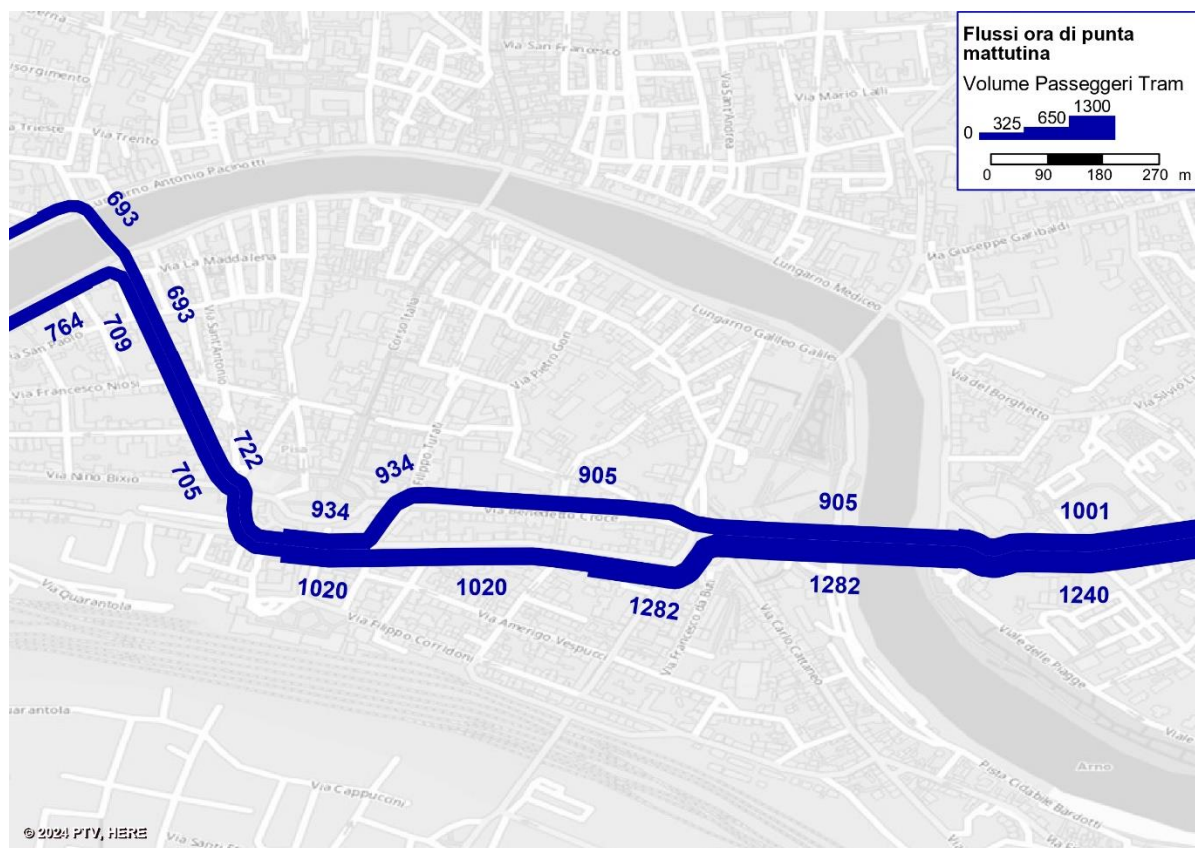
Osservando la figura sovrastante, si nota come la direttrice Piazza dei Miracoli – Ospedale Cisanello risulti essere quella più carica nell’ora di punta della mattina. I due capolinea risultano infatti particolarmente impattanti dal punto di vista dei passeggeri saliti data la presenza dei parcheggi di scambio.

Il capolinea di **Piazza dei Miracoli** si stima avrà circa **560 saliti** mentre quello dell’ospedale **Cisanello** avrà circa **920 saliti**. Il numero di **discesi** si stima pari a circa **460** per **Piazza dei Miracoli**, dato il forte appeal turistico e di **circa 800** per quanto riguarda l’ospedale **Cisanello** (somma delle ultime due fermate), data la presenza anche del polo universitario, e quindi sia degli studenti che del personale sanitario e non.

Si evidenzia un notevole delta di passeggeri saliti/discesi anche in prossimità della stazione di Pisa Centrale e di soli discesi in via Matteucci:

- Nel caso della **stazione di Pisa Centrale** si stima un **incremento** di circa **260 persone a bordo in direzione Cisanello** e di **30 in direzione Piazza dei Miracoli**, questo poiché il tram favorisce un rapido interscambio con la ferrovia e il people mover, garantendo maggiore accessibilità per il territorio comunale sia per chi proviene dal resto del territorio nazionale via ferro sia per chi ha come origine o destinazione l’aeroporto;
- Nel secondo caso, cioè le fermate in *via Matteucci*, si nota una notevole discesa dei passeggeri in entrambe le direzioni di marcia, dovuta alla presenza di uffici e del liceo scientifico-linguistico “*Buonarroti*”, con **passeggeri a bordo che diminuiscono da 1240 a 949 in direzione Est e da 1216 a 1001 in direzione Ovest**.

Nella figura sottostante si riporta invece uno zoom del flussogramma precedente che pone in risalto la sezione di massimo carico, posta tra *via Bonaini* e *Ponte della Vittoria*.



In generale, l'impatto sulla rete del Trasporto Pubblico dell'intervento in esame comporta un incremento di domanda in termini di diversione modale verso il trasporto pubblico, tanto più marcata **nell'area di studio, così come illustrato in Tabella 6.3.**

- una diminuzione del numero di trasbordi effettuati;
- un incremento della velocità media di viaggio;
- un decremento del tempo medio a bordo;
- un decremento della distanza media di viaggio.

113

Di seguito si riportano gli indicatori utilizzati per analizzare l'impatto che la nuova tramvia ha sul sistema di trasporto pubblico. **Gli indicatori presenti in tabella sono riferiti alla sola area di studio.**

Indicatore	Scenario Attuale (2023)	Scenario di Riferimento (2030)	Scenario Progetto (2030)	Δ Prog – Rif (#)
Domanda (pax/h)	4.298	4.652	6.988	+2.336
Numero trasbordi	1,44	1,43	1,35	-0,08
V media (km/h)	21,15	21,04	22,35	+1,31
T medio (min)	17,24	16,66	12,19	-4,47
D media (km)	6,08	5,84	4,54	-1,30

Tabella 6.3 Indicatori sintetici di rete del Trasporto Pubblico - ora di punta mattutina

Impatto sulla mobilità privata

Il nuovo sistema tramviario avrà un impatto significativo anche sul trasporto privato e, per tale motivo, in aggiunta alle analisi sul sistema di Trasporto pubblico e in particolare sulla linea tramviaria, illustrate al paragrafo precedente, sono state confrontate le prestazioni della rete stradale negli scenari simulati, con l'ausilio di alcuni indicatori trasportistici.

Nello specifico, per la valutazione degli effetti apportati dall'intervento oggetto dello studio sul sistema di Trasporto privato sono state utilizzate **le seguenti grandezze relative alla sola area di studio:**

- Domanda totale (spostamenti), espressa in passeggeri e considerando auto e veicoli commerciali;
- Percorrenze totali sulla rete (Veic*km), ossia distanza complessiva percorsa dall'utenza;
- Monte ore (Veic*ora), ossia tempo totale speso sulla rete;
- Velocità media (Km/h), ottenuta dal rapporto tra i due indicatori precedenti;
- Lunghezza media (Km), ottenuta dal rapporto tra le percorrenze complessive e la domanda veicolare assegnata;
- Tempo medio (min), ottenuta dal rapporto tra il monte ore speso sulla rete stradale e la domanda veicolare assegnata;
- Km di rete in congestione, ossia con rapporto flusso/capacità maggiore del 90%.

