



Comune di Parma

Settore Mobilità e Trasporti



PUMS

PIANO URBANO DELLA
MOBILITÀ SOSTENIBILE

2025-2035

COMUNE DI

PARMA

Marzo 2026

**DOCUMENTO DI PIANO
(PUMS)
ALLEGATO 3**



TRT Trasporti e Territorio Srl



Seconda di copertina

Cliente	Comune di Parma
Riferimento contratto	Determina Dirigenziale n. 3202 del 19/12/2022
Nome progetto	Piano Urbano della Mobilità Sostenibile di Parma
Nome file	PUMS-Parma_Documento-di-Piano-ALLEGATO3
Versione	V1
Data	09/03/2025

Classificazione del documento							
Bozza	☐	Finale	☒	Riservato	☐	Pubblico	☒

Autori	Andrea Lai, Ivan Uccelli
Approvazione finale	Patrizia Malgieri
Diffusione	Committente

Contatti

TRT Trasporti e Territorio Via Rutilia 10/8 Milano - Italia Tel: +39 02 57410380 E-mail: info@trt.it Web: www.trt.it
--

Descrizione del modello multimodale di trasporto

Struttura del modello di trasporto

Le valutazioni *ex ante* degli scenari alternativi di piano (SR e SAP) sono state supportate dall'impiego di un modello multimodale dei trasporti, implementato attraverso il software PTV Visum.

Si tratta di un modello di simulazione a quattro stadi che prevede, in successione, la generazione, la distribuzione, la scelta modale e l'assegnazione degli spostamenti alle reti di trasporto. Di seguito si descrivono gli elementi che caratterizzano le fasi principali di modellazione.

Generazione e distribuzione

Le prime due fasi della modellizzazione, 1) generazione e 2) distribuzione degli spostamenti complessivi all'anno base, sono state svolte esogenamente al modello, attraverso la ricostruzione delle matrici origine-destinazione degli spostamenti per i motivi sistematici (lavoro e studio) e per i restanti spostamenti riconducibili alla categoria "altro motivo".

In particolare, si è partiti dalle matrici Origine-Destinazione (O-D) calibrate durante lo sviluppo dello strumento modellistico utilizzato a supporto della redazione del PUMS attualmente vigente. Le matrici O-D stimate sono state ricavate tramite funzioni iterative di correzione presenti nel software utilizzato, trami l'utilizzo dei dati disponibili alle sezioni di conteggio stradale e dati relativi al TPL.

Per la descrizione delle caratteristiche della domanda di mobilità rappresentata nel modello e per la definizione dei dati utilizzati per la correzione e stima delle matrici si rimanda ai paragrafi successivi.

Scelta modale

Il modulo di scelta modale consente di ripartire la domanda di mobilità stimata per ogni coppia O-D e motivo di spostamento tra i diversi modi di trasporto. Le alternative modali simulate all'interno del modello di simulazione sviluppato fanno riferimento alla mobilità privata motorizzata (auto, moto), al trasporto pubblico (autobus, treno e park & ride) e alla mobilità attiva (bici e piedi).

La stima delle quote modali per ciascuna coppia O-D e per ciascun motivo di spostamento viene quindi eseguita attraverso l'utilizzo del modello Logit, secondo cui per ciascun motivo la probabilità che il modo m sia scelto (P_{ijm}) è data dal rapporto tra l'esponenziale della componente deterministica della sua disutilità (U_{ijm}) moltiplicata per il parametro λ e la somma di tali esponenziali estesa a tutte le alternative:

$$P_{ijm} = \frac{e^{\lambda U_{ijm}}}{\sum_k e^{\lambda U_{ijk}}}$$

Dove m indica uno specifico modo di trasporto.

Le funzioni di disutilità (U_{ijm}) sono generalmente formulate come combinazioni lineari di fattori, i quali generalmente sono rappresentati dal tempo di viaggio e dal costo dello spostamento per andare dall'origine i alla destinazione j con il modo m .

La funzione di disutilità per il modo m tra l'origine i e la destinazione j viene espressa come:

$$U_{ijm} \sum_l \beta_l c_{ijml}$$

Dove: c_{ijml} rappresenta una delle voci di costo per andare dall'origine i alla destinazione j con il modo m e β_l i relativi coefficienti.

Solitamente, a questa forma generale si aggiunge un ulteriore termine: la costante modale. Quest'ultima rappresenta in un unico valore vantaggi e svantaggi che sono costanti e specifici per ogni modo di trasporto e perciò indipendenti dalla durata e dalla lunghezza dello spostamento.

Per la descrizione delle alternative modali simulate e la definizione della struttura implementata per il modello di scelta modale si rimanda al paragrafo relativo.

Assegnazione

L'assegnazione e la fase di scelta dei percorsi per ciascuno degli spostamenti modellizzati permettono di calcolare gli indicatori aggregati del traffico, i costi del trasporto per ogni coppia O-D, i flussi di traffico sugli archi della rete di trasporto, etc.

L'assegnazione viene eseguita in funzione dell'impedenza, o disutilità percepita, durante il percorso. Tale impedenza è definita per ogni modo o tipologia di trasporto come funzione di uno o più attributi.

Per i modi privati l'impedenza del percorso è calcolata tenendo conto del tempo di percorrenza e dei costi monetari associati allo spostamento (tariffa). Per i modi pubblici l'impedenza è calcolata tenendo conto del tempo di percorrenza percepito (i tempi di attesa vengono percepiti maggiormente rispetto ai tempi di viaggio) e dei costi tariffari. Per il modo bici si fa riferimento al tempo di percorrenza che viene incrementato in funzione di un parametro di rischio percepito, dipendente dalla promiscuità o meno con il traffico veicolare e dalla tipologia di arco in generale. Per il modo piedi l'impedenza è calcolata in funzione del solo tempo di percorrenza.

