

ARTICLE INFO

Received	10 March 2026
Revised	16 April 2026
Accepted	22 April 2026
Published	30 June 2026

BICICLETTE E CARGO BIKE

Modelli ibridi modulari per micromobilità urbana e logistica

BICYCLES AND CARGO BIKES

Hybrid modular models for urban micromobility and logistics

Alessandra Rinaldi, Jonathan Lagrimino

ABSTRACT

Il contributo esplora la modularità come leva progettuale per integrare micromobilità personale e logistica. Assumendo come caso studio di partenza un veicolo leggero modulare sviluppato nell'ambito del Centro Nazionale per la Mobilità Sostenibile (Spoke 5 'Light Vehicle and Active Mobility') la ricerca adotta un approccio Design Thinking e un modello Double Diamond, combinando l'analisi della letteratura, il confronto con esperti, l'uso di fattori ricorrenti e lo sviluppo di scenari. Ne risultano un framework interpretativo fondato su cinque fattori chiave dei sistemi di micromobilità urbana e la proposta di un modello di Hybrid Professional Micromobility, in cui la riconfigurabilità del veicolo abilita usi ibridi tra spostamenti quotidiani e servizi di prossimità. I risultati evidenziano implicazioni rilevanti su flessibilità d'uso, gestione della flotta e riconfigurazione dei servizi.

This paper explores modularity as a design lever for integrating personal micromobility and logistics. Taking as its starting case study a modular light vehicle developed within the framework of the National Centre for Sustainable Mobility (Spoke 5 'Light Vehicle and Active Mobility'), the research adopts a Design Thinking approach and a Double Diamond model, combining literature analysis, expert consultation, the use of recurring factors, and scenario development. The results consist of an interpretative framework based on five key factors of urban micromobility systems and a proposal for a Hybrid Professional Micromobility model, in which the vehicle's reconfigurability enables hybrid use between everyday mobility and proximity services. The findings highlight significant implications for flexibility of use, fleet management, and service reconfiguration.

KEYWORDS

micromobilità urbana, veicoli leggeri modulari, cargo bike, logistica di ultimo miglio, mobilità ibrida

urban micromobility, modular light vehicles, cargo bikes, last-mile logistics, hybrid mobility

Alessandra Rinaldi, Architect and PhD, is an Associate Professor of Design at the Department of Architecture of the University of Florence (Italy) and the Director of IDEE LAB (Innovation in Design and Engineering Laboratory). Her research focuses on innovation in product design, ergonomics, and interaction design, adopting approaches based on Design Thinking, Human-centred Design, Design for Inclusion, and experience-based innovation. E-mail: alessandra.rinaldi@unifi.it

Jonathan Lagrimino, Designer and PhD, is a Researcher at the Department of Architecture of the University of Florence (Italy) and a member of IDEE LAB (Innovation in Design and Engineering Laboratory). His research focuses on product and product-service system innovation in the field of design for sustainable mobility, with particular attention to ergonomics and human interaction. E-mail: jonathan.lagrimino@unifi.it



La mobilità urbana contemporanea è chiamata ad affrontare sfide ambientali, sociali ed economiche complesse che richiedono l'adozione di paradigmi innovativi, sostenibili, intelligenti, flessibili e inclusivi (Bruno et alii, 2024; European Commission, 2019). In questo quadro la micromobilità rappresenta una componente strategica dei sistemi di trasporto urbano (Abduljabbar, Lyanage and Dia, 2021): i veicoli leggeri, tra cui biciclette e cargo bike, costituiscono infatti soluzioni a basso consumo energetico e a basse emissioni, particolarmente efficaci su scala locale, in contesti caratterizzati da vincoli infrastrutturali, prossimità funzionale e alta densità (Arias-Molinares et alii, 2023; Buehler and Pucher, 2021; Eom, Lee and Lee, 2023). Proprio per queste proprietà gli effetti della micromobilità non si misurano solo in termini ambientali, ma anche sociali ed economici: essa contribuisce infatti a ridurre la dipendenza dai veicoli motorizzati tradizionali, a rendere i servizi urbani più accessibili e i modelli distributivi più efficienti e a promuovere forme di mobilità attiva più salutari (Abduljabbar, Lyanage and Dia, 2021; Martens, 2007; Van Cauwenberg et alii, 2019).

Il dibattito sulla micromobilità urbana si è sviluppato prevalentemente in chiave sistemica, con attenzione alla pianificazione infrastrutturale, ai modelli di servizio, alla regolamentazione e alla costruzione di ecosistemi di mobilità integrata. In tale prospettiva la micromobilità viene interpretata come un sistema collettivo e interconnesso, nel quale infrastrutture, servizi e tecnologie concorrono a definire assetti multimodali e adattivi (Canessa and Centanaro, 2024; Fabbri, 2023; Luo, Li and Hampshire, 2021; Sommariva and Canessa, 2024).

Parallelamente a questa lettura risulta però necessario considerare anche la scala del prodotto, intesa come livello progettuale abilitante, in cui soluzioni tecniche e tecnologiche possono agire come leve bottom-up capaci di incidere sui modelli di mobilità urbana (La Regina et alii, 2025; Schomakers et alii, 2022). In questa direzione si colloca la ricerca sviluppata nell'ambito del Centro Nazionale per la Mobilità Sostenibile¹ (Spoke 5 – Light Vehicle and Active Mobility; Work Package 2.1 – Vehicle Design, Materials and LCA), orientata alla progettazione e prototipazione di biciclette e cargo bike e all'esplorazione della modularità come leva strategica di innovazione (Rinaldi and Lagrimino, 2026).

Nel settore ciclistico il principio modulare trova un terreno particolarmente maturo: gran parte dei componenti della bicicletta è regolata da standard tecnici internazionali consolidati da decenni, rendendo questo ambito uno dei casi più longevi di interoperabilità modulare nella progettazione di prodotto (Galvin and Morkel, 2001). Tale tradizione di standardizzazione e componibilità suggerisce un'evidente estensione di scala: se la modularità struttura l'architettura tecnica del veicolo, essa costituisce anche una chiave strategica per incidere sulle configurazioni produttive, distributive e d'uso. In questa direzione si colloca la riflessione di Pietroni, Di Stefano e Galloppo (2023) che evidenziano il passaggio da una logica del 'fare per disfare' a una logica del 'fare per rifare' secondo la quale la modularità assume una duplice valenza: da un lato dispositivo tecnico-progettuale per lo sviluppo di prodotti flessibili e configurabili, dall'altro modello organizzativo capace di incidere sui processi industriali, sulla filiera di approvvigionamento e sui modelli d'impresa.