Indicatore	Intervallo temporale	Scenario Attuale (2023)	Scenario di Riferimento (2030)	Scenario Progetto (2030)	Δ Prog – Rif (#)
Domanda (spostamenti)	ora	21.997	23.408	20.502	-2.906
Percorrenze (veic*km)	ora	124.163	128.611	120.949	-7.662
Monte ore (veic*h)	ora	3.266	3.433	3.118	-315
V media (km/h)		38,0	37,5	38,8	+1,3
D media (km)		5,6	5,5	5,9	+0,4

Indicatore	Intervallo temporale	Scenario Attuale (2023)	Scenario di Riferimento (2030)	Scenario Progetto (2030)	Δ Prog – Rif (#)
T medio (min)		8,9	8,8	9,1	+0,3
Km rete in congestione (V/C > 0,9)		11,4	11,6	11,2	-0,4

Tabella 6.4 Indicatori sintetici di rete del Trasporto Privato – ora di punta mattutina

Indicatore	Intervallo temporale	Scenario Attuale (2023)	Scenario di Riferimento (2030)	Scenario Progetto (2030)	Δ Prog – Rif (#)
Domanda (spostamenti)	giorno	307.963	327.718	287.025	-40.693
Percorrenze (veic*km)	giorno	1.738.288	1.800.547	1.693.280	-107.267
Monte ore (veic*h)	giorno	45.719	48.055	43.652	-4.403

Tabella 6.5 Indicatori sintetici di rete del Trasporto Privato – totale giornaliero

Indicatore	Intervallo temporale	Scenario Attuale (2023)	Scenario di Riferimento (2030)	Scenario Progetto (2030)	Δ Prog – Rif (#)
Domanda (spostamenti)	anno	92.388.996	98.315.406	86.107.491	-12.207.915
Percorrenze (veic*km)	anno	521.486.406	540.164.100	507.983.912	-32.180.188
Monte ore (veic*h)	anno	13.715.730	14.416.500	13.095.488	-1.321.012

Tabella 6.6 Indicatori sintetici di rete del Trasporto Privato – totale annuale

Come si evince dalla Tabella 6.4, lo Scenario di Progetto garantisce una notevole riduzione di spostamenti sul trasporto privato rispetto allo Scenario di Riferimento, pari a 2.906 veicoli nell'ora di punta mattutina (-12,4 %), oltre che di percorrenze e di monte ore (rispettivamente -6 % e -9 %).

Ciò comporta una lieve ma apprezzabile diminuzione dei km di rete in congestione. Allo stesso tempo si nota un incremento della distanza e tempo medio di viaggio con il trasporto privato e soprattutto della velocità media. Questo perché la diminuzione di spostamenti dovuti allo shift modale e alla presenza dei parcheggi scambiatori comporta un alleggerimento dei flussi sulle arterie principali, per cui gli utenti preferiscono allungare i percorsi e transitare su strade con caratteristiche funzionali migliori.

La lettura degli indicatori sintetici di rete relativi al trasporto privato mostra come la configurazione del sistema di mobilità prevista nello Scenario di Progetto consegua l'obiettivo di riduzione del traffico veicolare rispetto allo Scenario di Riferimento, assicurando una riduzione delle percorrenze sviluppate sulla rete (circa 32.200.000 veic*km/anno in meno e circa 1.300.000 veic*h/anno in meno).

Coerenza con gli obiettivi del PUMS

Il progetto della linea tranviaria "Piazza dei Miracoli – Ospedale Cisanello/CNR" risulta pienamente coerente con gli obiettivi strategici del PUMS di Pisa, che identifica il Trasporto Pubblico Locale (TPL) come elemento chiave per la mobilità sostenibile. Il tracciato, basato sulle iniziali indicazioni schematiche della PUMS approvato, è stato perfezionato, in coerenza con la variazione prevista nel primo monitoraggio del PUMS (2024) includendo un'estensione verso Piazza dei Miracoli per intercettare la domanda turistica e una diramazione verso il CNR, area ad alta concentrazione di servizi e previsioni urbanistiche.

L'analisi dei risultati evidenzia un significativo shift modale verso il TPL, con una riduzione del costo generalizzato del trasporto pubblico e un incremento della quota modale del trasporto collettivo, in linea con le previsioni del PUMS. Gli effetti benefici si concretizzano anche in una diminuzione delle percorrenze stradali (circa -32 milioni di veicoli*km/anno) e del tempo di viaggio complessivo, contribuendo al miglioramento della sostenibilità e della qualità della mobilità urbana.

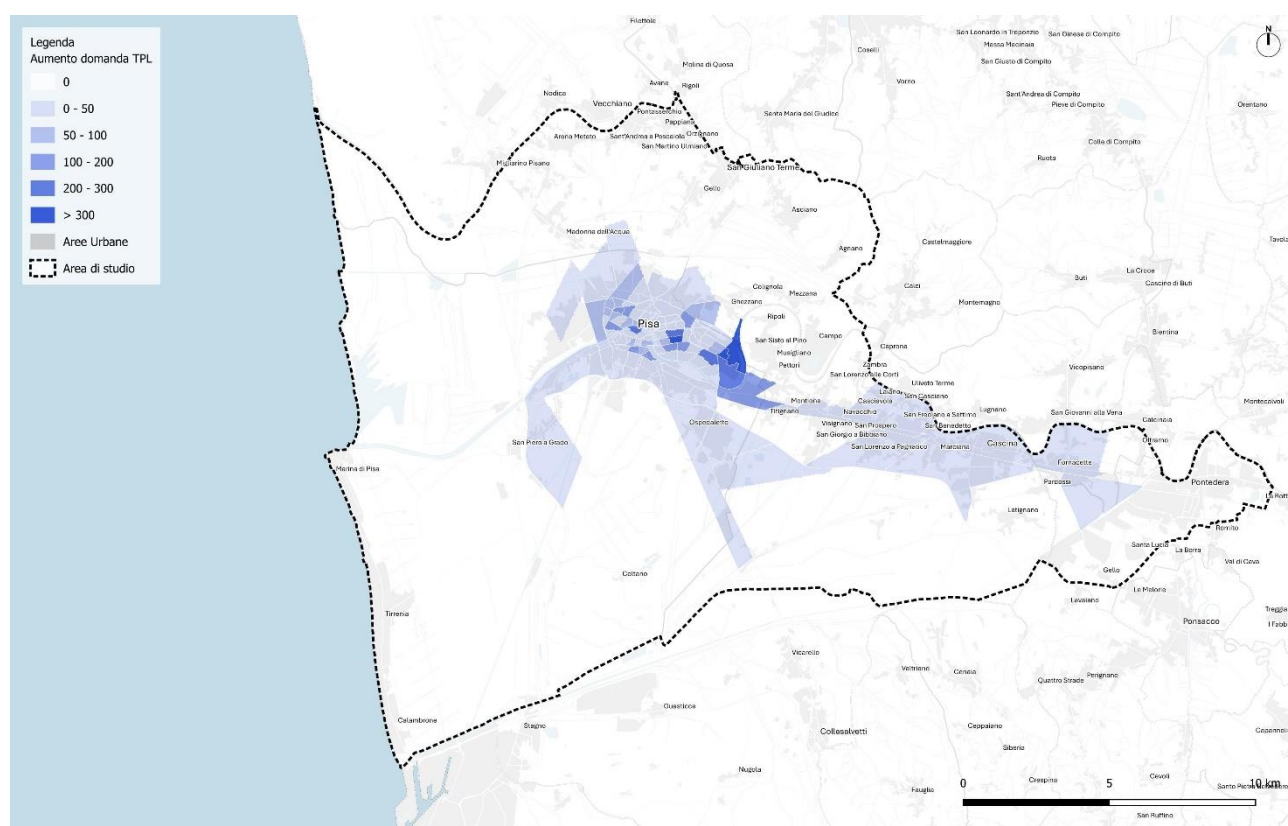


Tabella 6.7 Benefici ottenuti sulle zone di traffico in termini di shift modale
(Aumento domanda su Trasporto Pubblico)

Per approfondire si faccia riferimento al rispettivo elaborato “Relazione di coerenza don il PUMS”.