L'assegnazione della domanda alla rete di trasporto riguarda solo gli spostamenti tra diverse zone di trasporto e non riguarda eventuali spostamenti interni alle stesse.

Disegno del modello di trasporto di Parma

Zonizzazione

Il modello di trasporto sviluppato per il PUMS di Parma è costituito da un totale 195 zone, suddivise in 175 zone di trasporto in grado di generare e attrarre domanda e 20 zone con la sola funzione di garantire lo scambio multimodale; di queste ultime fanno parte parcheggi scambiatori, i parcheggi in struttura e la zona di interscambio modale relativa alla stazione ferroviaria di Parma.

Si presenta, nelle figure successive, la zonizzazione dell'area di studio, composta:

- dall'area oggetto di piano, corrispondente al comune di Parma e suddivisa in 139 zone di trasporto. La zonizzazione proposta rispecchia quella utilizzata nel precedente modello di trasporto sviluppato nel 2016 durante la redazione del PUMS vigente;
- dall'area esterna, che comprende la provincia di Parma (23 zone di trasporto), la provincia di Reggio Emilia (5 zone di trasporto), le province di Piacenza, Modena, Bologna e Mantova rappresentate ciascuna da 1 zona, la provincia di Cremona con 2 zone di trasporto e una zona comprendente alle province di Lodi e Milano.

Figura 1: Zonizzazione modello – Area di studio

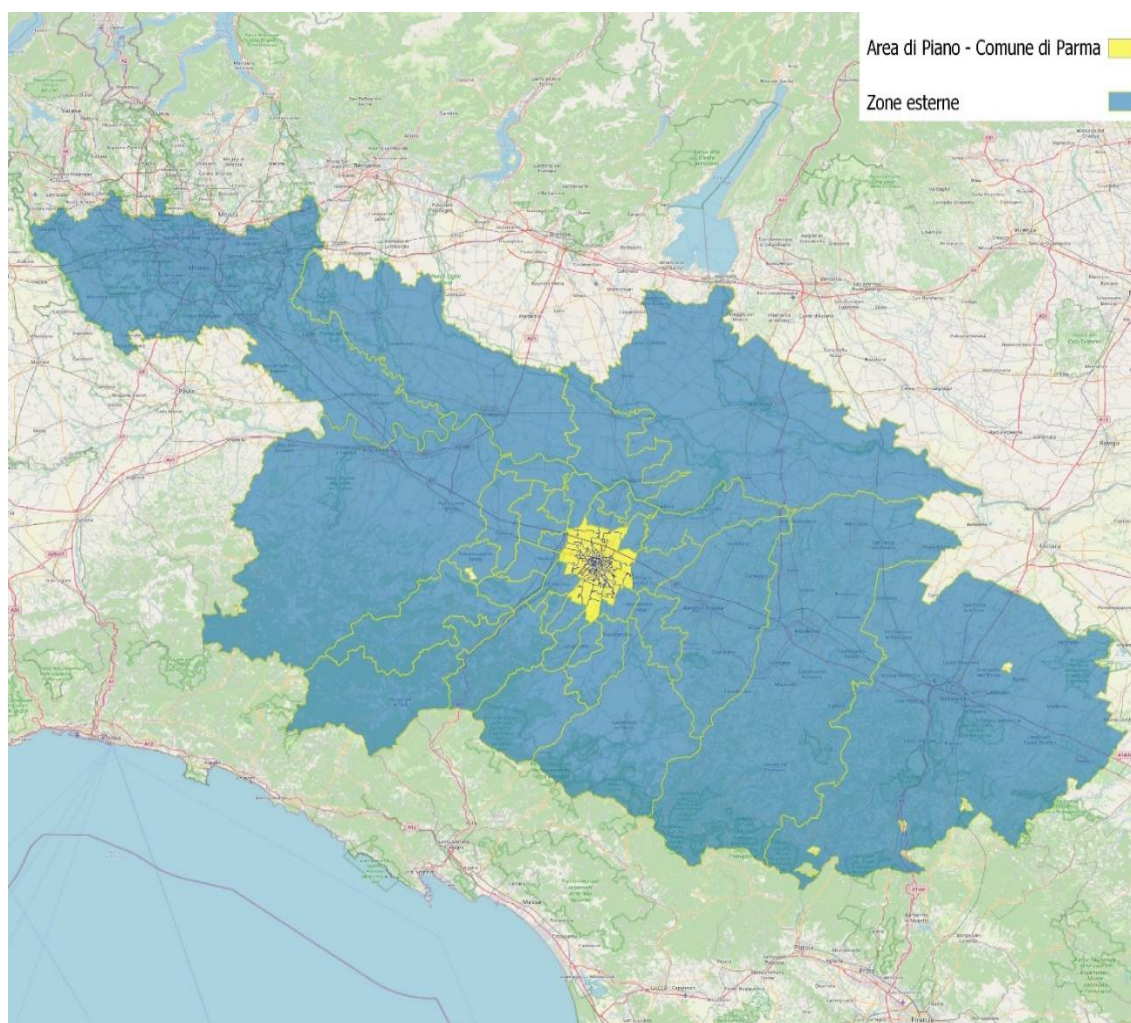
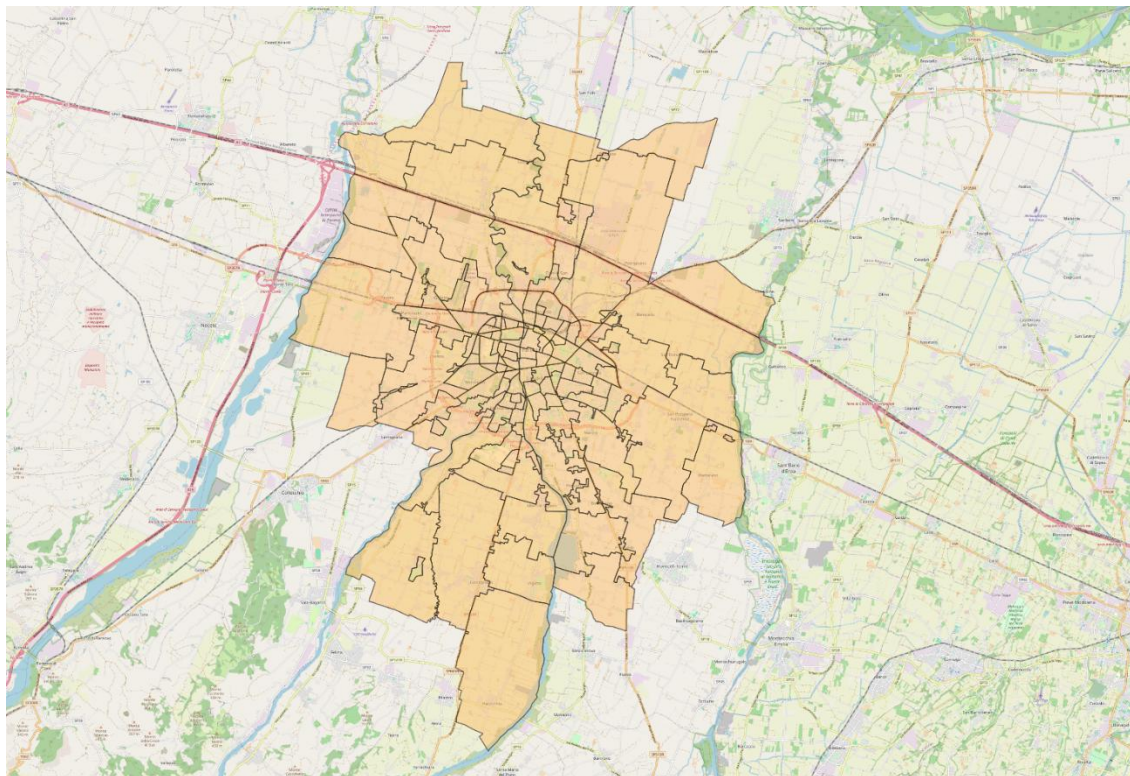