Questa duplice natura può essere letta anche attraverso il modello teorico proposto da Carliss Y. Baldwin e Kim B. Clark (1994) che distingue tre livelli interconnessi di modularità: Modularity in Design (MiD), Modularity in Production (MiP) e Modularity in Use (MiU). In questa prospettiva la modularità non si limita alla scomposizione tecnica di un artefatto (MiD), ma si configura come un principio progettuale capace di mettere in relazione la struttura del prodotto con l'organizzazione produttiva (MiP) e le pratiche d'uso (MiU). In altri termini, come osservano anche Tamborini e Cretai (2023), il modulo acquista senso non come elemento isolato, ma nelle relazioni che instaura entro un sistema più ampio e adattivo, estendendo così la modularità dalla scala dell'artefatto a quella del sistema.

Tali assunti hanno trovato applicazione nello sviluppo di un veicolo leggero 4-in-1 (Figg. 1-4) ideato nell'ambito del progetto MOST-Spoke 5. Il veicolo è stato concepito come un sistema riconfigurabile basato su moduli strutturali indipendenti (Fig. 5), connessi tramite giunti reversibili che consentono il passaggio da bicicletta standard (o e-bike) a cargo bike con tre diverse capacità di carico (Figg. 6-9). In questo contesto progettuale la ricerca ha esplorato le implicazioni costruttive, funzionali e operative del veicolo, ipotizzando che l'architettura modulare potesse incidere sia sulle pratiche d'uso sia sulla gestione dei processi produttivi (Rinaldi and Lagrimino, 2026).

I risultati conseguiti hanno confermato la coerenza dell'approccio alla scala del prodotto e hanno aperto una riflessione sulle sue possibili ricadute a livello sistemico: la possibilità di alternare configurazioni diverse non rappresenta soltanto un ampliamento funzionale del veicolo, ma suggerisce nuove opportunità operative da integrare in scenari di mobilità personale e di logistica urbana. Assumendo quindi il veicolo modulare come dato di partenza le attività esplorative e progettuali descritte in questo contributo sono state guidate dalle seguenti domande di ricerca: a) Quali fattori e componenti strutturali ricorrenti caratterizzano i modelli di micromobilità urbana per il trasporto di persone e merci? b) In che modo un veicolo modulare può essere integrato nei modelli esistenti di micromobilità urbana e quali opportunità operative può generare all'interno di tali configurazioni? c) In quale misura la modularità può abilitare configurazioni ibride in grado di integrare la mobilità personale e la logistica urbana all'interno di una piattaforma condivisa?

Alla luce di queste premesse il contributo si propone di esplorare il potenziale della modularità come leva progettuale in grado di mettere in relazione la mobilità personale e la logistica urbana leggera. Il paper si articola in due passaggi principali: il primo, di natura analitico-interpretativa, è finalizzato all'individuazione dei fattori ricorrenti che caratterizzano i modelli di micromobilità urbana e alla definizione di un framework interpretativo; il secondo, di natura esplorativo-progettuale, mette tale framework in relazione con l'architettura riconfigurabile del veicolo modulare assunto come caso di partenza, al fine di elaborare possibili scenari ibridi tra uso personale e attività professionale.

L'interesse scientifico del contributo risiede nel tentativo di connettere la scala del prodotto e quella del sistema, mostrando come un approccio bottom-up, fondato sulla riconfigurabilità del veicolo, possa contribuire a ripensare le relazioni operative tra mobilità personale e logistica di prossimità. L'i-

potensi della ricerca è che la riconfigurabilità del mezzo, oltre ad ampliarne la flessibilità d'uso, possa fungere da dispositivo progettuale generativo di nuove configurazioni ibride tra spostamenti quotidiani e servizi urbani, con implicazioni rilevanti sul piano progettuale, organizzativo e sistemico.

Metodologia | Le esperienze maturate nel contesto del progetto MOST hanno da un lato contribuito allo sviluppo del veicolo modulare definendo domande e obiettivi di ricerca, dall'altro lato hanno supportato la collaborazione con partner accademici e industriali (Università di Bergamo, DISA e DIGIP; Università di Firenze, DIEF; Poste Italiane e Pirelli) e altri stakeholder (Dedacciai Strada) che hanno fornito riferimenti empirici, teorici e applicativi utili a inquadrare i temi della micromobilità personale e della logistica urbana, nonché un terreno di verifica progettuale.

La ricerca è stata impostata seguendo l'approccio metodologico del Design Thinking, articolandosi secondo il modello del Double Diamond, in quattro passaggi: Discover, Define, Develop e Deliver (Fig. 10). Il modello combina una prima sequenza di esplorazione e sintesi analitica finalizzata alla definizione del problema e alla costruzione del quadro interpretativo, con una seconda sequenza di esplorazione e sintesi progettuale, orientata allo sviluppo e alla formalizzazione di possibili soluzioni strategiche (Viviani et alii, 2024), integrando così approcci di Research for Design e Research through Design (Archer, 1995; Jonas, 2015).

La prima fase, Discover, è stata dedicata alla raccolta e alla prima organizzazione dei materiali utili a descrivere i principali modelli di micromobilità per il trasporto di persone e merci. La costruzione del corpus analitico non ha seguito una logica di esaustività o di rappresentatività statistica, ma una selezione qualitativa e intenzionale delle fonti (Gerring, 2006), definita in funzione della loro pertinenza alle domande di ricerca. A tal fine, all'interno della letteratura scientifica, sono state selezionate due principali tipologie di contributi (Tab. 1) riguardanti revisioni della letteratura dedicate a temi specifici della micromobilità (n° contributi: 5) e casi studio relativi a modelli di micromobilità teorici o operativi (n° contributi: 10).

Per la prima categoria sono stati privilegiati contributi capaci di: a) sintetizzare lo stato del dibattito sui temi della micromobilità urbana, della mobilità personale, dell'intermodalità, della logistica urbana leggera e delle configurazioni ibride; b) restituire in forma critica le principali configurazioni ricorrenti del settore; c) offrire un quadro utile all'identificazione di pattern e fattori ricorrenti. Per la seconda categoria sono stati invece selezionati casi capaci di: a) rappresentare modelli di micromobilità espliciti e riconoscibili; b) descrivere in modo sufficientemente dettagliato il vettore, il servizio o l'assetto operativo; c) rendere leggibili requisiti d'uso, condizioni di servizio e logiche organizzative utili a una successiva comparazione qualitativa.

