



IL FUTURO DELLA MOBILITÀ INTELLIGENTE E SOSTENIBILE

Digital Twin & Intelligenza Artificiale.
Innovazione tecnologica “As a Service“
per la gestione operativa
e la pianificazione tattico-strategica
della mobilità urbana sostenibile e interconnessa

Firenze | Milano | Roma | Bari



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italidomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA

MOST
CENTRO NAZIONALE PER LA MOBILITÀ SOSTENIBILE



IL FUTURO DELLA MOBILITÀ
INTELLIGENTE E SOSTENIBILE

MaaS e OPTIFaaS: potenziali integrazioni con TPL e Micromobilità
per una mobilità come servizio più interconnessa ed efficiente

Dott. Luigi Pio Prencipe



Politecnico
di Bari



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



MOST
CENTRO NAZIONALE PER LA MOBILITÀ SOSTENIBILE

Overview

1. MOST - Centro Nazionale per la Mobilità Sostenibile
2. Spoke 8 – MaaS & Innovative Services
3. Gruppo START – Poliba: laboratori e attrezzature
4. Contributi Poliba su TPL e Micromobilità: potenziali integrazioni con
OPTIFaaS/Snap4City

1. MOST - Centro Nazionale per la Mobilità Sostenibile

E' uno dei 5 centri nazionali finanziati dal PNRR (MUR M4C2 inv. 1.4)

From Research to Business:

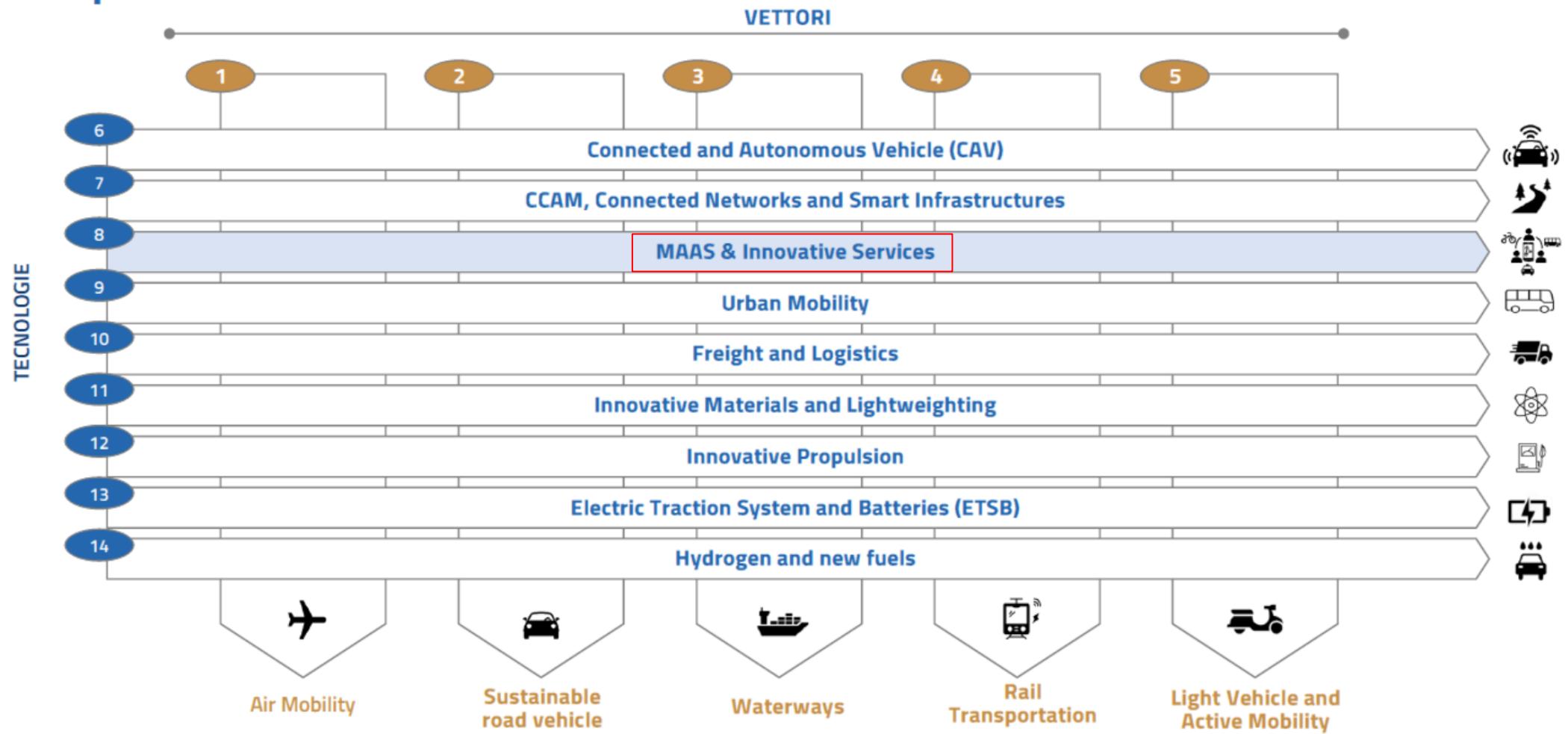
Si basa sulla collaborazione tra pubblico e privato, tra enti di ricerca e impresa

24 Atenei e CNR + 24 Enti Privati



1. MOST - Centro Nazionale per la Mobilità Sostenibile

Gli Spoke del CN MOST



2. Spoke 8 – MaaS & Innovative Services



Politecnico
di Bari



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI CAGLIARI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
BICOCCA
Università degli Studi di Napoli
FEDERICO II



HITACHI
Inspire the Next



- **WP1 – Modelli di domanda di mobilità (domanda analogica)**
- **WP2 – Servizi Innovativi per la mobilità sostenibile (offerta analogica)**
- **WP3 – Monitoraggio e controllo del Sistema MaaS (digitalizzazione dell'offerta)**

- **WP4 – Integrazione, analisi dei dati e distribuzione dell'informazione (digitalizzazione dell'offerta e della domanda)**
- **WP5 – Modelli di business e organizzativi**
- **WP6 – Rete di laboratori**



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italidomani
PIANO NAZIONALE
UTRIPESA E RESILIENZA