Flussogrammi di rete

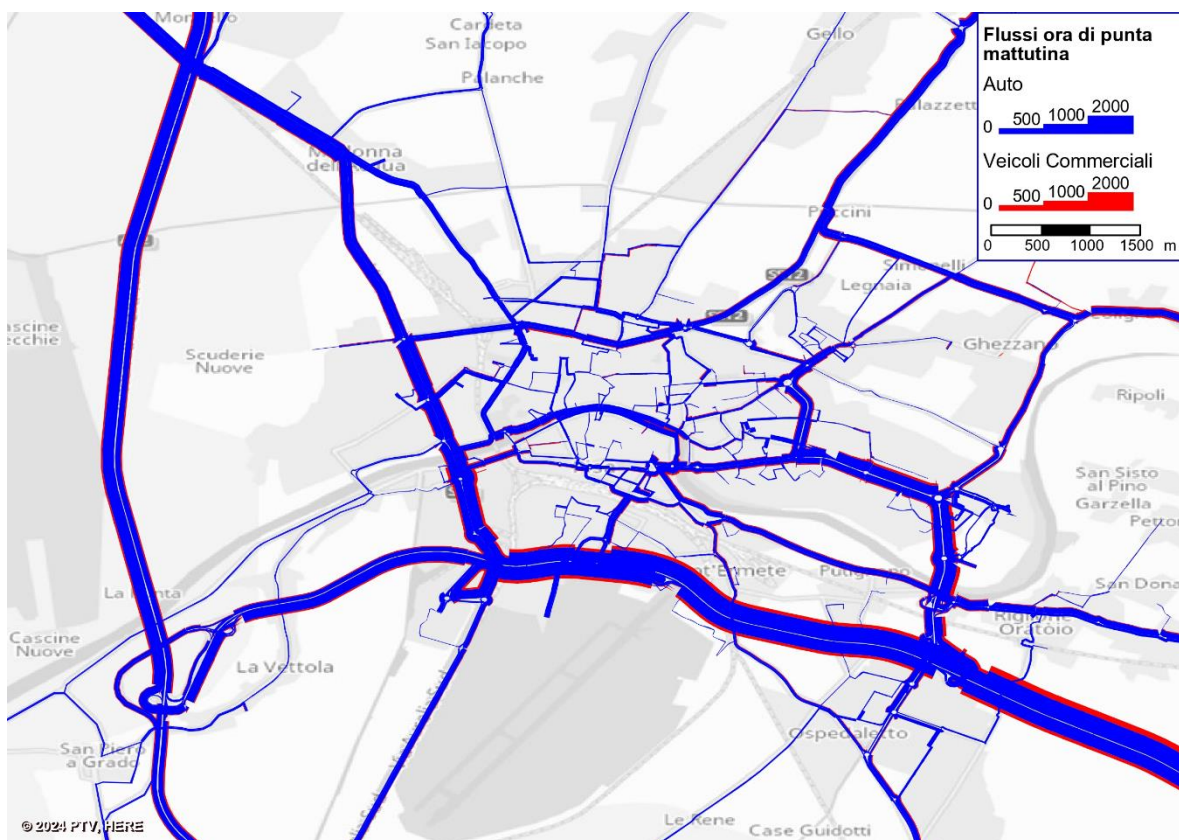


Figura 6.4 Flussogramma rete trasporto privato nello Stato Attuale – ora di punta mattutina

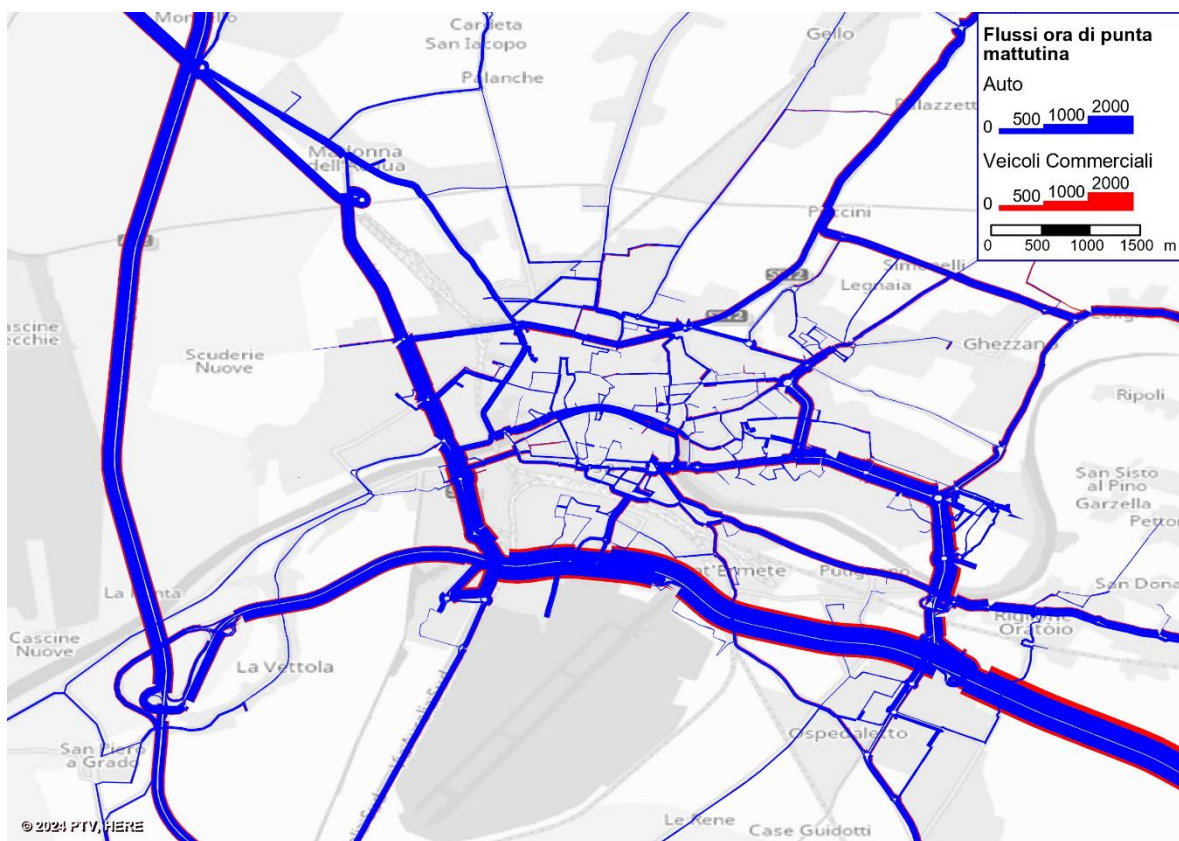


Figura 6.5 Flussogramma rete trasporto privato nello Scenario di Riferimento – ora di punta mattutina

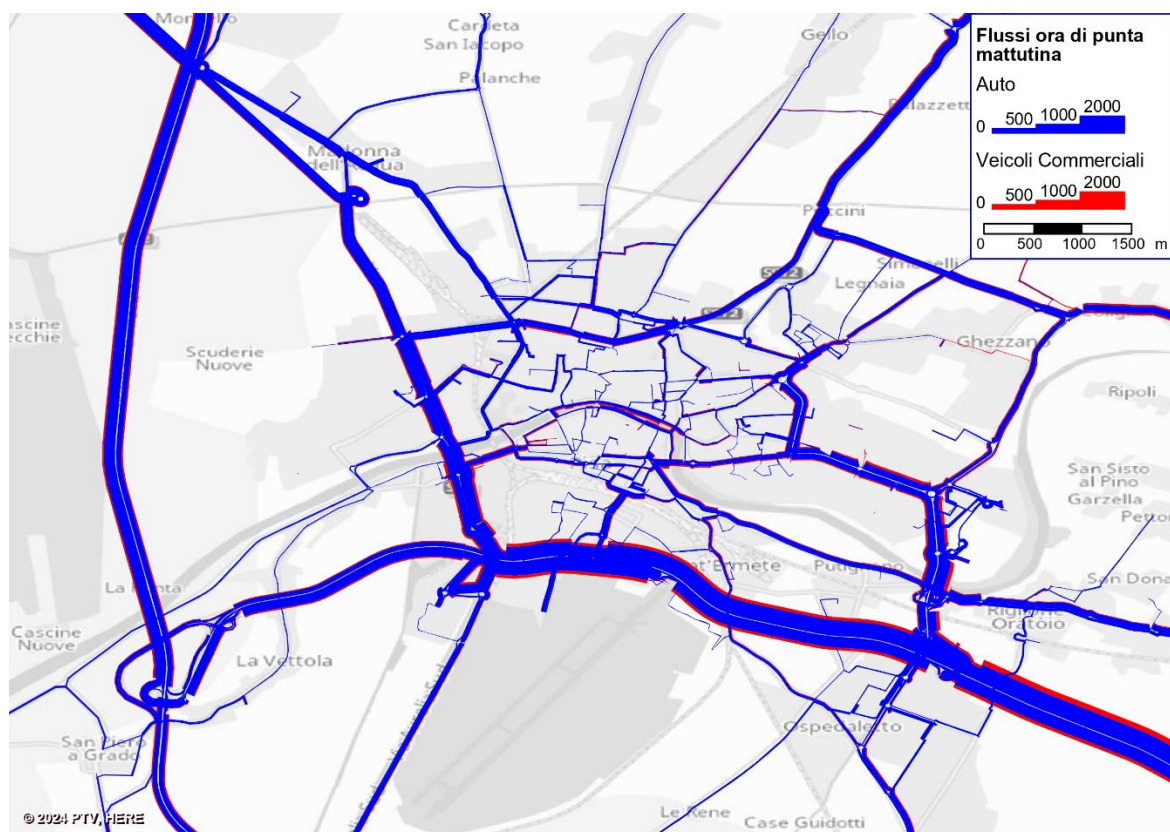


Figura 6.6 Flussogramma rete trasporto privato nello Scenario di Progetto – ora di punta mattutina