Figura 2: Zonizzazione modello – Area interna al comune di Parma



Grafo multimodale

Il grafo multimodale è costituito dalla rete stradale, dalla rete ferroviaria, dalla rete ciclabile e ciclopedonale, nonché dalle zone pedonali.

La rete stradale (**Figura 3 e Figura 4**) è costituita da:

- Rete autostradale, comprendente l'A1 nel tratto che si estende da Milano a Bologna, l'A15 della Cisa nel tratto che si estende a sud lungo i confini provinciali e l'A21 che congiunge la provincia di Cremona con l'A1;
- Rete extraurbana primaria, comprendente la Tangenziale Nord e la Tangenziale Sud di Parma;
- Rete extraurbana secondaria, comprendente alle principali radiali da e per Parma tra cui la SS 9 (Rimini-Milano), Strada della Cisa tra Parma e Suzzara (SP 62 R) e tra Parma e la Liguria (SS 62), la strada Asolana (SP 343 R) che collega Parma con la Lombardia sud-orientale, la Parma-Mezzani (SP 72), e SP 10 colleganti Parma con la Provincia di Cremona, SP 56, SP 15 e la strada Langhirano (SS 665) che collegano Parma verso l'area meridionale della provincia e SP 16 e la strada provinciale Traversetolo (SP 513 R) che collegano Parma con l'area sud orientale della provincia;
- Rete extraurbana locale, relativamente alla viabilità di prossimità al comune di Parma e comprendente le strade di carattere più locale non comprese nella categoria precedente;
- Rete urbana, interna al territorio comunale di Parma, gerarchizzata secondo le categorie indicate nella figura alla pagina successiva.