La fase successiva, Define, è stata dedicata alla sistematizzazione delle fonti raccolte; le diverse categorie di contributi sono state sottoposte a una lettura comparativa finalizzata a individuare gli elementi utili a descrivere il funzionamento dei diversi modelli di micromobilità. Tali elementi sono stati successivamente organizzati in modo iterativo, in base ad affinità semantiche e funzionali, attraverso attività di mappatura visiva e di raggruppamen-



to condotte sulla piattaforma Miro². Questo processo di astrazione qualitativa ha portato all'individuazione di cinque componenti strutturali ricorrenti (Tab. 2), successivamente assunte come fattori nell'elaborazione di un framework interpretativo.

Sulla base delle suggestioni maturate la fase Develop ha introdotto la dimensione propriamente progettuale della ricerca: fattori strategici e modularità del veicolo sono stati messi in relazione per esplorare possibili riconfigurazioni sistemiche generate dall'interazione tra configurazioni di micromobilità esistenti e le nuove opportunità offerte dalla modularità del mezzo.

Operativamente la fase si è articolata in due momenti principali: 1) una prima attività di generazione e discussione di ipotesi progettuali, finalizzata all'esplorazione di possibili modelli innovativi e/o ibridi, sviluppata attraverso una sessione di Design Sprint (Rinaldi, Busciantella-Ricci and Viviani, 2024; Knapp, Zeratsky and Kowitz, 2022) coordinata dai ricercatori di IDEE Lab dell'Università di Firenze e condotta con il coinvolgimento di giovani designer e designer professionisti (n. 8 partecipanti); 2) una successiva attività di confronto e selezione mediante focus group con partner MOST (n. 5 partecipanti), finalizzata a discutere le ipotesi emerse e a raccogliere valutazioni tecniche preliminari sulla loro fattibilità, utili a orientare la selezione delle proposte ritenute più promettenti in termini di innovatività e fattibilità.

Infine la fase di Deliver si è concentrata sulla formalizzazione degli esiti dell'esplorazione progettuale sotto forma di modelli sistemiche e di scenari progettuali. Gli esiti sono stati restituiti mediante mappe concettuali e storyboard, considerati stru-



Figg. 1, 2 | Modular bike project proposal: e-bike layout; e-cargo bike layout, Size 'S' (credits: the Authors, 2025).

menti distinti ma complementari. Le mappe concettuali sono state utilizzate per sintetizzare il framework interpretativo emerso dalla fase analitica e per formalizzare il modello ibrido di micromobilità elaborato nella fase progettuale.

Gli storyboard sono stati invece sviluppati per rappresentare alcuni possibili scenari d'uso interni al modello proposto, illustrandone in forma sequenziale attori, passaggi operativi, interazioni e flussi di servizio. Tali scenari non rappresentano soluzioni operative validate, ma configurazioni concettuali elaborate come strumenti di indagine progettuale, utili a esplorare le possibili modalità di attivazione del veicolo modulare all'interno del sistema ipotizzato. Gli storyboard sono stati realizzati con il supporto di software di intelligenza artificiale per la generazione di immagini.

Modelli di micromobilità urbana | L'analisi dei modelli esistenti di micromobilità urbana ha evidenziato due domini operativi principali: la mobilità personale e la logistica urbana leggera. Nel dominio della mobilità personale, la micromobilità emerge sotto due prospettive complementari: da un lato, come evidenziato da Abduljabbar, Liyanage and Dia (2021), è interpretata in relazione al potenziale dei veicoli leggeri nell'abilitare nuove opportunità di spostamento, dall'altro, come mostrato da Zhang, Kasraian and van Wesemael (2023), tali opportunità risultano strettamente dipendenti dalle caratteristiche del contesto costruito.

In entrambe le prospettive la micromobilità si configura prevalentemente come un sistema di connessione puntuale tra origine e destinazione, finalizzato sia a garantire continuità di spostamento



Figg. 3, 4 | Modular bike project proposal: e-cargo bike layout, Size 'M'; e-cargo bike layout, Size 'L' (credits: the Authors, 2025).