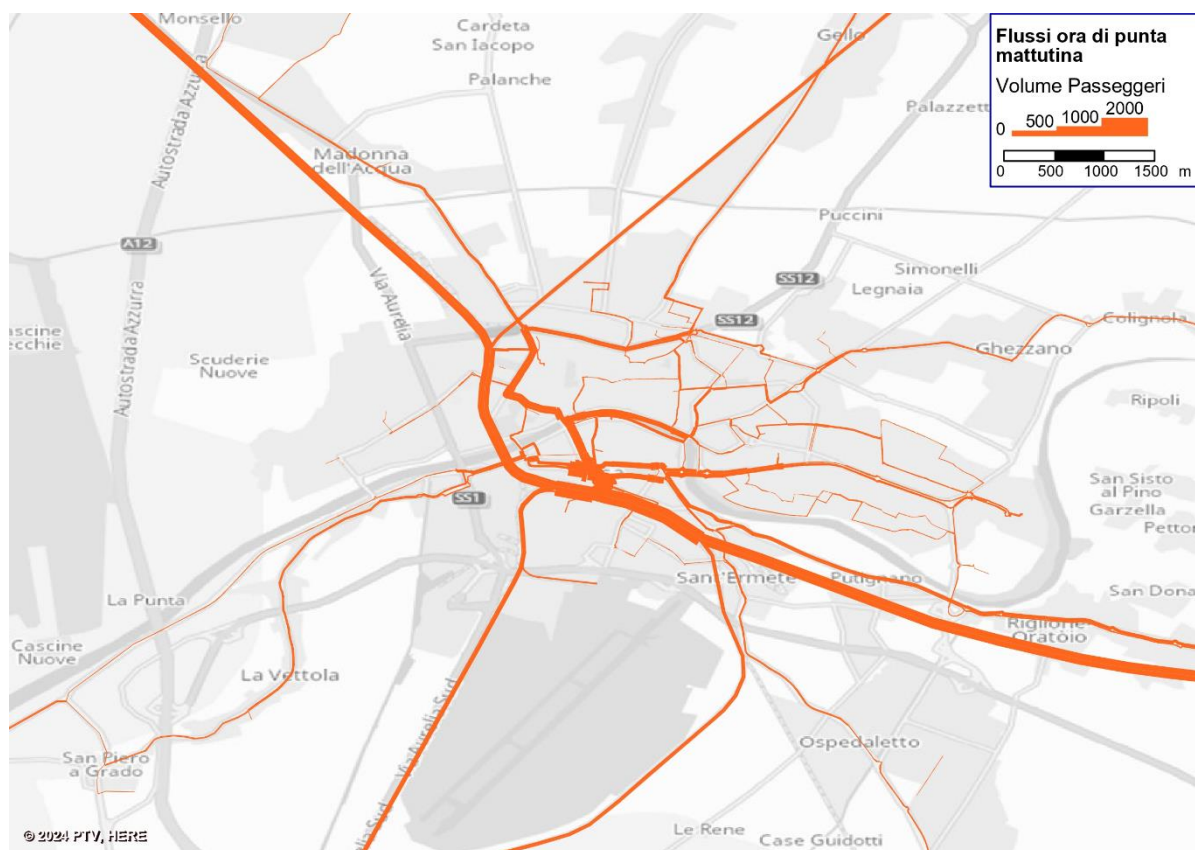


Figura 6.7 Flussogramma rete trasporto pubblico nello Stato Attuale – ora di punta mattutina

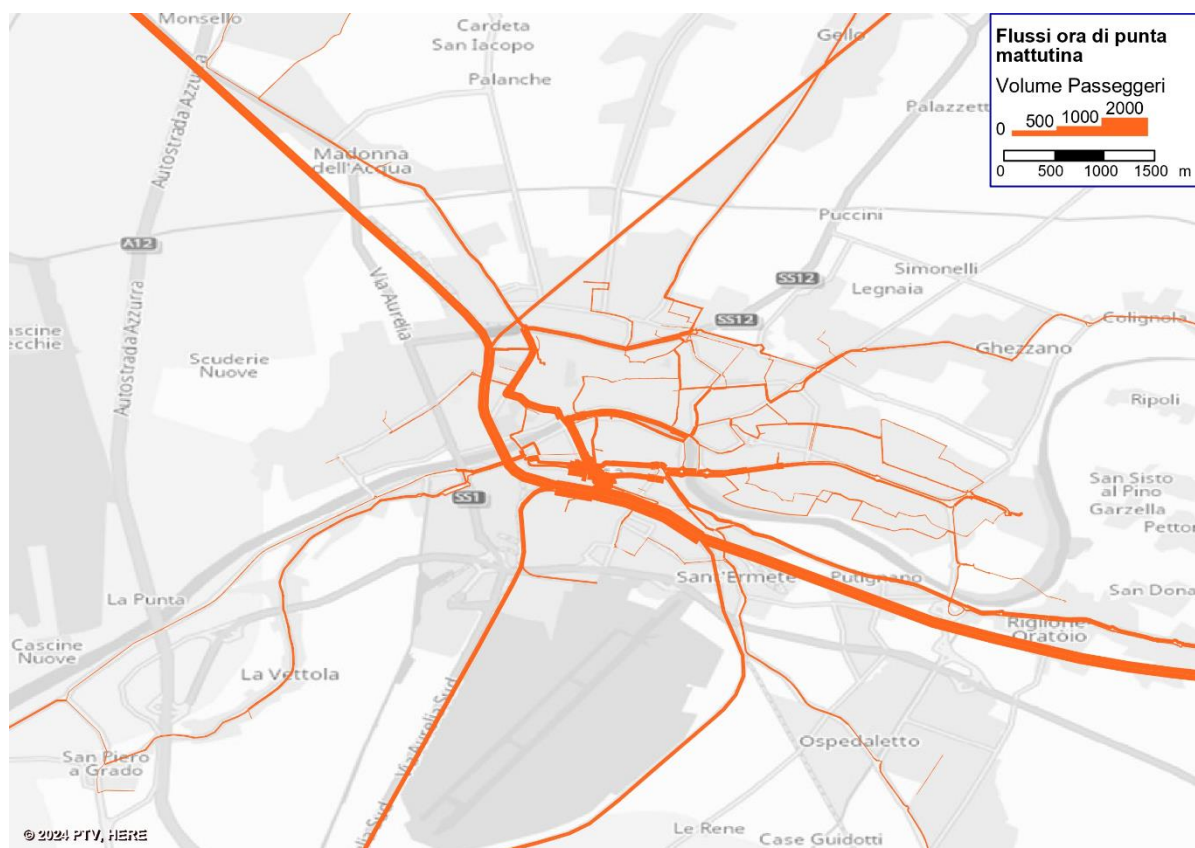


Figura 6.8 Flussogramma rete trasporto pubblico nello Scenario di Riferimento – ora di punta mattutina

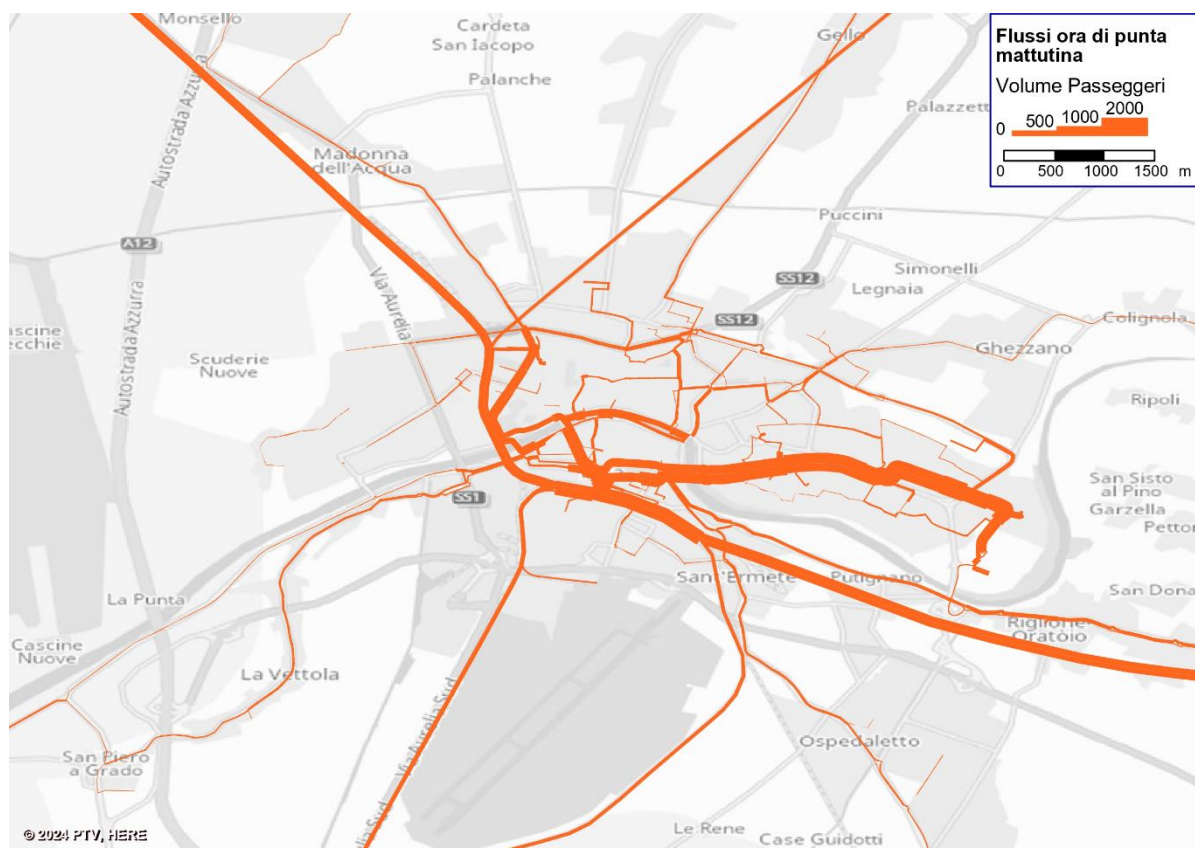


Figura 6.9 Flussogramma rete trasporto pubblico nello Scenario di Progetto – ora di punta mattutina