CENTRO NAZIONALE PER LA MOBILITÀ SOSTENIBILE

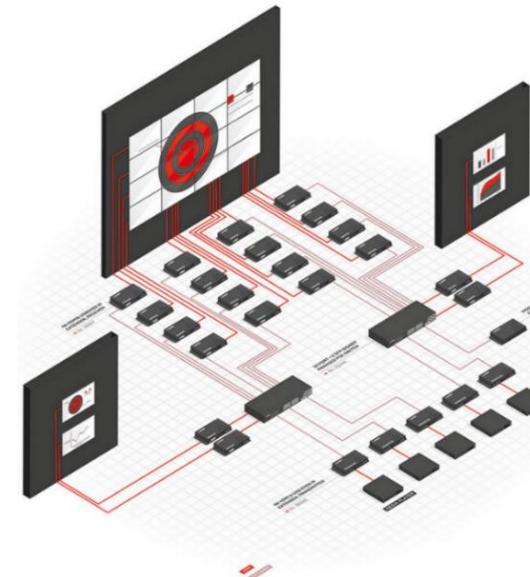


Politecnico
di Bari

3. Gruppo START – Poliba: laboratori e attrezzature

➤ WP6 – Rete di laboratori - Poliba

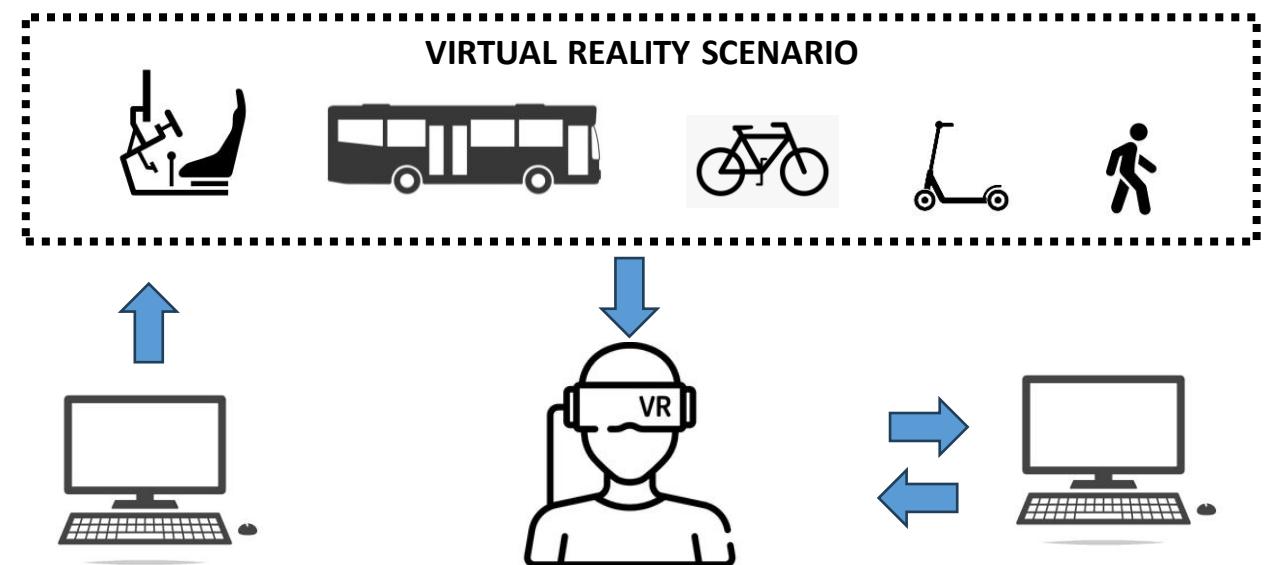
La sala di controllo Maas (**MaaS Control Room**) consente la raccolta, la fusione e l'elaborazione/calcolo dei dati sul traffico. Permette la creazione di modelli di simulazione del traffico (micro e macro) e la loro calibrazione e applicazione a contesti reali. La sala di controllo è il luogo in cui convergono i dati generati dagli altri moduli o dai laboratori del MOST.



3. Gruppo START – Poliba: laboratori e attrezzature

➤ WP6 – Rete di laboratori - Poliba

Il modulo di realtà virtuale (**Virtual Control Module**) è composto da hardware e software quali visori VR (Meta Quest 3, Reverb VR HP), tapis roulant VR (Kat Vr Type “C2”), sensori biometrici (ad es. elettrodi EEG, scheda biosensoriale Cyton) e dispositivi VR indossabili. Il modulo ha lo scopo di studiare il comportamento degli utenti rispetto a scenari di mobilità innovativi. Si basa su attrezzature specifiche che consentono di simulare l’uso di scenari di trasporto singolo o multimodale attraverso un ambiente di realtà virtuale, migliorando la capacità delle tradizionali indagini SP.



3. Gruppo START – Poliba: laboratori e attrezzature

➤ WP6 – Rete di laboratori - Poliba

Elenco Simulatori



Simulatore di guida



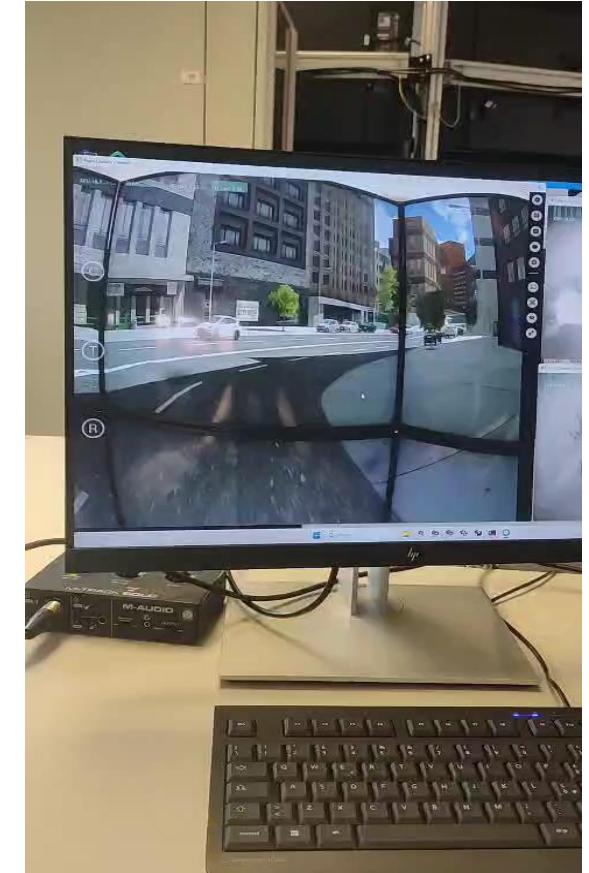
3. Gruppo START – Poliba: laboratori e attrezzature