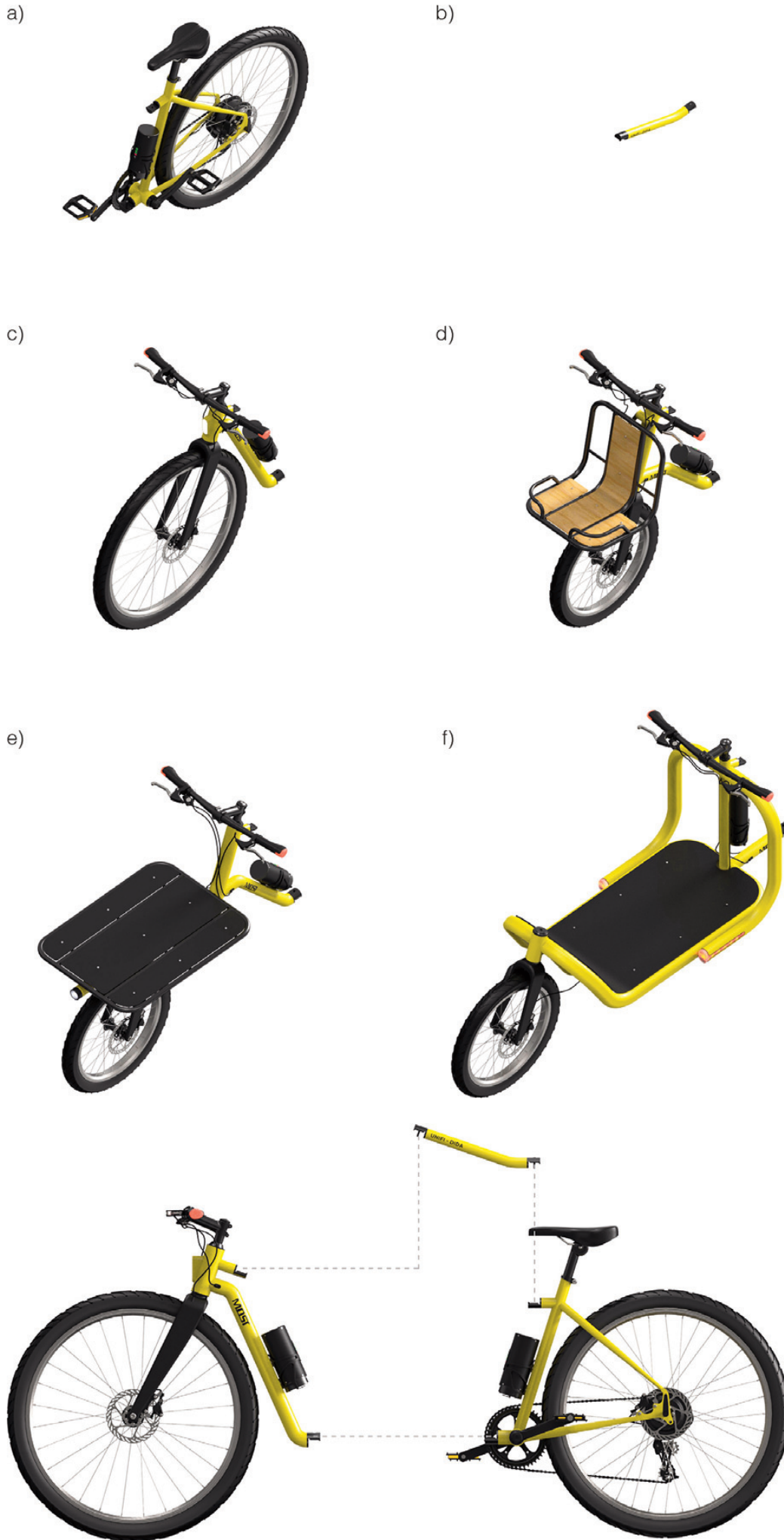


Fig. 5 | Visualisation of the vehicle's six modules: (a) rear module, (b) transversal tube module, (c) front bike module, (d) front cargo 'S' module, (e) front cargo 'M' module, and (f) front cargo 'L' module (credit: the Authors, 2025).

Fig. 6 | E-bike layout: modules and disassembly scheme (credit: the Authors, 2025).

su brevi distanze sia a integrare segmenti di 'primo e ultimo miglio' con infrastrutture di trasporto pubblico o altri nodi strategici (Abduljabbar, Liyanage and Dia, 2021; Arias-Molinares et alii, 2023; Eom, Lee and Lee, 2023).

Nel primo caso i veicoli leggeri vengono impiegati soprattutto per spostamenti individuali relativamente lineari, organizzati attorno alle esigenze dell'utente e alla necessità di collegare ambiti residenziali e servizi di prossimità (Zhang, Kasraian and van Wesemael, 2023). Nel secondo caso la micromobilità assume un ruolo crescente nelle connessioni intermodali lungo percorsi di medio-lungo raggio. Diversi studi evidenziano infatti come essa con-

tribuisca ad ampliare il bacino di accessibilità delle stazioni del trasporto pubblico, migliorando la continuità del sistema di mobilità urbana e favorendo configurazioni di mobilità integrata (Abduljabbar, Liyanage and Dia, 2021; Oeschger, Caulfield and Carroll, 2025). L'integrazione tra veicoli leggeri e il trasporto collettivo consente di estendere l'area di 'influenza' delle stazioni e di ridurre le discontinuità spaziali tra le infrastrutture di mobilità e il tessuto urbano diffuso (Luo, Li and Hampshire, 2021).

In relazione a tali condizioni operative le biciclette e le cargo bike emergono come veicoli particolarmente rilevanti per la micromobilità urbana, grazie alla semplicità costruttiva, alla manovrabilità

e ai ridotti requisiti infrastrutturali che ne favoriscono l'impiego in contesti urbani densi e nelle connessioni di prossimità (Pucher and Buehler, 2012). La letteratura mostra come questi mezzi abbiano progressivamente assunto ruoli differenziati all'interno dei modelli di mobilità personale: numerosi studi evidenziano infatti l'efficacia della bicicletta come vettore di raccordo intermodale, in particolare nei sistemi bike-and-ride e, più in generale, nelle configurazioni che integrano la mobilità ciclabile e il trasporto collettivo (Martens, 2007; Oeschger, Caulfield and Carroll, 2025).

In questa stessa direzione si collocano alcune esperienze progettuali sul mezzo personale, come

Fig. 7 | E-cargo bike layout, Size 'S': modules and disassembly scheme (credit: the Authors, 2025).



Fig. 8 | E-cargo bike layout, Size 'M': modules and disassembly scheme (credit: the Authors, 2025).



Fig. 9 | E-cargo bike layout, Size 'L': modules and disassembly scheme (credit: the Authors, 2025).



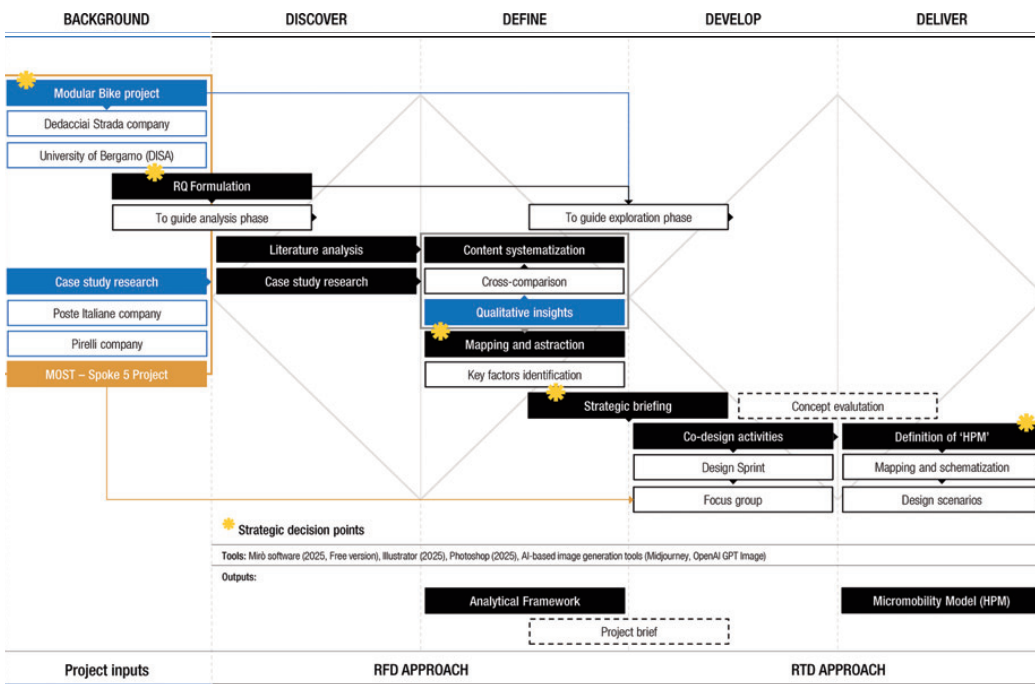


Fig. 10 | Overall workflow diagram based on the Double Diamond design thinking model. The figure illustrates the four main phases of the research process (Discover, Define, Develop, and Deliver), emphasising the relationships among analytical activities, project development, and final outputs. It shows how literature review, factor mapping, and scenario building progressively informed the systemic exploration of modular micromobility solutions (credit: the Authors, 2025).