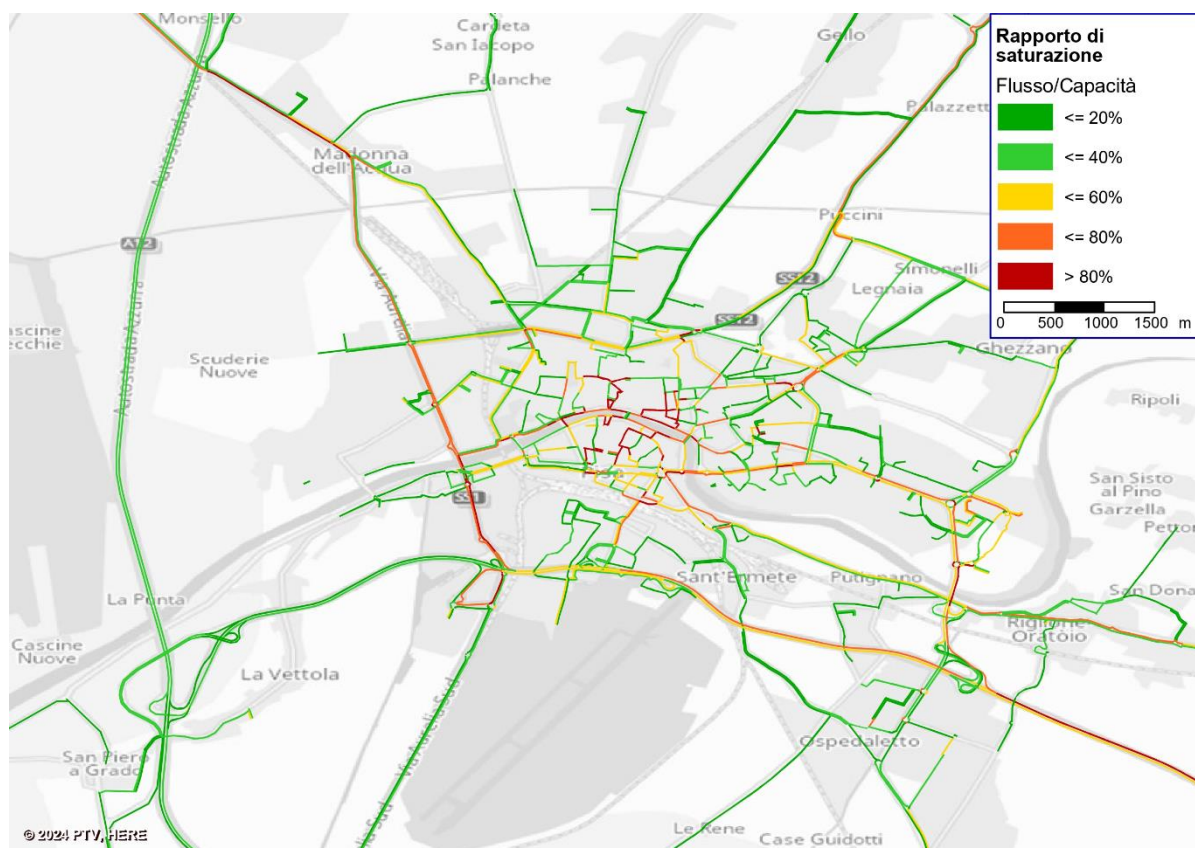


Figura 6.10 Grado di saturazione sulla rete di trasporto privato nello Stato Attuale – ora di punta mattutina

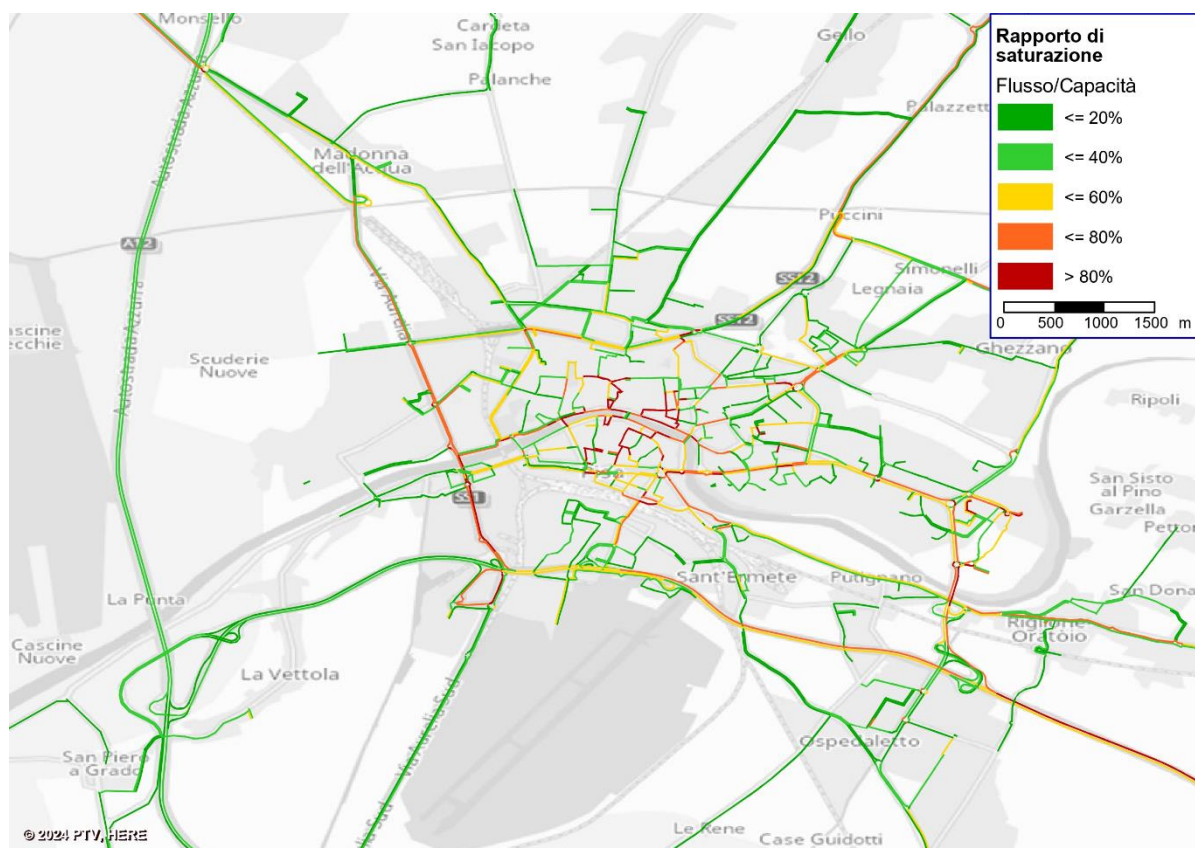


Figura 6.11 Grado di saturazione sulla rete di trasporto privato nello Scenario di Riferimento – ora di punta mattutina