➤ WP6 – Rete di laboratori - Poliba

Elenco Simulatori



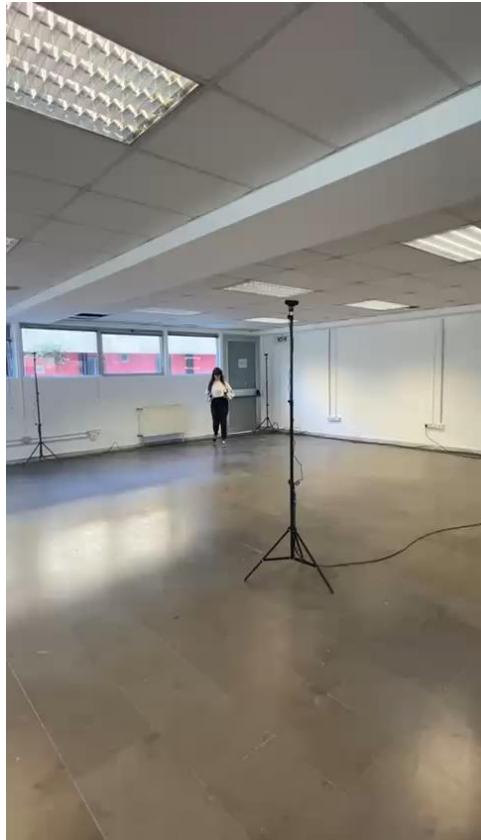
Simulatore di bicicletta



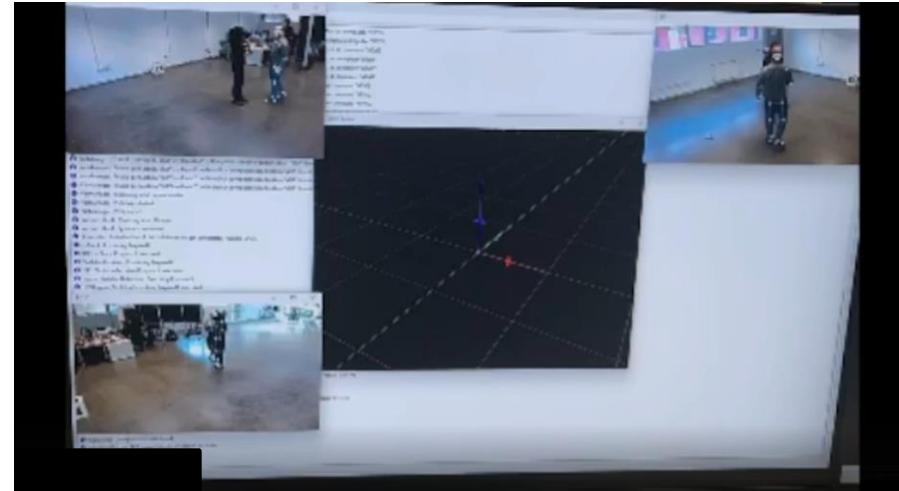
3. Gruppo START – Poliba: laboratori e attrezzature

➤ WP6 – Rete di laboratori - Poliba

Elenco Simulatori



Simulatore pedonale



Simulatore di monopattino

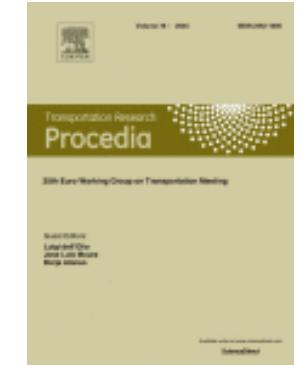


4. Contributi Poliba su TPL e Micromobilità: potenziali integrazioni con OPTIFaaS/Snap4City

➤ WP2 - Servizi Innovativi per la mobilità sostenibile

Contributo 1: Analisi dell'Accettazione di Servizi Innovativi: Bus a Guida Autonoma

Deliverable 2.2.7: Analysis on acceptance of innovative services: self-driving bus (with the use of real bus) and air mobility services.



Prodotto di ricerca:

Titolo: Passenger experience on an automated shuttle service: a survey study on a real test ride in Italy.

Autori: Luigi Pio Prencipe*, Tommaso Colafoglio, Paolo Sorino, Nadia Giuffrida, Leonardo Caggiani, Lucio Narducci, Tommaso Di Noia, Michele Ottomanelli.

Rivista: Transportation Research Procedia (in press)

Obiettivo:

Analizzare l'accettazione da parte degli utenti dei bus a guida autonoma (AV, Autonomous Vehicles) attraverso un'esperienza di test reale. L'accettazione è un fattore chiave per l'integrazione di questi servizi nelle future soluzioni MaaS e OptiFaaS/Snap4City.

4. Contributi Poliba su TPL e Micromobilità: potenziali integrazioni con OPTIFaaS/Snap4City

- WP2 - Servizi Innovativi per la mobilità sostenibile – Contributi Poliba su TPL e Micromobilità: potenziali integrazioni con OPTIFaaS/Snap4City

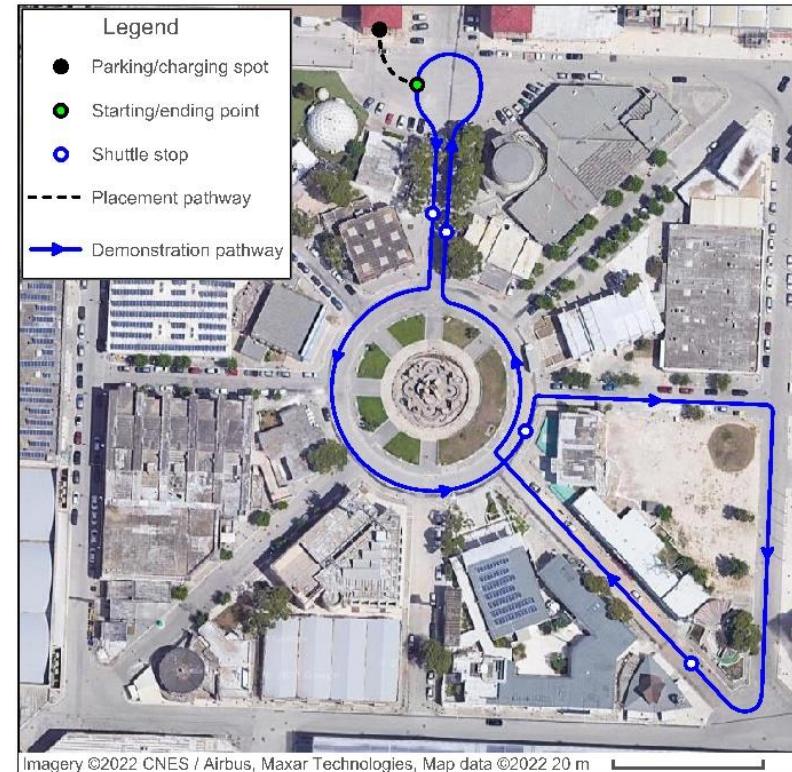
Contributo 1: Analisi dell'Accettazione di Servizi Innovativi: Bus a Guida Autonoma

Esperienza di Test: Esecuzione di un test pilota a bordo dello shuttle elettrico autonomo Navya.

Percorso: Circa 600 metri nell'area espositiva della Fiera del Levante a Bari. La legge italiana ha richiesto la presenza obbligatoria di un operatore specializzato a bordo per ragioni di sicurezza.