quella discussa da Tosi et alii (2012), in cui la bicicletta pieghevole, per la sua capacità di compattarsi ed essere facilmente smontata e trasportata, è concepita come dispositivo capace di facilitare ulteriormente l'integrazione fisica e operativa con altri sistemi di trasporto. In aggiunta altre ricerche più recenti mostrano un crescente interesse per la cargo bike anche in ambiti di mobilità privata, familiare e quotidiana, evidenziandone l'elevato potenziale applicativo (Betancur, Lebeau and Macharis, 2024; Carracedo and Mostofi, 2022; Marincek, Rérat and Lurkin, 2024). Nel loro insieme tali sviluppi confermano la flessibilità del vettore ciclabile, ma mostrano anche una progressiva differenziazione in configurazioni specializzate, generalmente ottimizzate per contesti e modalità d'uso specifici.

Diversamente dai modelli di mobilità personale i sistemi di logistica urbana leggera presentano configurazioni operative più articolate, caratterizzate da relazioni multilivello tra infrastrutture, nodi logistici e vettori di distribuzione. In questi sistemi la gestione dei flussi di merci richiede il coordinamento su diverse scale territoriali, dalla distribuzione periurbana fino al punto di consegna finale.

Negli ultimi anni la rapida crescita dell'e-commerce e l'aumento delle consegne B2C (Buyer to Consumer) hanno intensificato la pressione sulle catene logistiche urbane, rendendo la distribuzione di ultimo miglio uno dei segmenti più critici dell'intero sistema distributivo. Tale segmento è infatti associato a costi operativi elevati, congestione del traffico e impatti ambientali significativi, soprattutto nei contesti urbani ad alta densità (Allen et alii, 2018; Mangiaracina et alii, 2019). In risposta a queste criticità la letteratura evidenzia il potenziale delle biciclette e delle cargo bike come strumenti per riorganizzare i modelli di distribuzione urbana delle merci.

In questa direzione sia Bachofner et alii (2022) sia de Oliveira et alii (2017) riconducono i veicoli leggeri a possibili strategie di innovazione e sostenibilità per il 'last mile' urbano, mentre Schomakers et alii (2022) mostrano, attraverso un caso applicativo, come tali logiche possano tradursi in configurazioni cargo innovative adatte a contesti urbani complessi. Tale potenziale non può tuttavia essere

letto in modo automatico: sia de Oliveira et alii (2017) sia Mangiaracina et alii (2019) mostrano come l'efficacia di tali soluzioni non dipenda soltanto dalle prestazioni del vettore, ma dalla loro integrazione entro assetti organizzativi e configurazioni di servizio adeguate.

L'adozione di tali veicoli è dunque spesso associata allo sviluppo di infrastrutture di distribuzione decentrata: in particolare, i microhub urbani (Katsela et alii, 2022; Günes et alii, 2024; Oliveira et alii, 2025) e i nanohub (Kania et alii, 2022) stanno emergendo come nodi intermedi di consolidamento in grado di ricevere flussi provenienti da centri logistici primari e redistribuirli verso le destinazioni finali mediante flotte di veicoli leggeri, in particolare cargo bike ed e-cargo bike. Queste configurazioni delineano strutture logistiche multilivello in cui le modalità di trasporto ad alta capacità collegano i centri di distribuzione ai nodi intermedi urbani, mentre i veicoli leggeri gestiscono la distribuzione capillare nel segmento finale della catena logistica. Dal punto di vista organizzativo tali sistemi sono spesso configurati secondo modelli gerarchici, come le architetture 'hub-and-spoke' o 'two-echelon', in cui nodi logistici e vettori operano in modo coordinato per ottimizzare i flussi distributivi e ridurre la presenza di veicoli pesanti nelle aree urbane più dense (Mangiaracina et alii, 2019; Stokkink and Geroliminis, 2025).

Configurazioni ibride | Tra i due domini precedentemente descritti si colloca un insieme crescente di configurazioni ibride in cui mobilità personale e logistica urbana tendono progressivamente a intersecarsi. In questi modelli i sistemi di trasporto di persone e quelli di distribuzione delle merci non operano più come infrastrutture separate immerse nel medesimo tessuto urbano, ma condividono parzialmente risorse, flussi o infrastrutture operative, generando nuove forme di organizzazione della mobilità urbana.

Una prima direzione di sviluppo riguarda i modelli logistici che sfruttano spostamenti personali non dedicati, trasformando i viaggi individuali in capacità logistica opportunistica. Buldeo Rai et alii

(2017) inquadrano questo principio nella nozione di 'crowd logistics', evidenziando come i flussi di mobilità quotidiana possano essere parzialmente riconvertiti in capacità distributiva attraverso il coinvolgimento di soggetti non professionali. Simoni et alii (2020) mostrano su un piano più applicativo come tale integrazione possa essere simulata su scala urbana attraverso diversi modelli di 'crowdshipping', nei quali la consegna si innesta su percorsi già esistenti, come quelli effettuati in auto o mediante trasporto pubblico, riducendo la necessità di viaggi dedicati. In questi casi l'ibridazione avviene dunque principalmente a livello dei flussi: ciò che muta è il significato operativo di uno spostamento personale che, in determinate condizioni, assume una funzione logistica temporanea.

Una seconda direzione riguarda invece le forme di integrazione infrastrutturale tra sistemi di mobilità e reti logistiche urbane. Shafiee et alii (2026) descrivono un sistema alternativo di ultimo miglio nel quale 'microhub' e 'crowdshipping' vengono combinati entro una struttura coordinata, facendo del nodo intermedio il punto di connessione tra vettori logistici dedicati e capacità distributiva diffusa. Stokkink and Geroliminis (2025) propongono un modello di ibridazione multimodale ancora più esplicito, in cui i trasporti con automezzi, metro e micromobilità vengono coordinati all'interno di una struttura gerarchica dell'ultimo miglio, in cui il vettore metropolitano funge quasi da 'microhub' in movimento.

In questa medesima direzione si colloca il contributo Oliveira et alii (2025), i quali descrivono una piattaforma MaaS che integra mobilità personale e distribuzione urbana attraverso l'uso combinato di micromobilità condivisa, 'crowdshipping' e una rete di 'microhub'. In questo secondo gruppo di modelli l'ibridazione non si costruisce soltanto attraverso la sovrapposizione dei flussi personali e logistici, ma anche attraverso la combinazione di nodi, reti e vettori differenti all'interno dello stesso assetto di servizio.