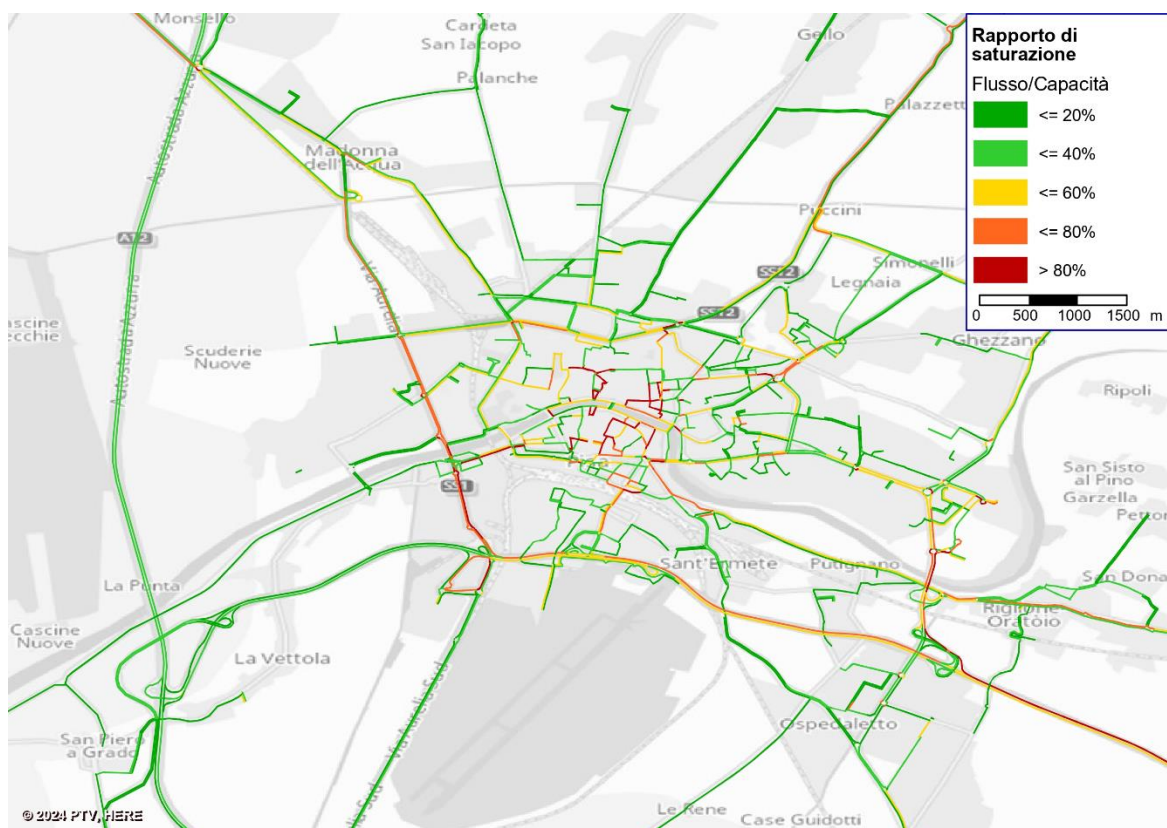


Figura 6.12 Grado di saturazione sulla rete di trasporto privato nello Scenario di Progetto – ora di punta mattutina

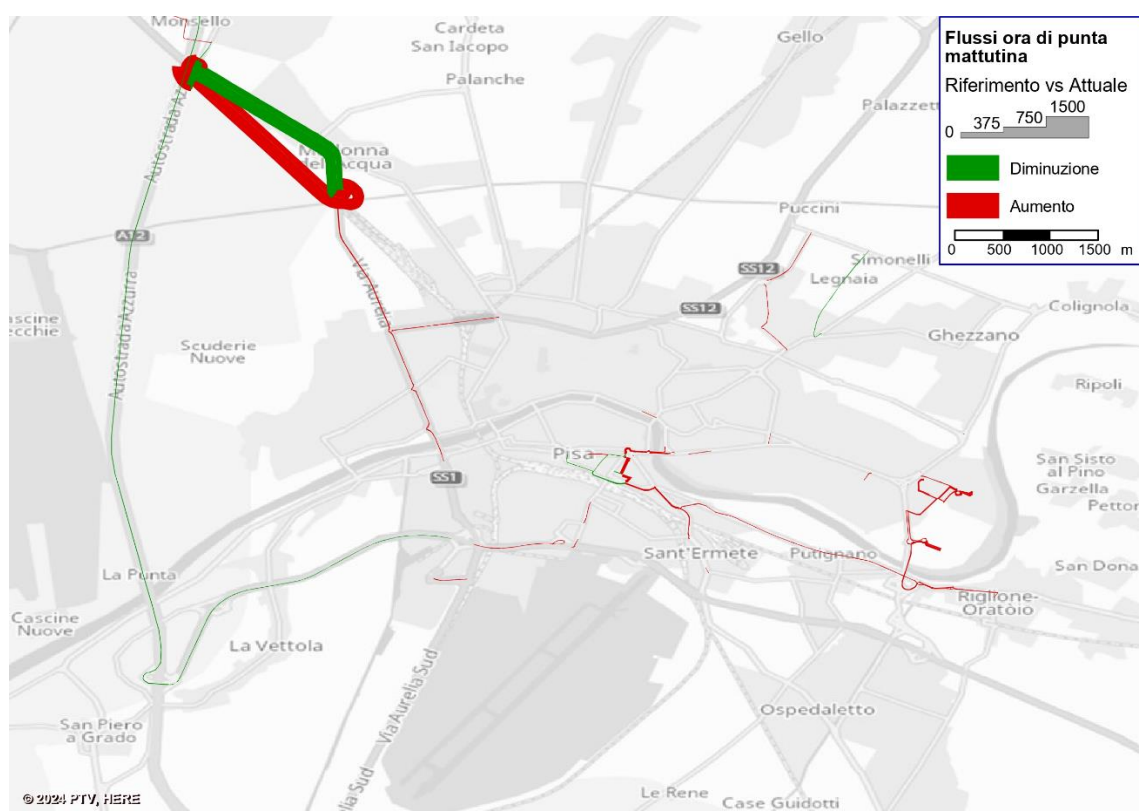


Figura 6.13 Comparare tra flussogrammi del trasporto privato (Riferimento vs Attuale) - ora di punta mattutina

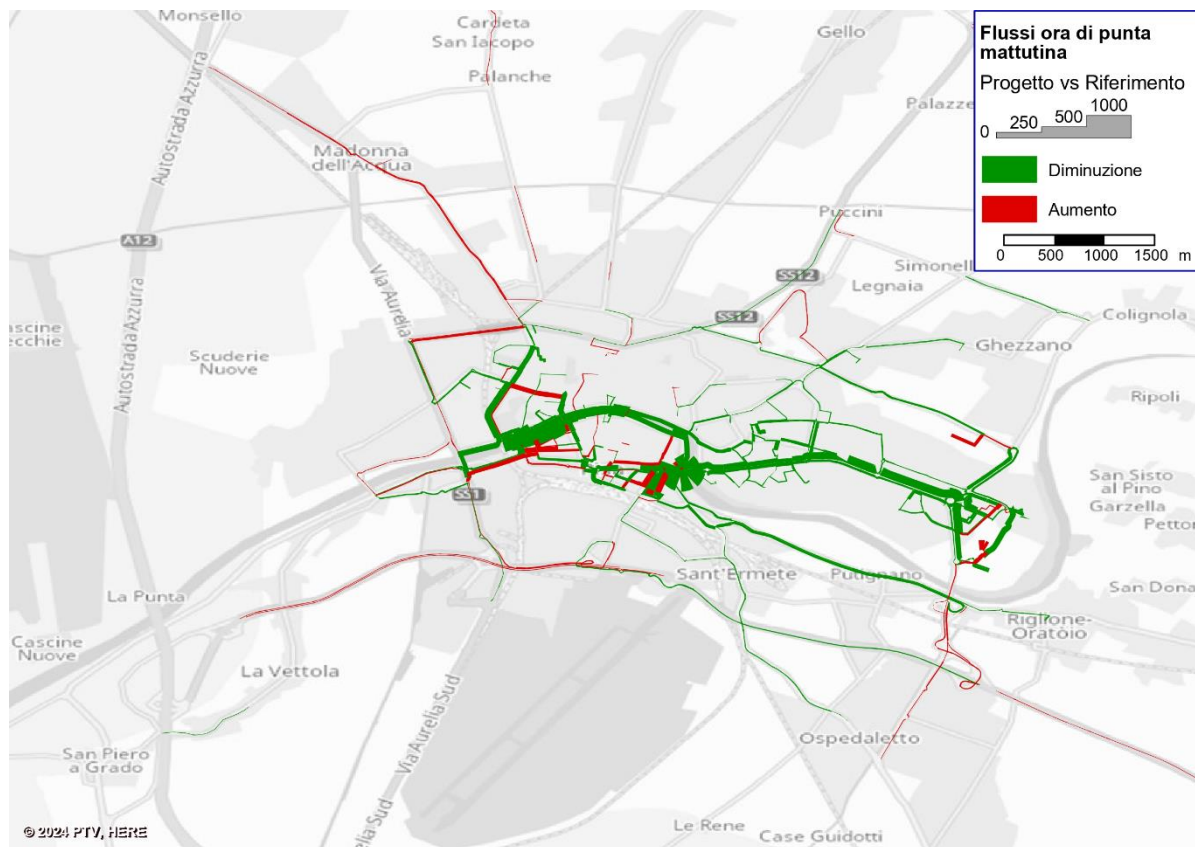


Figura 6.14 Compare tra flussogrammi del trasporto privato (Progetto vs Riferimento) - ora di punta mattutina

Osservando le due figure sovrastanti (Figura 6.13 e Figura 6.14) si nota come nello Scenario di Riferimento rispetto allo Stato Attuale si ottenga un sostanziale decremento dei flussi lungo la *via Aurelia* in prossimità di *Madonna dell'Acqua* dovuto alla realizzazione del primo lotto funzionale della Tangenziale. Nel complesso i flussi andranno ad aumentare fino al centro abitato, questo perché gli utenti avranno due alternative entrambe competitive per raggiungere il centro di Pisa. Sul resto della rete si ha un aumento dei flussi e della congestione dovuti sia ai trend di crescita delle variabili socioeconomiche sia alle nuove urbanizzazioni previste.