Durata test: 3 settimane (3 acquisizioni)

Navetta autonoma: Navya 2022



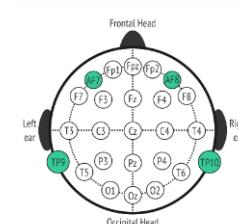
4. Contributi Poliba su TPL e Micromobilità: potenziali integrazioni con OPTIFaaS/Snap4City

- **WP2 - Servizi Innovativi per la mobilità sostenibile – Contributi Poliba su TPL e Micromobilità: potenziali integrazioni con OPTIFaaS/Snap4City**

Contributo 1: Analisi dell'Accettazione di Servizi Innovativi: Bus a Guida Autonoma

Strumenti di Rilevazione (Combinati):

- Questionario On-Site: Somministrato a 62 passeggeri per valutare l'accettazione generale dei bus senza conducente, l'opinione sull'esperienza e le abitudini di mobilità.
- Analisi EEG: Rilevazione dell'attività elettroencefalografica (caschetto Muse2) su un sottoinsieme di partecipanti (17) per analizzare lo stato emozionale (rilassamento, focus, stress) durante la corsa.



4. Contributi Poliba su TPL e Micromobilità: potenziali integrazioni con OPTIFaaS/Snap4City

- WP2 - Servizi Innovativi per la mobilità sostenibile – Contributi Poliba su TPL e Micromobilità: potenziali integrazioni con OPTIFaaS/Snap4City

Contributo 1: Analisi dell'Accettazione di Servizi Innovativi: Bus a Guida Autonoma

Risultati questionario:

Caratteristiche del Campione

Il campione è composto prevalentemente da uomini (63%), giovani (18-35 anni, >74%) e persone con alto livello di istruzione (65% laurea). Il 60% utilizza l'auto privata per gli spostamenti sistematici.

Fattori che influenzano l'accettazione (Q12): I tre fattori più importanti per la scelta di un mezzo di trasporto sono risultati: Sicurezza Personale (73% "molto importante"), Sicurezza Stradale (68% "molto importante") e Puntualità (56% "molto importante"). La flessibilità è considerata il fattore meno importante.

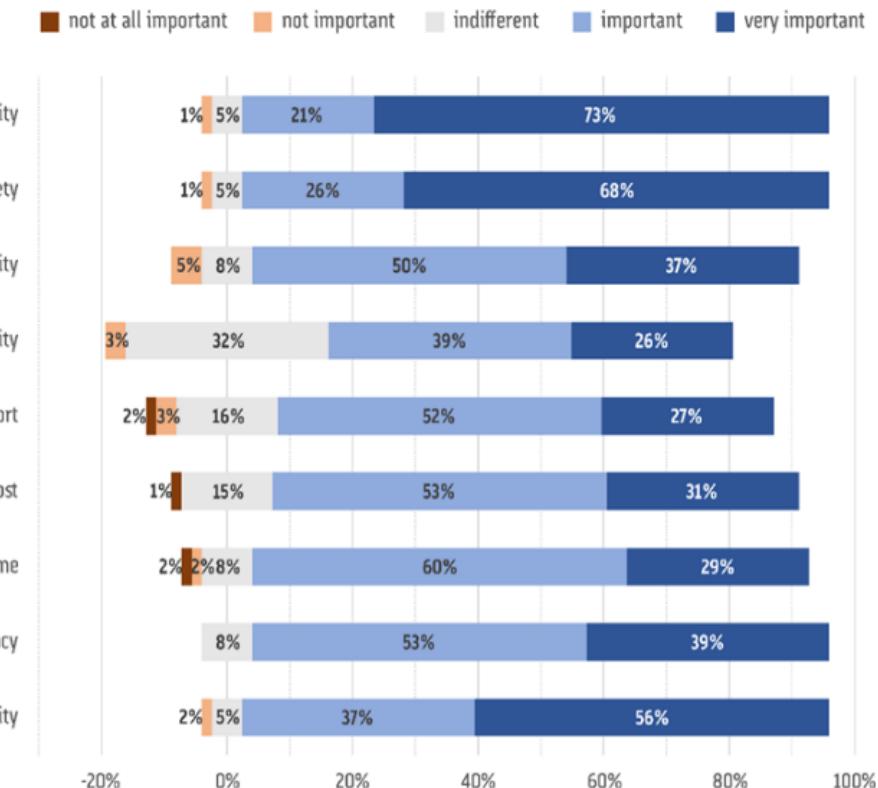
Accettazione Futura (Q15a)

La maggior parte dei rispondenti (83%) ritiene che i veicoli a guida autonoma diventeranno una quota importante del trasporto pubblico.

Percezione di Sicurezza (Q15b)

Solo il 45% concorda sulla maggiore sicurezza dei veicoli autonomi rispetto a quelli tradizionali.

Risultati Q12



4. Contributi Poliba su TPL e Micromobilità: potenziali integrazioni con OPTIFaaS/Snap4City

- WP2 - Servizi Innovativi per la mobilità sostenibile – Contributi Poliba su TPL e Micromobilità: potenziali integrazioni con OPTIFaaS/Snap4City

Contributo 1: Analisi dell'Accettazione di Servizi Innovativi: Bus a Guida Autonoma

Risultati questionario:

Esperienza utenti (Q17)

- Aspetti positivi: Le percezioni di **facilità di accesso, sicurezza a bordo e piacevolezza del viaggio** sono i tre fattori con cui i partecipanti si sono detti più soddisfatti.
- Aspetti negativi: I partecipanti hanno espresso disaccordo o indifferenza sull'adeguatezza della **velocità**, dello **spazio a bordo** e, in particolare, sull'uso autonomo del sistema da parte delle **categorie deboli (VRU)**. Solo il 18% ha ritenuto adeguato lo spazio.

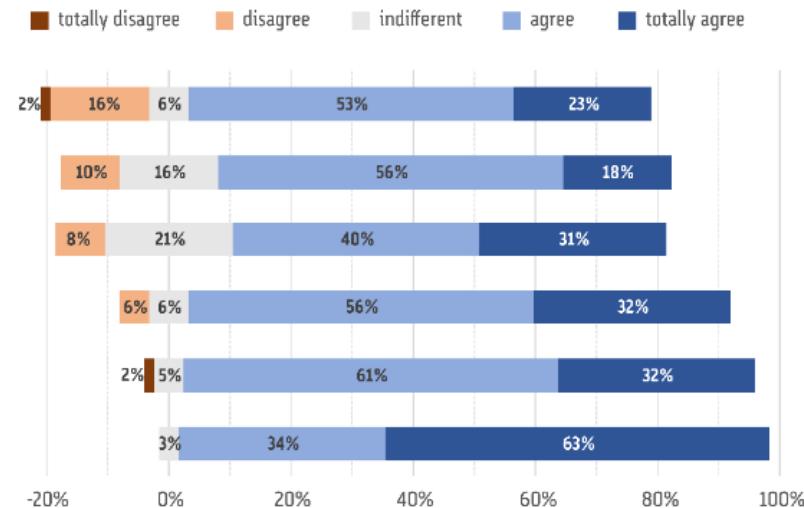
Uso Come Servizio Convenzionale (Q21a)

La maggioranza dei rispondenti si è detta favorevole all'uso ipotetico dello shuttle come servizio di trasporto convenzionale, anche se l'auto è il loro mezzo principale (risultato in controtendenza con altri studi internazionali).