Pur non riferendosi sempre a configurazioni specificamente incentrate su biciclette o cargo bike, questi modelli risultano comunque rilevanti, in quan-

to rendono leggibili forme di integrazione tra mobilità personale e logistica urbana, potenzialmente riconducibili anche a logiche di micromobilità. Nel loro insieme essi evidenziano una crescente permeabilità tra i due domini e mostrano come l'ibridazione costituisca già oggi un fattore strategico-organizzativo multilivello. In questa prospettiva l'ipotesi di un vettore modulare suggerisce una direzione progettuale ulteriore, potenzialmente in grado di rafforzare tali forme di ibridazione e di estenderle attraverso le molteplici pratiche d'uso del mezzo.

Sintesi e mappatura dei fattori strategici | L'analisi comparata dei modelli di micromobilità emersi dalla letteratura e dai casi di studio ha evidenziato la ricorrenza di alcune componenti strutturali che ne definiscono l'architettura funzionale: a) nodi operativi, b) strutture relazionali di rete, c) vettori di mobilità, d) attori operativi; e) logiche di coordinamento dei flussi. Nel loro insieme questi cinque elementi descrivono le principali dimensioni attraverso cui i sistemi di micromobilità urbana prendono forma e costituiscono un quadro interpretativo utile per analizzare le differenti configurazioni di trasporto (Fig. 11).

I nodi operativi rappresentano i punti di origine, di consolidamento o di destinazione dei flussi all'interno dei sistemi di micromobilità urbana; nel caso della mobilità personale essi coincidono prevalentemente con luoghi di partenza e arrivo degli spostamenti o con nodi di interscambio (stazioni, parcheggi, ecc.). Nei sistemi logistici urbani assumono invece la forma di centri di distribuzione principali, nodi di decentramento (microhub, nanohub, ecc.) o punti di consegna diffusi nello spazio urbano. Le strutture relazionali di rete descrivono il modo in cui i nodi sono connessi, definendo la configurazione complessiva di un sistema, nonché il principio gerarchico e il supporto infrastrutturale che ne consentono il funzionamento (reti ciclabili, rete stradale, ecc.). A seconda del contesto operativo la rete può assumere forme distribuite, tipiche degli spostamenti personali peer-to-peer, oppure configurazioni multilivello come nei modelli 'hub-and-spoke' e 'two-echelon' propri della logistica urbana, ma riscontrabili anche nel dominio del trasporto personale intermodale.

Se nodi e strutture definiscono lo spazio operativo del sistema, i vettori di mobilità rappresentano i mezzi attraverso cui persone o merci si muovono al suo interno. Nel contesto della micromobilità i veicoli leggeri svolgono un ruolo centrale nel garantire connessioni capillari su scala urbana, operando sia come mezzi autonomi per spostamenti diretti sia come componenti integrative di sistemi multimodali, in interazione con veicoli tradizionali (auto, furgoni, truck, ecc.) e con soluzioni di trasporto collettivo (autobus, metro, treno, ecc.). Gli attori operativi corrispondono invece ai soggetti che utilizzano, gestiscono o coordinano tali vettori all'interno dello spazio urbano: utenti, operatori logistici, piattaforme digitali, corrieri indipendenti o gestori di servizi condivisi. In questo senso, vettori e attori costituiscono la componente dinamica del sistema, poiché rendono effettiva l'attivazione delle relazioni tra i nodi e l'operatività della rete.

Le logiche di coordinamento descrivono infine il modo in cui le relazioni tra nodi, vettori e attori vengono rese operative nel tempo; esse comprendono modelli di servizio, protocolli organizzativi e dispositivi tecnologici che regolano l'accesso, l'as-

segnazione e la gestione dei flussi, come nei sistemi di condivisione, nelle piattaforme di consegna su richiesta o nei servizi postali e logistici strutturati. In questo senso il coordinamento non riguarda soltanto la distribuzione spaziale dei movimenti, ma anche le modalità con cui il sistema organizza l'interazione tra soggetti, mezzi e funzioni.

Un modello ibrido abilitato dalla modularità | La messa in relazione tra i fattori strategici emersi dall'analisi e le caratteristiche del veicolo modulare sviluppato nell'ambito del progetto MOST-Spoke 5 ha consentito di esplorare il potenziale della modularità secondo differenti livelli di integrazione. A una prima scala il veicolo aveva infatti già mostrato la possibilità di ampliare il potenziale d'uso all'interno di modelli di micromobilità già esistenti, introducendo vantaggi incrementali legati alla smontabilità, alla maggiore adattabilità nei contesti intermodali, alle esigenze di stoccaggio e alla multifunzionalità (Rinaldi and Lagrimino, 2026).

L'esplorazione progettuale a scala sistemica ha invece evidenziato la possibilità di un salto di prospettiva, nel quale la modularità non si limita a migliorare l'adattabilità del veicolo entro modelli consolidati, ma diventa la condizione per definire una configurazione ibrida inedita tra mobilità personale e attività professionale. In questa direzione è stato elaborato un modello di 'Hybrid Professional Micromobility (HPM)', che consente di integrare gli spostamenti individuali con attività di distribuzione urbana o di servizio. L'elemento distintivo del modello risiede nel fatto che l'ibridazione non avviene soltanto a livello dei flussi, ma direttamente a livello del vettore. Il veicolo non viene quindi interpretato soltanto come un artefatto tecnico, ma come un dispositivo progettuale capace di abilitare nuove configurazioni operative all'interno dei sistemi di micromobilità urbana.

Tale passaggio risponde a una criticità ricorrente nei modelli convenzionali di mobilità leggera personale e logistica, nei quali la distinzione tra i mezzi impiegati rimane generalmente netta: un veicolo viene progettato e utilizzato per uno specifico ambito d'uso, mentre le eventuali forme di integrazione riguardano soprattutto la condivisione dei flussi o il coordinamento tra infrastrutture diverse. Nel modello qui proposto invece il vettore cessa di essere monofunzionale e diventa una piattaforma adattiva capace di assumere ruoli differenti nel corso della stessa giornata operativa grazie alle sue proprietà.