Figura 3: Rete stradale modellizzata

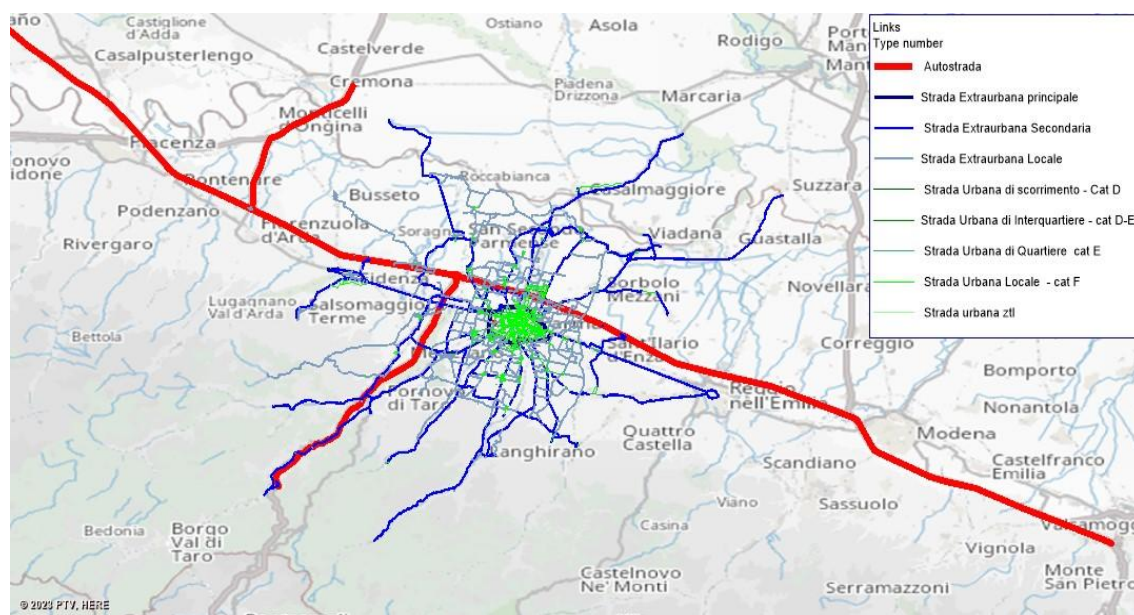
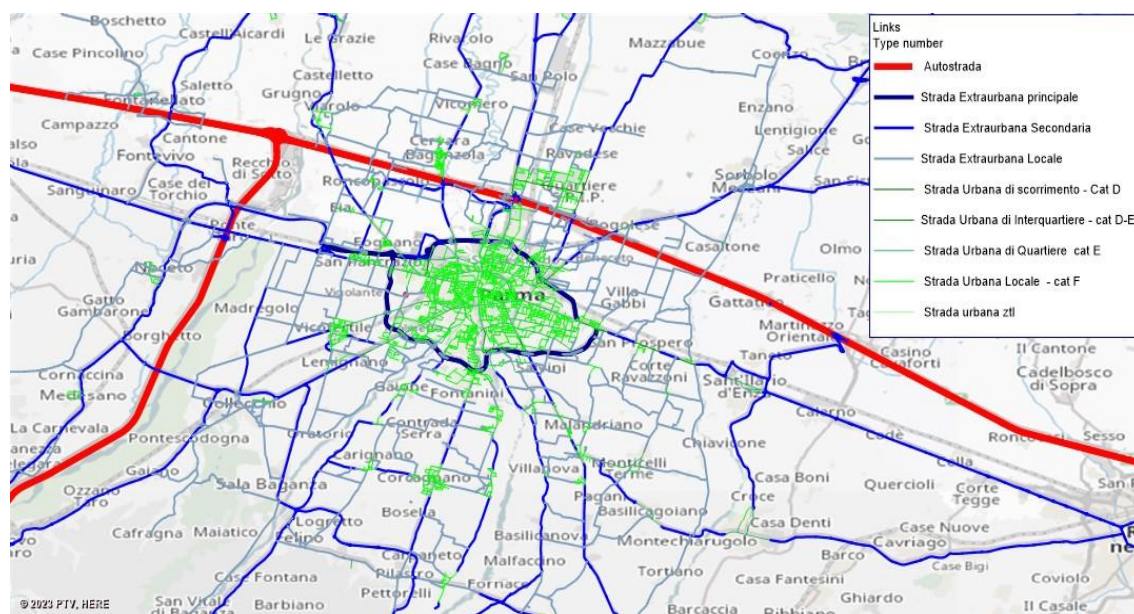


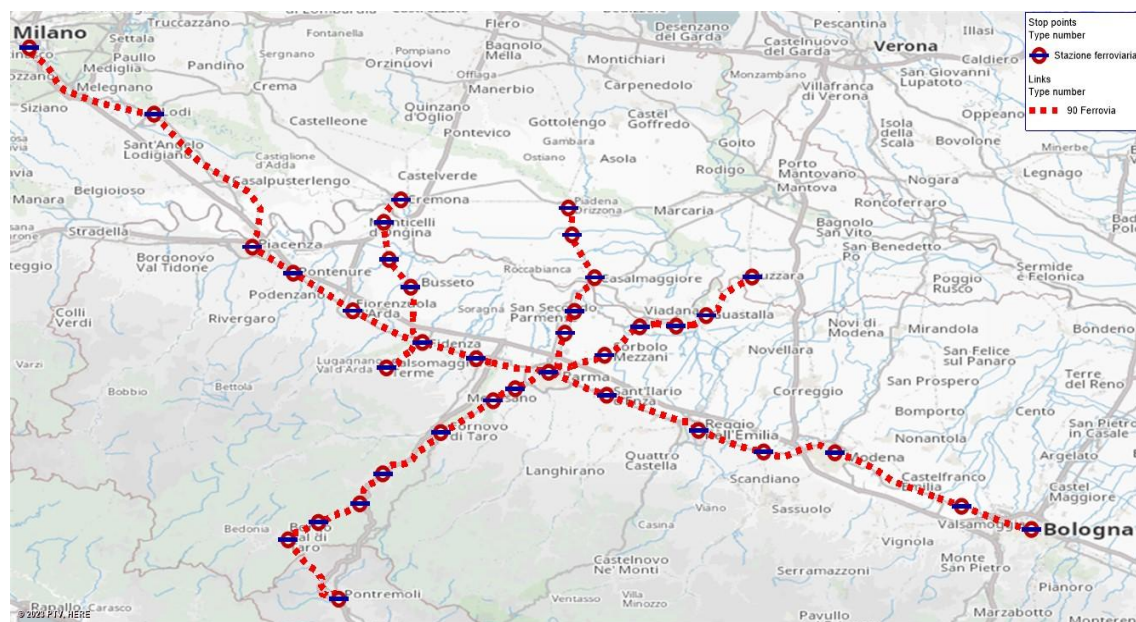
Figura 4: Rete stradale modellizzata – Focus su area comunale