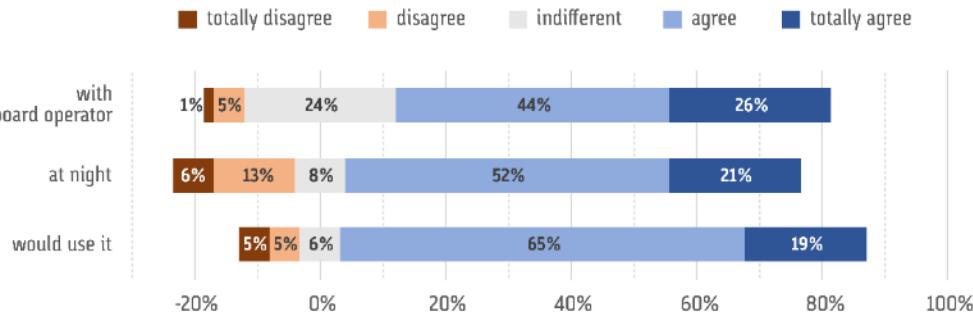
Uso Notturno (Q21b)

Le donne appaiono più favorevoli rispetto agli uomini all'uso del sistema anche di notte (78% vs 69% di accordo), suggerendo che considerano il TPL autonomo un'alternativa sicura per i viaggi notturni.

Risultati Q17



Risultati Q21



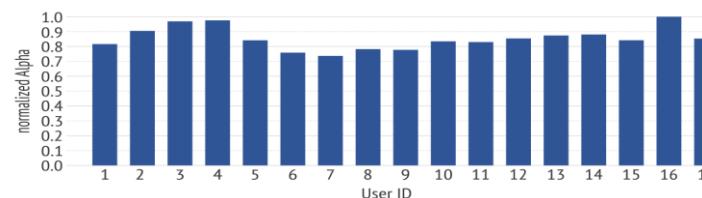
4. Contributi Poliba su TPL e Micromobilità: potenziali integrazioni con OPTIFaaS/Snap4City

- WP2 - Servizi Innovativi per la mobilità sostenibile – Contributi Poliba su TPL e Micromobilità: potenziali integrazioni con OPTIFaaS/Snap4City

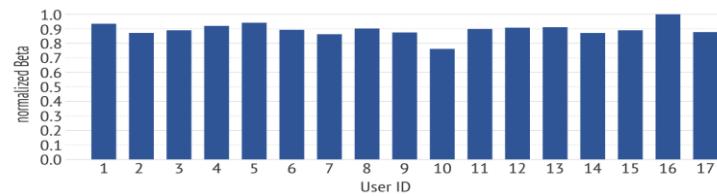
Contributo 1: Analisi dell'Accettazione di Servizi Innovativi: Bus a Guida Autonoma

Risultati EEG:

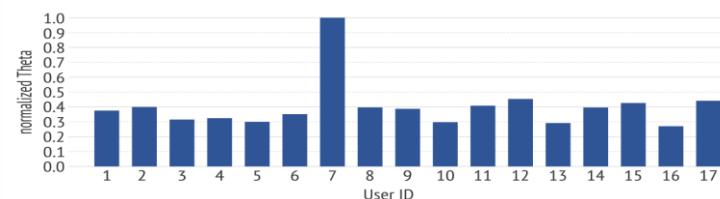
Relaxation
(mean value: 0.85)



Focus
(mean value: 0.84)



Stress
(mean value: 0.38)



User Id	Positive Emotion	Negative Emotion	Neutral Emotion
1	✓	✗	✗
2	✓	✗	✗
3	✗	✗	✓
4	✗	✓	✗
5	✓	✗	✗
6	✓	✗	✗
7	✗	✓	✗
8	✗	✗	✓
9	✗	✓	✗
10	✓	✗	✗
11	✓	✗	✗
12	✗	✓	✗
13	✗	✗	✓
14	✓	✗	✗
15	✓	✗	✗
16	✗	✗	✓
17	✓	✗	✗

4. Contributi Poliba su TPL e Micromobilità: potenziali integrazioni con OPTIFaaS/Snap4City

- WP2 - Servizi Innovativi per la mobilità sostenibile – Contributi Poliba su TPL e Micromobilità: potenziali integrazioni con OPTIFaaS/Snap4City

Contributo 1: Analisi dell'Accettazione di Servizi Innovativi: Bus a Guida Autonoma

Potenziali integrazioni con OPTIFaaS/Snap4City

1. Ottimizzazione Dinamica delle Rotte e delle Flotte (OPTIFaaS):

- Gli algoritmi di OPTIFaaS possono calcolare in tempo reale le rotte più efficienti e la migliore distribuzione delle navette AV. Si possono utilizzare i dati in tempo reale di Snap4City e le previsioni di domanda basate sui profili utente (es. uso notturno) per massimizzare l'efficienza.

2. Simulazione dell'Impatto Sociale e Sicurezza (What-If Analysis):

- Le analisi *what-if* possono simulare gli effetti sul servizio in base all'accettazione e alla percezione di sicurezza degli utenti (es. richiesta di un operatore a bordo). Questo potrebbe supportare la pianificazione strategica per introdurre i bus/navette autonomi in modo graduale e socialmente accettabile.

3. Monitoraggio in Tempo Reale delle Performance e del Comfort (Snap4City Digital Twin):

- Il Digital Twin può visualizzare lo stato operativo e le metriche di guida (velocità, frenate, ostacoli, sorpassi) dei veicoli autonomi.

4. Gestione della Sicurezza e Risposta alle Emergenze (Snap4City Early Warning):

- I sistemi di *early warning* di Snap4City possono essere integrati con gli allarmi del veicolo autonomo (guasti, incidenti). Ciò garantirebbe una risposta immediata da parte dei servizi di emergenza o degli operatori, con una visualizzazione in tempo reale dell'evento.

5. Personalizzazione dell'Interfaccia MaaS (Snap4City/OPTIFaaS):

- I dati di accettazione per categorie (es. donne, istruzione) possono essere usati per personalizzare la presentazione del servizio MaaS.
- Si possono usare tecniche di *nudging* per evidenziare la sicurezza e aumentare l'adozione del servizio da parte degli utenti più scettici.