In termini generali il modello proposto può essere descritto come una sequenza articolata in tre momenti. Il primo riguarda la mobilità personale di accesso, in cui l'utente utilizza il veicolo modulare, nella sua configurazione a bicicletta o e-bike, per gli spostamenti quotidiani tra casa e il luogo di lavoro o tra diversi punti della città. Il secondo coincide con la riconfigurazione del veicolo presso un nodo operativo, come un hub logistico, una sede di servizio o un punto di appoggio urbano, in cui il mezzo viene adattato alla funzione professionale mediante la sostituzione del modulo anteriore e, se necessario, l'attivazione della componente elettrica. Il terzo riguarda infine la fase di mobilità professionale, in cui il veicolo riconfigurato viene impiegato per attività di distribuzione urbana, consegna di merci leggere o servizi di prossimità. La possibilità di compiere il percorso inverso al termine della giornata rende il sistema reversibile e potenzialmente circolare (Fig. 12).

A questa sequenza operativa corrisponde una serie di vantaggi che ridefiniscono il rapporto tra utente, veicolo, servizio e organizzazione del lavoro. In primo luogo il modello consente di superare la separazione convenzionale tra mezzo personale e mezzo professionale, introducendo una continuità d'uso tra spostamenti quotidiani e attività lavorative: uno stesso veicolo può essere così inserito in sequenze operative differenti nel corso della giornata. In questa prospettiva la modularità non incide soltanto sull'uso del mezzo, ma apre alla possibilità di ripensare anche le logiche di accesso, disponibilità e gestione del veicolo, spostando l'attenzione dalla proprietà del bene alla sua capacità di essere temporaneamente riconfigurato e integrato in sistemi di servizio differenti.

Un secondo vantaggio consiste nella possibilità di adattare la configurazione del veicolo alle effettive condizioni di servizio. La disponibilità di moduli cargo differenti per capacità e ingombro consente infatti di calibrare il mezzo in funzione del volume della merce, della natura del carico, delle caratteristiche del percorso o della frequenza di rientro al nodo logistico. Questo aspetto risulta particolarmente rilevante sia sul piano della pianificazione logistica sia su quello dell'esperienza d'uso dell'utente: trattandosi di veicoli a pedalata assistita, la distribuzione del peso, la compattezza del telaio e l'ingombro complessivo incidono in modo significativo sulla manovrabilità, sulla guidabilità e sull'efficienza operativa.

Un terzo vantaggio riguarda la gestione della flotta e dei processi di manutenzione. Nei sistemi tradizionali l'aumento dei volumi operativi o il mutamento delle esigenze di servizio comporta spesso la necessità di acquisire nuovi mezzi completi, con costi particolarmente elevati nel caso dei veicoli leggeri a pedalata assistita. In una logica modulare l'adeguamento della flotta può invece avvenire anche attraverso la sostituzione, l'integrazione o l'aggiornamento dei soli moduli funzionali, mantenendo invariata la piattaforma di base del veicolo e riutilizzando parte dei componenti esistenti. Ciò consente una gestione più progressiva e adattiva della flotta, riducendo la rigidità degli investimenti e introducendo maggiori margini di flessibilità sia nella manutenzione sia nell'evoluzione del sistema di mezzi.

Le molteplici potenziali implicazioni del modello HPM possono essere rese più evidenti attraverso due scenari esemplificativi, che mostrano come la modularità del vettore possa operare sia all'interno di sistemi logistici già strutturati sia in configurazioni più avanzate di condivisione temporanea del mezzo. Un primo scenario riguarda i servizi di consegna merci dell'ultimo miglio organizzati attraverso microhub urbani. In questo caso il veicolo modulare garantisce continuità d'uso, l'adattamento del mezzo alla missione e una maggiore flessibilità nella gestione della flotta. Il lavoratore può raggiungere il nodo logistico in configurazione bike, riconfigurare il mezzo in base al carico e al percorso di consegna e utilizzare il modulo più adatto in funzione del volume della merce, della frequenza di rientro all'hub o delle condizioni del tragitto. In questa configurazione la modularità non migliora soltanto le prestazioni del singolo mezzo, ma rende più adattabile l'organizzazione complessiva del servizio (Fig. 13).

Un secondo scenario, di carattere più prospettico, riguarda forme temporanee di integrazione tra

l'uso personale e il servizio logistico. In questa ipotesi il veicolo personale dell'utente, anziché essere semplicemente parcheggiato presso un nodo di interscambio o un microhub, può essere temporaneamente assorbito in un circuito di servizio, riconfigurato per attività logistiche leggere e successivamente restituito alla sua funzione originaria. Una simile configurazione introduce una relazione diversa tra utente, infrastruttura e servizio, aprendo nuove questioni relative alle forme di accesso, proprietà, manutenzione e disponibilità del veicolo. In questo senso la modularità non agisce soltanto come soluzione tecnica, ma anche come leva per immaginare modelli d'uso condiviso più flessibili e reversibili (Fig. 14).

Limiti dello studio, barriere e trasferibilità | Il modello HPM elaborato costituisce una configurazione concettuale sviluppata attraverso un approccio di Research through Design e non una soluzione

già validata sul campo. Il contributo ha consentito di argomentare con sufficiente coerenza la plausibilità progettuale e sistemica del modello, ma non di verificarne ancora empiricamente l'efficacia operativa, la sostenibilità organizzativa ed economica e la tenuta in contesti reali. Le relazioni tra architettura del veicolo, organizzazione del servizio e pratiche d'uso richiedono pertanto ulteriori approfondimenti attraverso sperimentazioni applicative, analisi comparative e valutazioni di impatto.

Oltre ai limiti connessi alla mancanza di validazione empirica l'implementazione del modello incontra anche alcune barriere di natura normativa, organizzativa ed economica. Tra queste rientrano: sul piano del prodotto questioni relative alla regolamentazione, alla responsabilità d'uso, all'omologazione, alla sicurezza, all'assicurazione del mezzo modulare, nonché alla definizione dei regimi di proprietà e manutenzione in contesti di uso condiviso; sul piano sistemico emergono invece criticità legate

alla necessità di infrastrutture e nodi operativi dedicati, con relative implicazioni in termini di spazio urbano, gestione operativa e sostenibilità del servizio. A tali aspetti si aggiungono possibili criticità legate all'accettazione sociale del modello e alla sua effettiva sostenibilità economica nel medio periodo.

La trasferibilità del modello appare plausibile soprattutto in contesti urbani densi, dotati di reti di prossimità, infrastrutture ciclabili, sistemi logistici decentrati o condizioni favorevoli all'intermodalità. Essa risulta invece più problematica in contesti dispersi, fortemente autocentrici o privi di nodi intermedi e di servizi di supporto, quindi il modello non può essere considerato universalmente applicabile, ma come configurazione adattabile, la cui efficacia dipende da specifiche condizioni insediative, infrastrutturali e organizzative.