La rete ferroviaria (**Figura 5**) comprende le seguenti tratte:

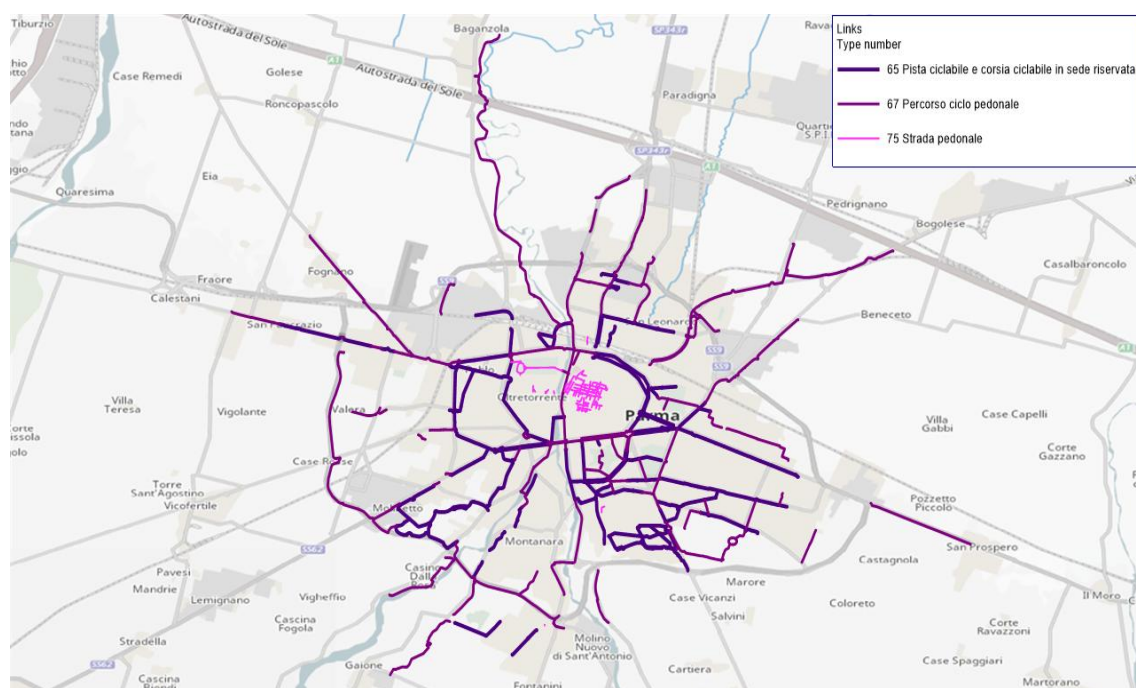
- Ferrovia Milano – Bologna;
- Ferrovia Pontremolese da Pontremoli a Parma;
- Ferrovia Parma – Suzzara;
- Ferrovia Parma – Brescia;
- Ferrovia Cremona – Fidenza;
- Ferrovia Fidenza – Salsomaggiore Terme.

Figura 5: Rete ferroviaria modellizzata



La rete ciclabile e pedonale (Figura 6) comprende le piste ciclabili in sede propria, le corsie ciclabili in sede riservata, i percorsi ciclopeditoni e le strade pedonali.

Figura 6: Rete ciclopeditonale modellizzata



Offerta del trasporto pubblico

L'offerta del trasporto pubblico comprende i servizi ferroviari e i servizi urbani ed extraurbani gestiti dall'azienda di Trasporto Pubblico Locale. Tali servizi sono descritti nel modello in modo da rappresentare il numero delle corse, le frequenze e le tariffe associate.

L'offerta di trasporto ferroviaria modellizzata considera i servizi offerti nella fascia oraria di punta mattutina (dalle 7:30 alle 9:30) e riferiti alle tratte ferroviarie sopra richiamate, comprendendo i servizi AV, i servizi intercity e i servizi regionali veloci e regionali.

I servizi TPL su gomma vengono distinti nel modello tra servizi urbani e servizi extraurbani (**Figura 7** e **Figura 8**). L'offerta di trasporto TPL modellizzata fa riferimento ai servizi erogati lungo gli itinerari delle linee urbane gestite da TEP ed operanti nella fascia mattutina (7:30 alle 9:30). Per quanto attiene i servizi extraurbani sono stati modellizzati tutti quelli gestiti da TEP con O-D che insistono nel comune di Parma, sempre nella fascia mattutina (7:30 alle 9:30).