4. Contributi Poliba su TPL e Micromobilità: potenziali integrazioni con OPTIFaaS/Snap4City

- **WP2 - Servizi Innovativi per la mobilità sostenibile – Contributi Poliba su TPL e Micromobilità: potenziali integrazioni con OPTIFaaS/Snap4City**

Contributo 2: Ottimizzazione dei parcheggi dei veicoli di micromobilità

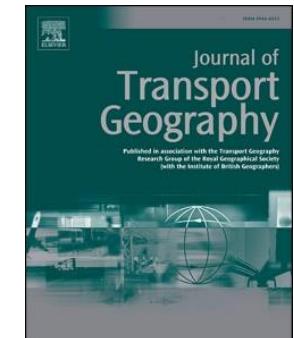
Deliverable 2.2.3: Algorithms for the optimal management of the parking of micromobility vehicles.

Prodotto di ricerca:

Titolo: A multi-objective model to design shared e-kick scooters parking spaces in large urban areas.

Autori: Aleksandra Colovic, Luigi Pio Prencipe*, Nadia Giuffrida, Michele Ottomanelli.

Rivista: Journal of Transport Geography 116 (2024) 103823. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2024.103823>



Obiettivo:

Il parcheggio libero (dock-less) e non regolamentato dei monopattini elettrici genera problemi di sicurezza, ostruzioni e un utilizzo improprio dello spazio pubblico. Le nuove normative italiane introducono sanzioni per i veicoli parcheggiati al di fuori delle aree autorizzate. L'obiettivo è individuare e realizzare aree di sosta dedicate, supportando le amministrazioni locali nella regolamentazione del servizio e promuovendo l'integrazione con altri sistemi di mobilità. Una gestione efficace dei veicoli di micromobilità condivisa costituisce un elemento chiave per l'integrazione di tali servizi nelle future piattaforme MaaS e OptiFaaS/Snap4City.

4. Contributi Poliba su TPL e Micromobilità: potenziali integrazioni con OPTIFaaS/Snap4City

- WP2 - Servizi Innovativi per la mobilità sostenibile – Contributi Poliba su TPL e Micromobilità: potenziali integrazioni con OPTIFaaS/Snap4City

Contributo 2: Ottimizzazione dei parcheggi dei veicoli di micromobilità

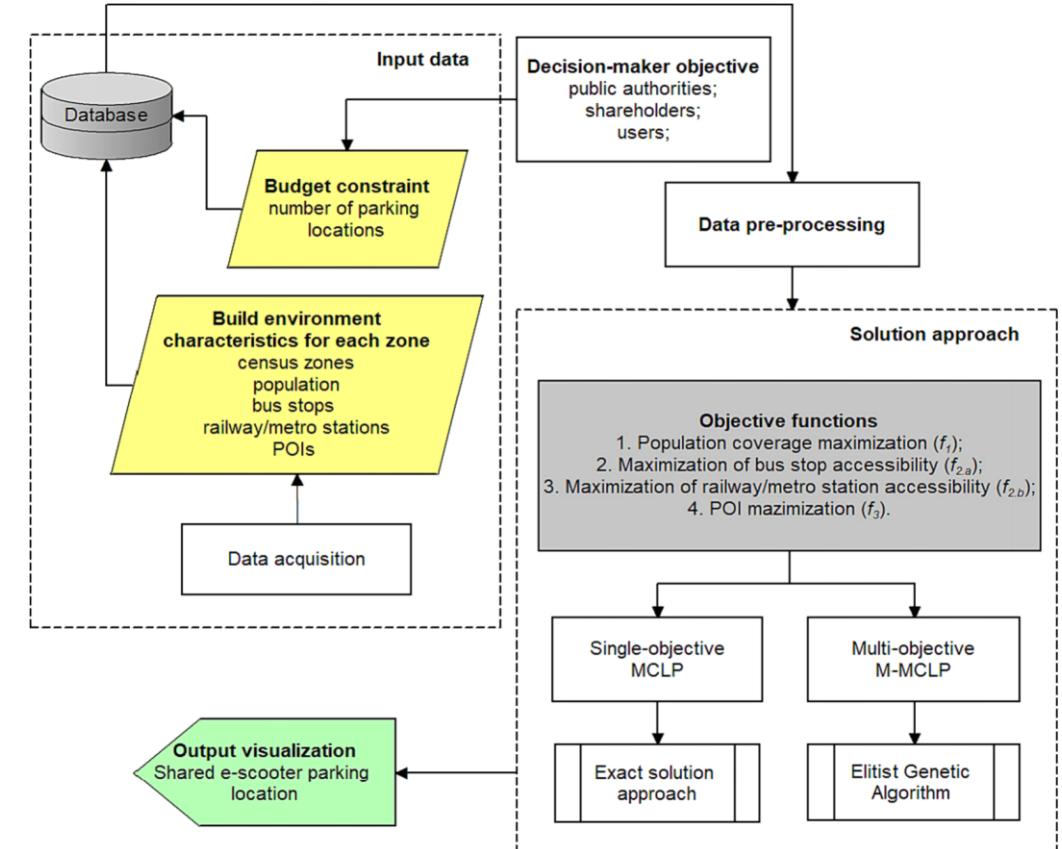
Modello proposto: M-MCPL: Micromobility Maximal Coverage Parking Location Model

Algoritmo utilizzato: Ottimizzazione multi-obiettivo risolto tramite *elitist genetic algorithm* per generare il Fronte di Pareto delle soluzioni ottimali.

Obiettivo: Selezionare le posizioni ottimali per gli stalli di monopattini elettrici soddisfacendo il *trade-off* tra le esigenze di tutti gli attori.

Attori coinvolti:

1. **Operatori:** Copertura della domanda potenziale e accessibilità al TPL.
2. **Utenti:** Disponibilità vicino ai Punti di Interesse (POIs).
3. **Amministrazioni:** Evitare l'uso eccessivo e illegale del suolo.



4. Contributi Poliba su TPL e Micromobilità: potenziali integrazioni con OPTIFaaS/Snap4City

- WP2 - Servizi Innovativi per la mobilità sostenibile – Contributi Poliba su TPL e Micromobilità: potenziali integrazioni con OPTIFaaS/Snap4City

Contributo 2: Ottimizzazione dei parcheggi dei veicoli di micromobilità

Modello matematico proposto: M-MCPL

Funzioni obiettivo

$$\max f_1 = \sum_{i \in I} h_i \cdot y_i \quad (1)$$

$$\max f_{2.a} = \sum_{i \in I} \sum_{b \in B} acc_{ib}^{bus} \cdot y_i \quad (2.a)$$

$$\max f_{2.b} = \sum_{i \in I} \sum_{r \in R} acc_{ir}^{rail} \cdot y_i \quad (2.b)$$

$$\max f_3 = \sum_{i \in I} p_i \cdot y_i \quad (3)$$

Vincoli

$$y_i \leq \sum_{j \in J} a_{ij} \cdot x_j, \quad \forall i, a_{ij} \in N_i \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = s \quad (5)$$

$$y_i, x_j \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I, j \in J \quad (6)$$