Comparando gli scenari di Progetto e quello di Riferimento si nota lo scarico che si verifica sulle arterie principali, in primis via Cisanello, via Fiorentina e i lungarni. Dualmente si ha un aumento sensibile dei flussi in direzione dei parcheggi di scambio "Torre" e "Ospedale".

Infine, nell'area adiacente alla stazione di Pisa Centrale si possono notare delle variazioni nei flussi, sia in aumento che in diminuzione, dovute alle modifiche degli schemi di circolazione necessari per l'inserimento del sedime tramviario.

Saliti e discesi alle fermate del servizio tramviario

Nelle seguenti tabelle e grafici si riportano gli elementi di dettaglio relativi al numero di saliti e discesi ad ogni fermata e il numero di passeggeri a bordo per ciascuna tratta in entrambe le direzioni di marcia.

PIAZZA DEI MIRACOLI-OSPEDALE

Fermata	Saliti	Discesi	Bordo
Manin - Duomo	413	0	-
B. Pisano - Università'	27	25	413
B. Pisano - Risorgimento	69	39	415
B. Pisano - Macelli	112	19	445
Terzanaia - Cittadella	31	8	538
Lungarno Sonnino - San Paolo	18	13	561
Lungarno Sonnino - Solferino	53	84	566
Crispi	51	49	535
Vittorio Emanuele - Stazione Centrale	355	116	537
Francesco Bonanni	291	60	776
Piazza Caduti Di Cefalonia	17	43	1007
Giacomo Matteotti	23	81	981
Giuseppe Malagoli	85	216	923
Carlo Matteucci	1	6	792
Porta A Piagge	43	45	787
Parco Urbano	11	13	785
Italo Bargagna	73	14	783
Martin Lutero	21	220	842
Ospedale Cisanello	46	359	643
Kinzica	0	330	330

Tabella 6.8 Saliti/discesi percorso Piazza dei Miracoli-Ospedale – ora di punta mattutina

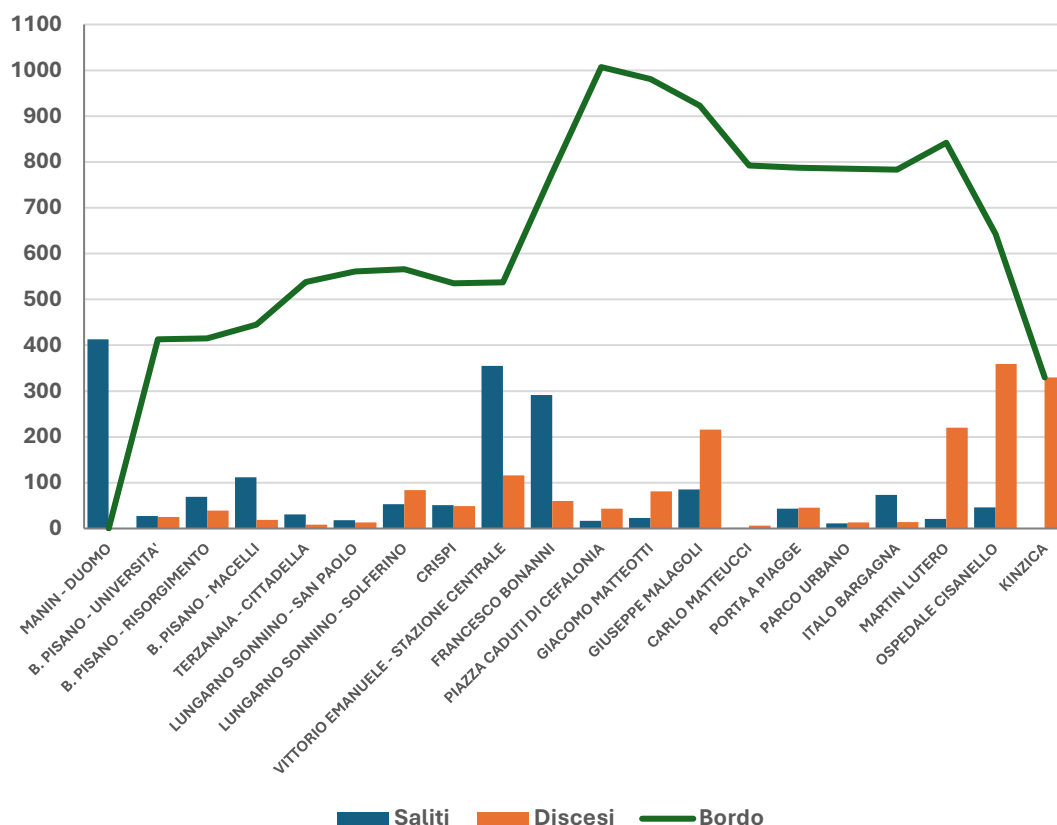


Figura 6.15 Diagramma saliti/discesi percorso Piazza dei Miracoli-Ospedale – ora di punta mattutina

PIAZZA DEI MIRACOLI - CNR

Fermata	Saliti	Discesi	Bordo
Manin - Duomo	145	0	-
B. Pisano - Universita'	11	14	145
B. Pisano - Risorgimento	26	20	142
B. Pisano - Macelli	41	10	148
Terzanaia - Cittadella	16	3	179
Lungarno Sonnino - San Paolo	8	4	192
Lungarno Sonnino - Solferino	19	43	196
Crispi	18	24	172
Vittorio Emanuele - Stazione Centrale	121	44	166
Francesco Bonanni	66	35	243
Piazza Caduti Di Cefalonia	7	23	274
Giacomo Matteotti	8	38	258
Giuseppe Malagoli	31	104	228
Carlo Matteucci	0	2	155
Porta A Piagge	10	20	153
Parco Urbano	4	6	143
Italo Bargagna	57	45	141
Manghi	10	3	153
Giovannini - Parcheggio Scambiatore	0	0	160

Fermata	Saliti	Discesi	Bordo
Giovannini - Centro Polifunzionale	1	21	160
Praticelli	0	140	140

Tabella 6.9 Saliti/discesi percorso Piazza dei Miracoli-CNR – ora di punta mattutina

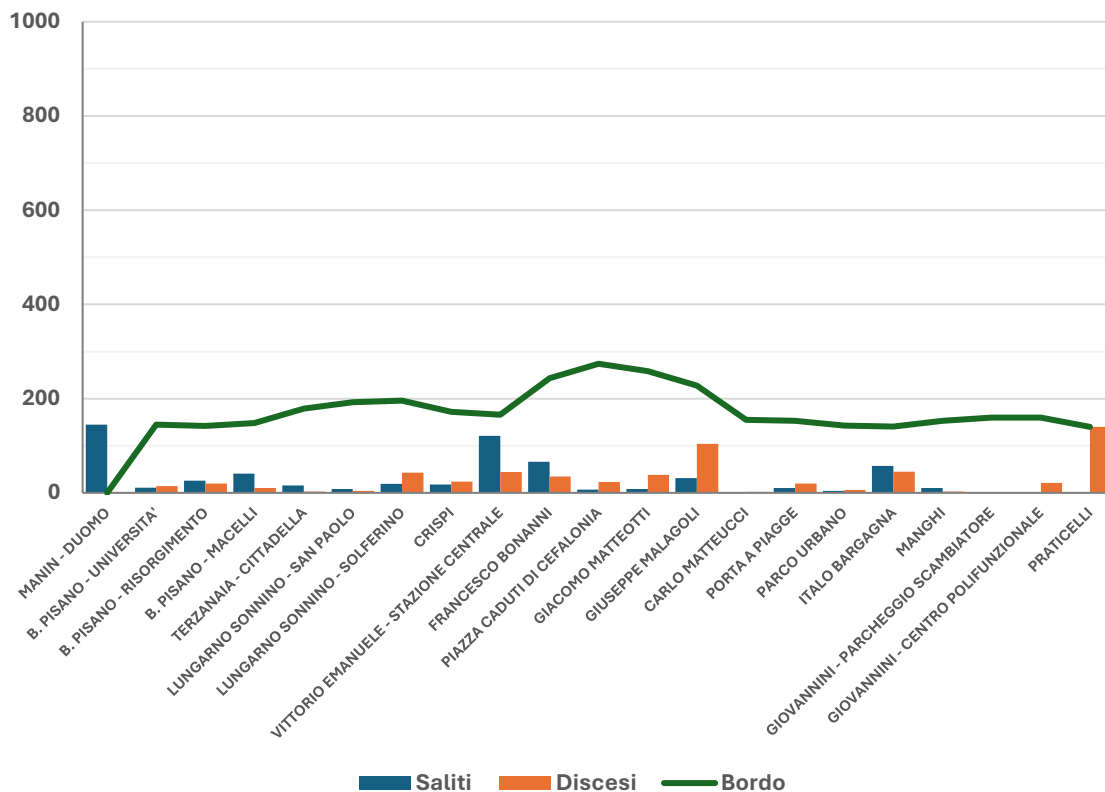


Figura 6.16 Diagramma saliti/discesi percorso Piazza dei Miracoli-CNR – ora di punta mattutina