Figura 7: Linee urbane

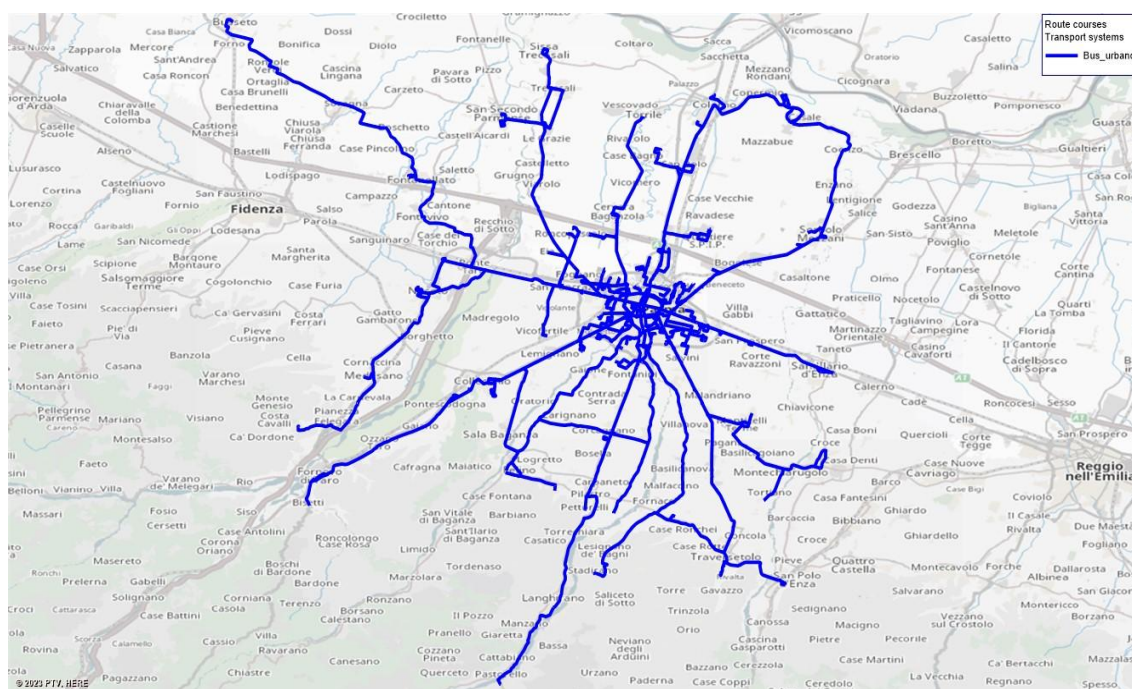
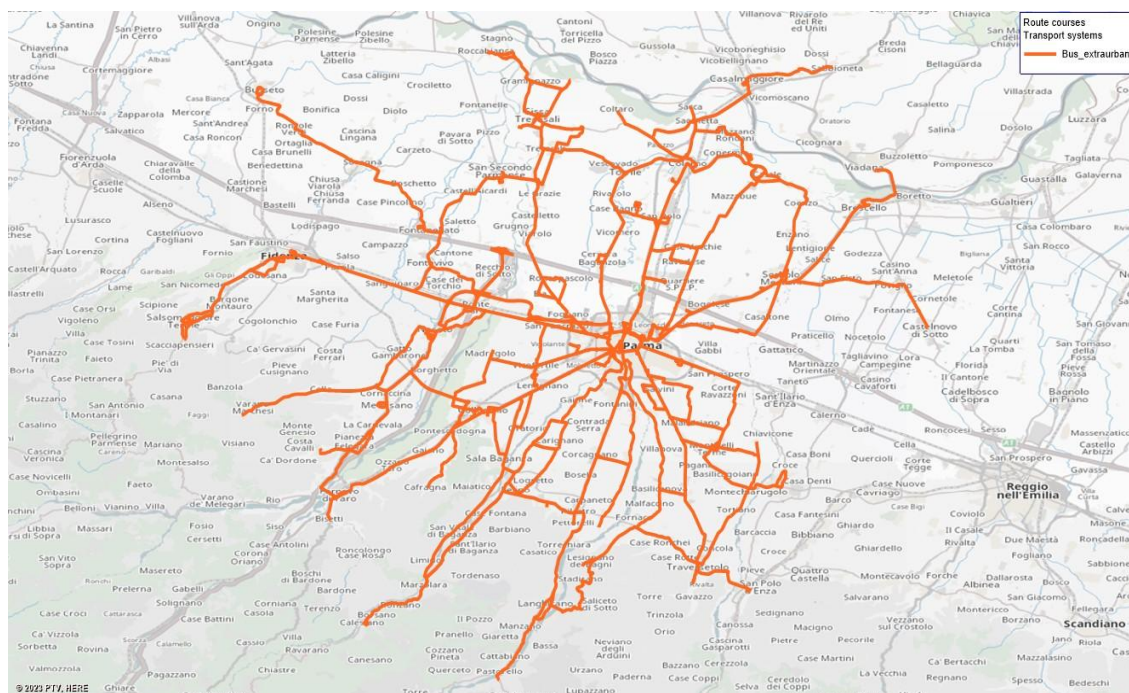


Figura 8: Linee extraurbane



Domanda di mobilità

La domanda di mobilità modellizzata fa riferimento alla fascia oraria del mattino compresa tra le 7:30 e le 9:30 di un giorno feriale medio. Nel modello, la domanda di mobilità è differenziata tra la mobilità dei passeggeri e la mobilità delle merci, che viene rappresentata dalla matrice dei veicoli commerciali leggeri e la matrice dei veicoli commerciali pesanti.

La domanda di mobilità passeggeri rappresentata nel modello è discretizzata per motivo di spostamento e modo utilizzato. Le matrici origine-destinazione di input per la ripartizione modale sono suddivise su 3 motivi di spostamento, corrispondenti al motivo lavoro, studio e un motivo di spostamento definito “altro” che ingloba tutte le motivazioni di spostamento non comprese all’interno di lavoro e studio.

La stima delle matrici è stata effettuata tramite la correzione delle matrici origine-destinazione stimate durante la redazione del PUMS di Parma attualmente vigente. Le matrici iniziali, che facevano riferimento alla fascia mattutina compresa tra le 7:30 e le 9 sono state espanse e modificate, attraverso un processo iterativo, con l’utilizzo e il confronto delle assegnazioni con i dati di traffico e trasporto pubblico più recenti in possesso. Le matrici utilizzate nel modello non contengono la domanda di mobilità interna alla zona di trasporto, ma solo quella di scambio tra le zone. In riferimento alle zone esterne al comune di Parma è stata rappresentata solo la frazione di domanda che esprime uno scambio con il comune di Parma.

Le matrici corrispondenti ai veicoli commerciali leggeri e pesanti sono state stimate attraverso i dati relativi ai conteggi di traffico.