Table 1. The nomenclature of the proposed M-MCPL model

Sets	
I	Set of demand nodes $i, i \in I$
J	Set of candidate sites for locating shared e-scooter $j, j \in J$
B	Set of bus stops node $b, b \in B$
R	Set of railway/metro stations access/egress nodes $r, r \in R$
Parameters	
d_{ij}	Distance between demand node i and the potential shared e-scooter location j
t_{ib}^{bus}	Approximated travel time between demand node i and bus stop b
t_{ir}^{rail}	Approximated travel time between demand node i and railway/metro access/egress nodes r
s	Fixed number of shared e-scooters locations to be selected
h_i	Population density [no. residents/m ²] of the demand node i
D_c	Threshold for distance coverage
T_c	Threshold for time coverage
a_{ij}	Parameter a_{ij} equal to 1 if the distance between the demand node i and shared e-scooter location j is within the range D_c , ($d_{ij} \leq D_c$) or within the subset $N_i \subseteq J$ where $N_i = \{j \in J d_{ij} \leq D_c\}$, 0 otherwise
a_{ib}^{bus}	Parameter a_{ib}^{bus} equal to 1 if the approximate travel time between the potential shared e-scooter location i and bus stop node b is within the range T_c , ($t_{ib}^{bus} \leq T_c$) or within the subset $N_i^{bus} \subseteq B$ where $N_i^{bus} = \{b \in B t_{ib}^{bus} \leq T_c\}$, 0 otherwise
a_{ir}^{rail}	Parameter a_{ir}^{rail} equal to 1 if the approximate travel time between the potential e-scooter i and railway/metro ingress/egress station node r is within the range T_c , ($t_{ir}^{rail} \leq T_c$) or within the subset $N_i^{rail} \subseteq R$ where $N_i^{rail} = \{r \in R t_{ir}^{rail} \leq T_c\}$, 0 otherwise
acc_{ib}^{bus}	Parameter acc_{ib}^{bus} related to the accessibility measure between the candidate node of shared e-scooter location i and bus stop node b
acc_{ir}^{rail}	Parameter acc_{ir}^{rail} related to the accessibility measure between the candidate node of shared e-scooter location i and railway/metro ingress/egress station node r
p_i	The total number of points of interest associated with each potential e-scooter location i
Decision variables	
y_i	Binary decision variable related to the covering decisions, where y_i is equal to 1 if the demand node i is covered by chosen shared e-scooter location j , 0 otherwise
x_j	Binary decision variable related to the location decisions, where x_j is equal to 1 if the candidate shared e-scooter location j is chosen, 0 otherwise

4. Contributi Poliba su TPL e Micromobilità: potenziali integrazioni con OPTIFaaS/Snap4City

- WP2 - Servizi Innovativi per la mobilità sostenibile – Contributi Poliba su TPL e Micromobilità: potenziali integrazioni con OPTIFaaS/Snap4City

Contributo 2: Ottimizzazione dei parcheggi dei veicoli di micromobilità

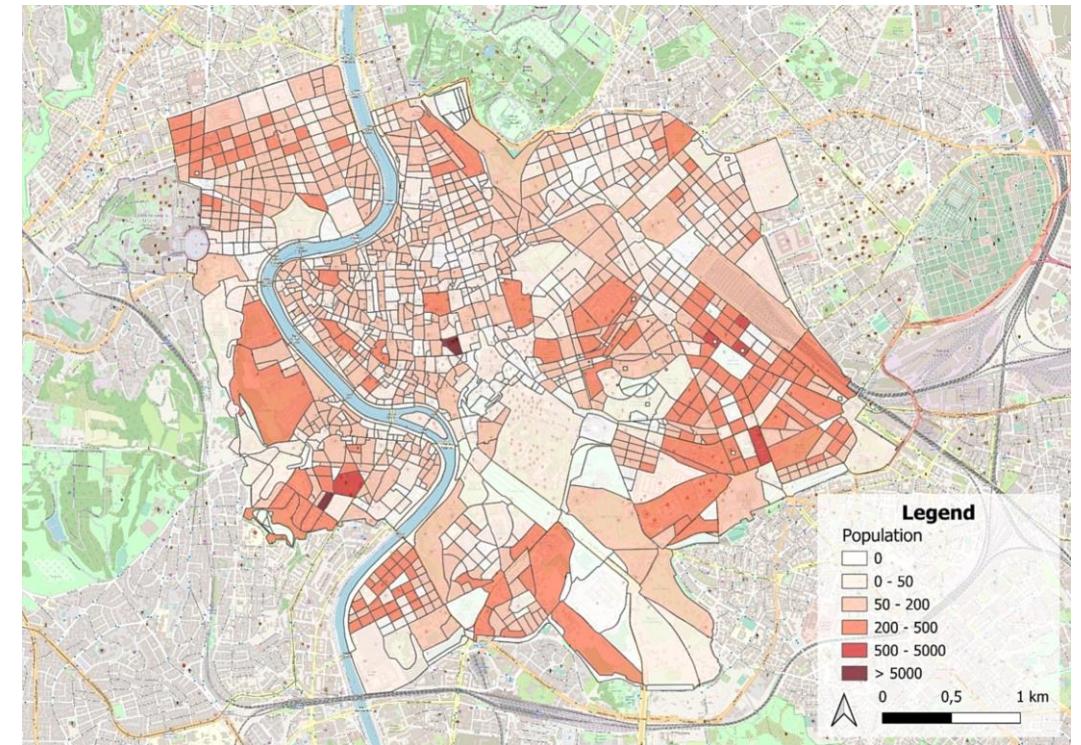
Caso studio: centro della Città di Roma

Aree censuarie: 1364

POIs (attrazioni turistiche e storiche, istituti scolastici, luoghi di culto, aree verdi e ristoranti): 883