OSPEDALE - PIAZZA DEI MIRACOLI

Fermata	Saliti	Discesi	Bordo
Kinzica	917	0	-
Ospedale Cisanello	178	56	917
Martin Lutero	145	273	1039
Italo Bargagna	22	55	911
Parco Urbano	25	16	878
Porta A Piagge	105	49	887
Carlo Matteucci	9	15	943
Giuseppe Malagoli	164	413	937
Giacomo Matteotti	34	36	688
Piazza Caduti Di Cefalonia	43	102	686
Benedetto Croce	22	14	627
Vittorio Emanuele - Stazione Centrale	120	276	635
Crispi	22	48	479
Lungarno Simonelli - Solferino	45	114	453
Lungarno Simonelli - Museo Delle Navi	32	16	384

Fermata	Saliti	Discesi	Bordo
Terzanaia - Cittadella	16	29	400
B. Pisano - Macelli	11	28	387
B. Pisano - Risorgimento	25	52	370
B. Pisano - Università	6	44	343
Manin - Duomo	0	305	305

Tabella 6.10 Saliti/discesi percorso Ospedale-Piazza dei Miracoli – ora di punta mattutina

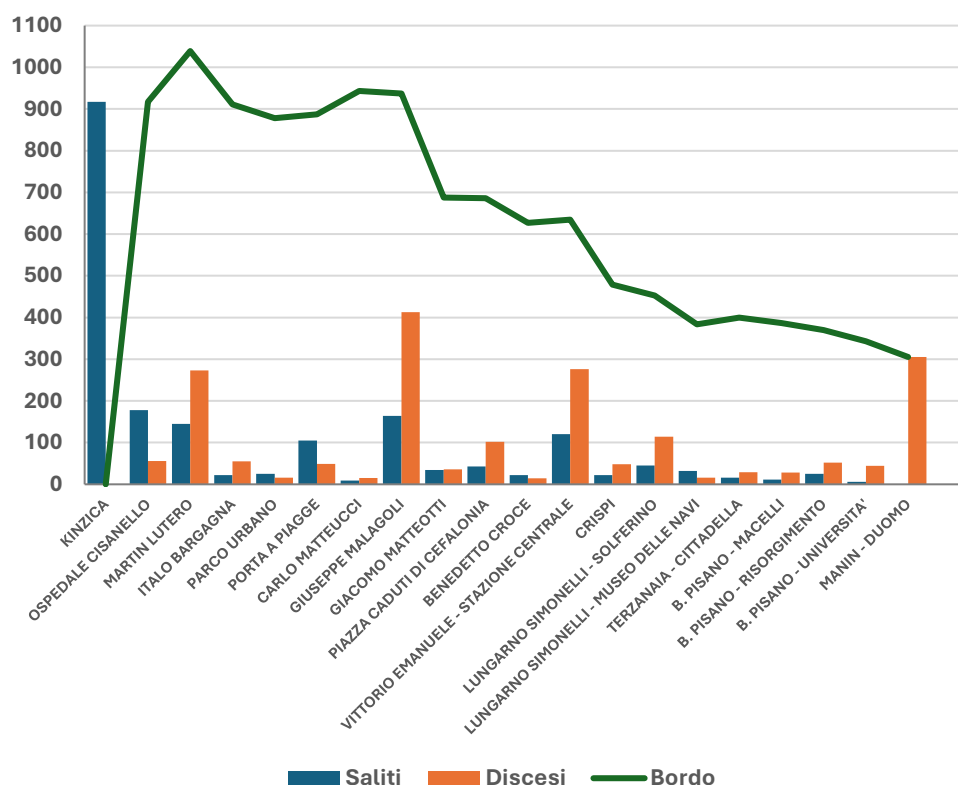


Figura 6.17 Diagramma saliti/discesi percorso Ospedale-Piazza dei Miracoli – ora di punta mattutina

CNR - PIAZZA DEI MIRACOLI

Fermata	Saliti	Discesi	Bordo
Praticelli	89	0	-
Giovannini - Centro Polifunzionale	26	1	89
Giovannini - Parcheggio Scambiatore	216	0	114
Manghi	4	40	330
Italo Bargagna	31	93	294
Parco Urbano	12	8	232
Porta A Piagge	48	9	236
Carlo Matteucci	3	1	275
Giuseppe Malagoli	76	50	277
Giacomo Matteotti	21	11	303
Piazza Caduti Di Cefalonia	21	57	313
Benedetto Croce	35	13	277

Fermata	Saliti	Discesi	Bordo
Vittorio Emanuele - Stazione Centrale	102	157	299
Crispi	11	14	244
Lungarno Simonelli - Solferino	30	44	241
Lungarno Simonelli - Museo Delle Navi	13	11	227
Terzanaia - Cittadella	4	16	229
B. Pisano - Macelli	7	18	217
B. Pisano - Risorgimento	15	37	206
B. Pisano - Universita'	4	31	184
Manin - Duomo	0	157	157

Tabella 6.11 Saliti/discesi percorso CNR-Piazza dei Miracoli – ora di punta mattutina

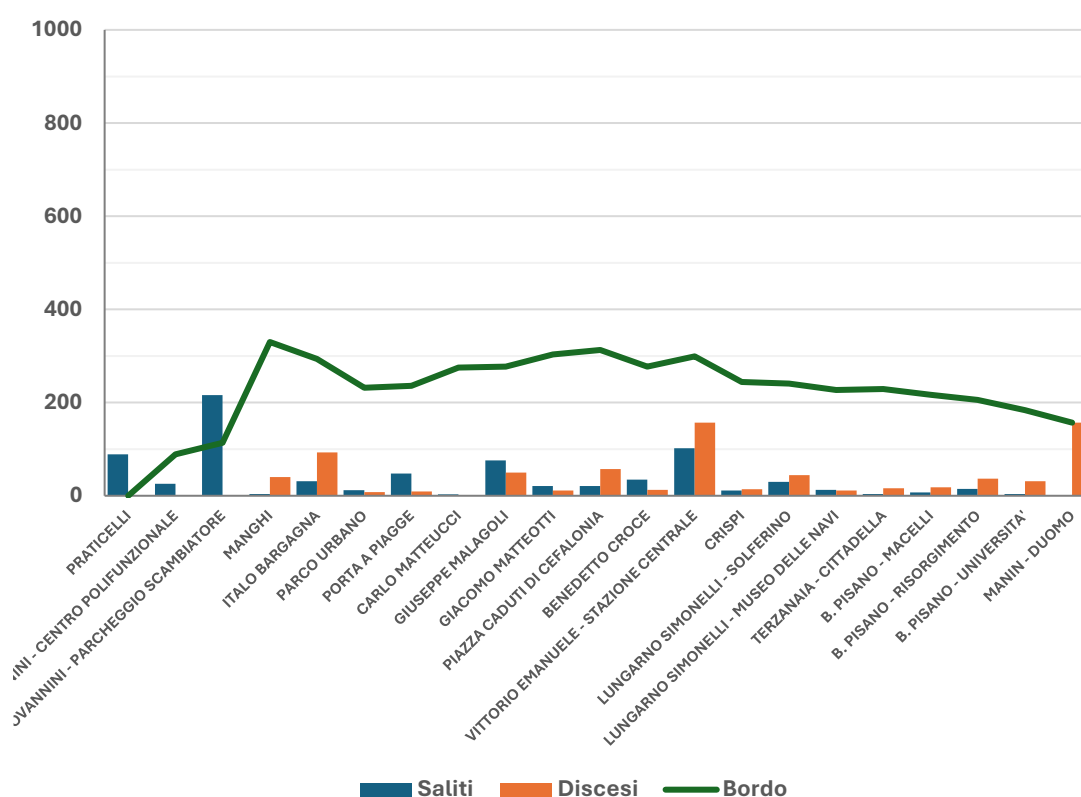


Figura 6.18 Diagramma saliti/discesi percorso CNR-Piazza dei Miracoli – ora di punta mattutina