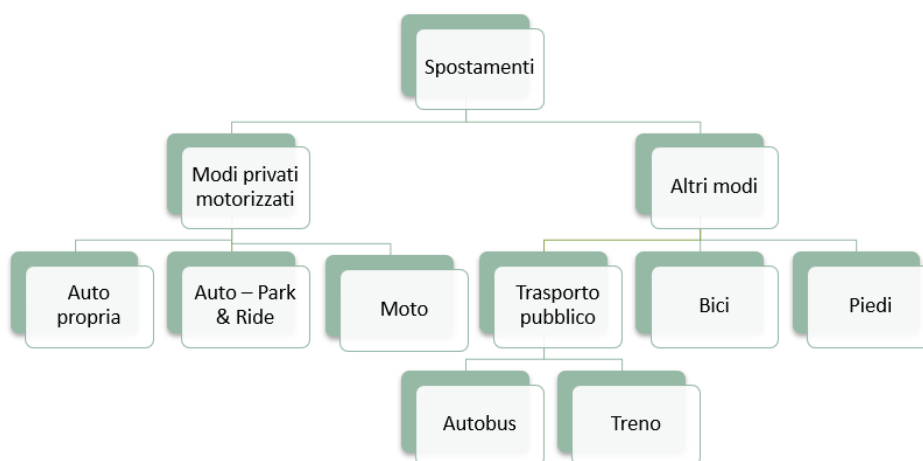
Modello di ripartizione modale degli spostamenti

Il modello per il PUMS di Parma considera i seguenti modi di spostamento:

- Modi privati motorizzati:
 - Auto
 - Moto
- Trasporto pubblico:
 - Treno
 - Bus extraurbano
 - Bus urbano
 - Park&Ride
- Mobilità ciclo-pedonale:
 - Bici e monopattini privati e in condivisione
 - Piedi

Come già anticipato, per riprodurre la ripartizione modale degli spostamenti si è utilizzato un modello logit, e in particolare un modello logit con struttura annidata, dove la distribuzione tra le alternative modale avviene su più livelli. La figura schematizza lo schema gerarchico del modello di scelta modale rappresentato.

Figura 9: Struttura modello di ripartizione modale



Di questi, auto, treno, bus urbano ed extraurbano e Park&Ride comprendono la costruzione di percorsi multimodali di cui coprono il segmento principale. Tali modi principali sono associati a modi subordinati che vanno a costituire una piccola parte dello spostamento principale.

Di seguito si descrivono le componenti delle funzioni di disutilità utilizzate nel modello Visum:

- funzione di disutilità dei modi singoli;
- funzione di disutilità dei modi composti.

Funzioni di disutilità per i modi singoli (spostamenti extrazonali)

Le disutilità per i modi singoli sono costruite attraverso l'utilizzo dei seguenti elementi:

- Costi operativi dello spostamento + (eventuale) pedaggio,
- Costo del parcheggio,
- Tempo dello spostamento,
- Rischio dello spostamento,
- Parametro legato alla distanza degli spostamenti che consente di limitare l'utilizzo improprio di alcune modalità di spostamento su lunghe distanze.

Traducendo in formula, la funzione di disutilità relativa al modo M, per il segmento di domanda s, tra la zona di origine i e la zona di destinazione j è data da:

$${}^sF_{Dis_{ij}}^M = {}^sCost_{ij}^M + {}^sC_{Park_{ij}}^M + {}^sTime_{ij}^M * {}^sVOT + Risk_{ij}^M + DIST_factor_{ij}^M$$

La funzione di disutilità corrisponde dunque al costo generalizzato del trasporto espresso in termini monetari (€). Anche il tempo di spostamento viene monetizzato applicando un VOT, valore del tempo di spostamento (euro/ora), dipendente dal motivo di spostamento (es. più elevato per i viaggi di affari e più basso per gli spostamenti per studio).

Costi operativi

Per costruire i costi dell'auto propria e dei motocicli si tiene conto dei costi operativi al chilometro e dei costi dei pedaggi.

Per il trasporto pubblico i costi sono quelli relativi alla tariffazione (biglietti e abbonamenti), i quali sono stati modellati al fine di essere il più rappresentativi possibile per ogni linea (urbana/extraurbana/ferrovia, ecc.).

Costi di parcheggio

Il costo del parcheggio, stimato solo per il modo auto, viene calcolato nel modello attraverso la seguente formulazione:

$${}^sC_{Park_i} = Prob_park_pagamento_i * Tariffa_oraria_media_i * {}^sTempo_medio_sosta$$

Dove la probabilità di trovare parcheggio a pagamento (prob_park_pagamento) viene stimata per ogni zona con valori compresi tra 0 e 1, tenendo conto della eventuale presenza di parchimetri e relativa densità ed eventuale presenza di aree di sosta gratuita.

La tariffa oraria media viene stimata sovrapponendo alla zonizzazione il *layer* delle zone tariffarie e ricavandone così un costo "medio" per zona.

Per quanto riguarda il tempo medio di sosta, per ogni motivo di spostamento s è stato definito un tempo medio di permanenza in fase di sosta.

Tempi di viaggio

I tempi di viaggio sono calcolati sugli archi stradali attraverso l'applicazione delle funzioni (curve) di deflusso che li fanno variare al variare del grado di congestione dell'arco stesso. Se la congestione cresce allora i tempi di viaggio crescono. A differenza dei modi di trasporto privati (auto, moto, veicoli commerciali), durante la fase di assegnazione, i tempi di viaggio sono fissi per il trasporto pubblico, che fa riferimento ai tempi di percorrenza previsti nella tabella degli orari, e per i modi ciclopeditoni.