Punti di fermata autobus: 477

Punti di accesso stazioni ferroviarie/metropolitane: 14

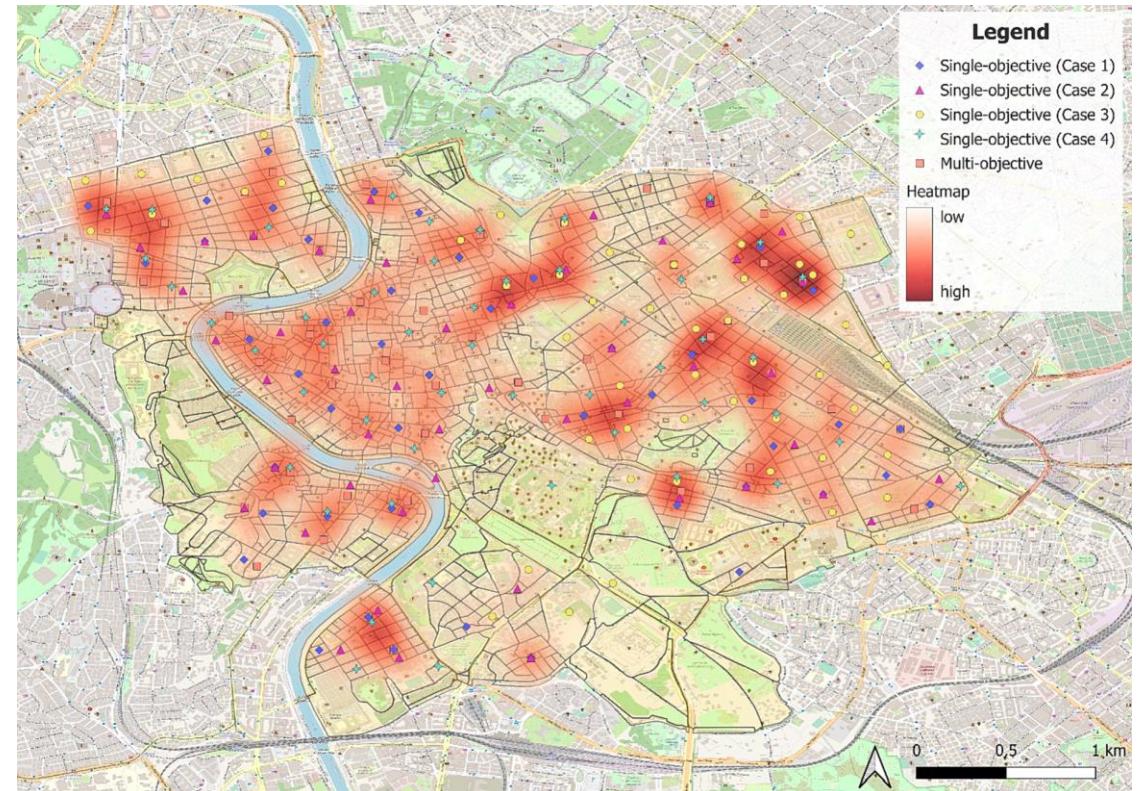
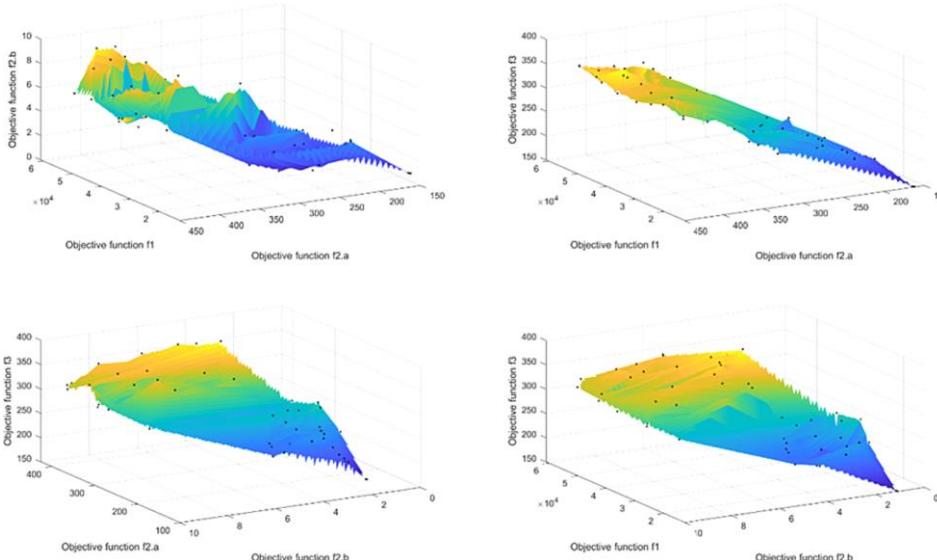


4. Contributi Poliba su TPL e Micromobilità: potenziali integrazioni con OPTIFaaS/Snap4City

- WP2 - Servizi Innovativi per la mobilità sostenibile – Contributi Poliba su TPL e Micromobilità: potenziali integrazioni con OPTIFaaS/Snap4City

Contributo 2: Ottimizzazione dei parcheggi dei veicoli di micromobilità

I risultati dell'analisi multi-obiettivo definiscono le aree prioritarie; quelli single-objective permettono agli stakeholder di raffinare la scelta in base all'obiettivo primario (es. le autorità pubbliche che promuovono i viaggi multimodali scelgono f2.a e f2.b).



4. Contributi Poliba su TPL e Micromobilità: potenziali integrazioni con OPTIFaaS/Snap4City

- WP2 - Servizi Innovativi per la mobilità sostenibile – Contributi Poliba su TPL e Micromobilità: potenziali integrazioni con OPTIFaaS/Snap4City

Contributo 2: Ottimizzazione dei parcheggi dei veicoli di micromobilità

Potenziali integrazioni con OPTIFaaS/Snap4City

1. Realizzazione del Digital Twin della Micromobilità (Snap4City)

- Le aree di parcheggio ottimizzate dal modello M-MCPL possono essere mappate sul Digital Twin per la pianificazione e il monitoraggio. Il Twin visualizza in tempo reale l'occupazione degli stalli legali e l'andamento del parcheggio improprio nelle aree circostanti.

2. Ottimizzazione Dinamica della Flotta (OPTIFaaS):

- OPTIFaaS può utilizzare le posizioni degli stalli come vincoli strategici per la redistribuzione (rebalancing) dei monopattini. L'algoritmo può ottimizzare i percorsi dei veicoli di ricarica per massimizzare l'uso degli stalli legali e ridurre i costi operativi.

3. Miglioramento del Routing Multimodale MaaS (OPTIFaaS):

- I risultati del modello sull'Accessibilità Multimodale (connessione TPL/Micromobilità) possono affinare l'algoritmo di routing MaaS. Ciò garantisce percorsi di *last-mile* più affidabili e fluidi, con punti di interscambio precisi e regolamentati.

4. Analisi dell'Impatto Regolatorio (What-If Analysis - OPTIFaaS):

- Il modello M-MCPL può essere integrato negli strumenti di simulazione per valutare l'impatto di diverse norme (es. numero minimo di stalli). Si supportano decisioni *data-driven* sulla regolamentazione, bilanciando l'efficacia della copertura (domanda e POIs) con i vincoli normativi.

5. Sistema di Early Warning e Nudging Utente (Snap4City):

- Snap4City può monitorare la geolocalizzazione dei veicoli rispetto al geofencing ottimizzato in tempo reale. Vengono inviati avvisi predittivi (nudging) all'utente tramite l'app MaaS per impedire la conclusione della corsa in aree non consentite, prevenendo multe e ostruzioni.





IL FUTURO DELLA MOBILITÀ
INTELLIGENTE E SOSTENIBILE

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Dott. Luigi Pio Prencipe



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero
dell'Università
e della Ricerca



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



MOST
CENTRO NAZIONALE PER LA MOBILITÀ SOSTENIBILE



Politecnico
di Bari