Rischio associato allo spostamento per il modo bici-micromobilità

Il rischio è associato al modo bici (in cui si tiene conto anche dello spostamento con monopattino), sia propri che condivisi. Questo fattore di rischio viene costruito nella fase di calcolo delle skim¹, associando un "costo" ad ogni arco in funzione della tipologia dell'arco percorso.

La stima del rischio dello spostamento per questi modi è basata sul parametro di rischio (fattore di impedenza "Imp_cycling_fact") associato al i-esimo link, il quale dipende dal link type (velocità). Il fattore di rischio è calcolato come differenza tra l'impedenza e il tcur ("TTC"), dove l'impedenza è $tcur * Imp_cycling_fact$.

In particolare, questo fattore di impedenza risulta essere pari a 1 (rischio nullo) negli archi ciclabili separati e dedicati e crescente in altre tipologie di archi in funzione delle velocità a flusso libero dei veicoli motorizzati e delle relative caratteristiche funzionali (rischi bassi per strade locali), differenziando inoltre tra strade urbane ed extraurbane.

Disutilità legato alla distanza

Il parametro di distanza serve per rappresentare la disutilità che si ha nell'utilizzare i modi privati per lunghe distanze. Nello specifico riflette il fatto che all'aumentare della distanza da percorrere, alcuni modi perdono di attrattività: ad esempio se uno spostamento prevede di percorrere grandi distanze con transito su autostrade o strade extraurbane è difficile che si scelga la moto, sarà invece privilegiato l'uso dell'automobile.

Questo parametro è legato alla distanza attraverso una funzione esponenziale che, per i vari modi definisce il livello di discomfort, sicurezza, ecc. ed è scelto in fase di calibrazione per ogni modo, dove si avrà un parametro piccolo per le auto e via via crescente per moto, bici e piedi.

Il dist factor è calcolato come $a_M * (Dist_{ij})^{b_M}$, dove Dist è la skim delle distanze e a e b due parametri da calibrare per i modi. Anche il dist_factor è espresso in termini monetari (€).

Disutilità per i modi composti

Per il calcolo delle funzioni di disutilità per i modi multimodali si fa affidamento sulla procedura Visum detta multimodal assignment, che ricostruisce il costo per ciascuna O/D come la somma

¹ Termine con cui nel framework Visum ci si riferisce ad alcuni elementi che compongono la disutilità, come il tempo di percorrenza o il costo dello spostamento tra una zona di origine e una di destinazione.

dei costi dei singoli modi e delle penalizzazioni date dagli interscambi lungo la sequenza (costi aggiuntivi e perditempo). Questa procedura permette di calcolare le matrici skim per tutti i modi che ammettono catene multimodali e si fonda sulla definizione del modo principale (Main mode) e dei modi feeder, ossia i modi che possono essere usati prima o dopo il main mode per completare lo spostamento.

Un esempio è costituito dal treno. Il modo treno può prevedere un modo feeder a monte (es. piedi) per raggiungere la stazione di partenza e un modo feeder a valle per arrivare fino a destinazione (es. il bus urbano).

Calibrazione

Parametri di calibrazione

Alla luce di quanto illustrato ai paragrafi precedenti, per la calibrazione del modello multimodale dei trasporti del PUMS di Parma si è operato sui seguenti parametri:

- Costanti modali;
- Costi e tempi di interscambio;
- Fattore di rischio;
- Fattore di distanza;
- Curve di deflusso
- Parametro di dispersione (λ) utilizzato dal logit per distribuire l'assegnazione degli spostamenti ai diversi modi di trasporto.

Dati di calibrazione

I dati utilizzati per la stima delle matrici e la calibrazione del modello fanno riferimento ai dati ISTAT 2011 e 2019 con riferimento agli spostamenti e alle ripartizioni modali per i motivi sistematici, nonché alle matrici e alla ripartizione modale stimata durante la realizzazione del precedente modello utilizzato per il vigente PUMS di Parma, e infine alle recenti indagini svolte per ottenere dati di traffico e mobilità aggiornati.

Tali indagini fanno riferimento alle seguenti raccolte dati:

- sondaggio rivolto ai residenti e city users (2023, fonte: aggiornamento del PUMS) da cui si è ottenuta l'indicazione sulle ripartizioni modali per motivo di spostamento;
- conteggi di traffico ottenuti dai sistemi di rilevamento comunali (2022, fonte: Comune di Parma);
- conteggi di traffico ottenuti dalle sezioni di monitoraggio regionali (2023, fonte: Regione Emilia-Romagna);
- indagini sulle frequentazioni delle linee autobus urbane (2022, fonte: TEP);
- Dati sulle frequentazioni ferroviarie giornaliere alle stazioni e sulle linee ferroviarie (2019, fonte: Regione Emilia-Romagna).

I conteggi di traffico disponibili, come detto, fanno riferimento ai dati delle sezioni di monitoraggio regionale e comunale. Le sezioni regionali, in particolare, hanno consentito di ottenere un dato di traffico giornaliero medio dell'ora di punta del mattino segmentato tra le seguenti categorie:

- Auto;
- Veicoli commerciali leggeri;
- Veicoli commerciali leggeri.

I dati di traffico utilizzati fanno riferimento al 2023 ed eventualmente al 2022 (nel caso in cui il dato del 2023 non fosse presente).

I dati provenienti dalle sezioni comunali fanno riferimento, invece, ai conteggi veicolari relativi all'ultimo anno con dati completi (anno 2022).

Figura 10: Sezioni di rilievo utilizzate per la calibrazione del modello di trasporto