SDGs, sinergie e compromessi | In relazione agli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDG) il contributo

References	Source Type		Description	Mobility / micromobility domain		
	Literature review	Case study		Personal mobility	Logistics	Hybrid
Abduljabbar, Liyanage and Dia (2021)	✓		Systematic literature review outlining the main dimensions of urban micromobility through the lenses of benefits, policy, technology, and use	✓		
Allen et alii (2018)		✓	Urban case study on London analysing the impact of e-commerce growth on last-mile delivery and its implications for light urban freight vehicles		✓	
Buldeo Rai et alii (2017)	✓		Literature review defining crowd logistics and discussing its potential as a hybrid model linking everyday mobility and freight distribution flows			✓
de Oliveira et alii (2017)	✓		Systematic literature review on sustainable vehicle alternatives for freight logistics, focusing on vehicle types, benefits, and implementation barriers		✓	
Eom, Lee and Lee (2023)		✓	Empirical case study in the Seoul / Gyeonggi metropolitan area analysing user preferences for station-based last-mile trips using shared vehicles	✓		
Güneş et alii (2024)		✓	Pilot case study in Seattle evaluating a neighbourhood microhub for last-mile deliveries with e-cargo trikes		✓	
Kania et alii (2022)		✓	Case study on Magdeburg proposing and assessing nano-hubs as a distributed alternative to microhubs for cycle-based urban last-mile freight logistics		✓	
Mangiaracina et alii (2019)	✓		Literature review on solutions for improving B2C e-commerce last-mile delivery efficiency, focusing on service and organisational variables		✓	
Marincek, Rérat and Lurkin (2024)		✓	Empirical case study on cargo-bike users in Switzerland examining motivations, barriers, and user profiles related to personal mobility	✓		
Martens (2007)		✓	Case study on Dutch bike-and-ride policies, showing how bicycles can act as intermodal access and egress vectors within public transport systems	✓		
Oliveira et alii (2025)		✓	Case study on Joinville proposing an integrated MaaS platform for passenger and freight transport via microhubs, crowdshipping and shared vehicles			✓
Shafiee et alii (2026)		✓	Scenario-based study on an alternative last-mile delivery system combining microhubs and crowdshipping as a hybrid configuration			✓
Simoni et alii (2020)		✓	Simulation-based urban case study on Rome evaluating different crowdshipping models and their impacts on traffic and last-mile operations			✓
Stokkink and Geroliminis (2025)		✓	Applied case study on Madrid identifying optimal microhub locations in a multimodal system coordinated across trucks, metro systems, and micromobility			✓
Zhang, Kasraian and van Wesemael (2023)	✓		Systematic literature review on the relationship between built environment and micromobility, focusing on nodes, links, networks, and use	✓		

Tab. 1 | Selected literature and case studies analysed in relation to source type, content focus, and main micromobility domains (credit: the Authors, 2025).

evidenza ricadute potenziali soprattutto rispetto agli SDG 9, 11, 12 e 13. I benefici più immediati riguardano l'SDG 9 (Industria, innovazione e infrastrutture), nella misura in cui la modularità applicata a biciclette e cargo bike introduce possibilità di innovazione non solo sul piano del prodotto, ma anche su quello dell'organizzazione tecnica e gestionale delle flotte: la riconfigurabilità del veicolo consente infatti di adattare il mezzo a usi differenziati, di ridurre la rigidità dei mezzi monofunzionali e di immaginare logiche di aggiornamento e manutenzione progressive basate sulla sostituzione di componenti e moduli anziché del veicolo nella sua interezza.

Ad essa si affiancano ricadute potenziali sul piano urbano e ambientale. In rapporto all'SDG 11 (Città e comunità sostenibili) il modello suggerisce infatti la possibilità di integrare in modo più stretto mobilità personale, servizi di prossimità e reti di distribuzione leggere, contribuendo alla costruzione di assetti di mobilità più flessibili, capillari e compa-

tibili con contesti ad alta densità o con tessuti urbani sensibili. In relazione all'SDG 13 (Azione per il clima) tali configurazioni possono invece tradursi, almeno in via indiretta, in una riduzione dell'impatto ambientale di alcuni segmenti della mobilità e della logistica urbana, attraverso il maggiore impiego di veicoli leggeri a basse emissioni e la possibile sostituzione di mezzi più ingombranti e impattanti in specifici segmenti di ultimo miglio.

In questo quadro l'SDG 12 (Consumo e produzione responsabile) assume un ruolo trasversale, poiché il modello proposto intercetta il tema dell'uso responsabile delle risorse lungo l'intero ciclo di vita del prodotto che va dalla produzione del veicolo alla sua gestione d'uso, fino alla configurazione sistemica dei servizi di mobilità e logistica. Infatti la modularità non incide soltanto sulle modalità di progettazione e aggiornamento del mezzo, ma suggerisce anche forme potenzialmente più razionali di impiego dei veicoli, di organizzazione delle fun-

zioni e di distribuzione delle risorse materiali, energetiche e operative, riducendo la rigidità tra mezzi, usi e servizi. Tali ricadute non devono tuttavia essere assunte automaticamente né in modo lineare. Il modello HPM apre infatti anche a possibili compromessi e criticità, relativi sia alla sostenibilità dei servizi proposti sia alle condizioni materiali e organizzative della loro gestione; a ciò si aggiunge il rischio di effetti indiretti non necessariamente coerenti con i benefici attesi dal modello. In questo senso le sinergie tra gli SDG 9, 11, 12 e 13 appaiono plausibili, ma dipendono da condizioni di implementazione, regolazione e gestione che il contributo, per la sua natura esplorativa, non consente ancora di verificare empiricamente.

Conclusioni | La ricerca ha esplorato il potenziale della modularità come leva progettuale capace di mettere in relazione la mobilità personale e la logistica urbana leggera, prendendo come punto di

References	Strategic factors				
	Operational nodes	Network structure	Mobility vectors	Operational actors	Coordination logics
Abduljabbar, Liyanage and Dia (2021)	first / last-mile access nodes	multimodal networks, first / last-mile links	light vehicles for short trips	users, operators and regulators	policy, governance and service logics
Allen et alii (2018)	depots, lockers and delivery nodes	distributed and congested last-mile network	light urban freight vehicles and alternative delivery vectors	carriers, customers and city actors	routing, delivery windows and service coordination
Buldeo Rai et alii (2017)	pick-up points, delivery points, and service locations	people-freight flows, detour-based links	cars, bikes, and public transport	receivers, platforms, providers, and crowd participants	matching, incentives, trust, and task management
de Oliveira et alii (2017)	consolidation centres, deconsolidation nodes	multilevel last-mile delivery structure	bicycles, tricycles, motorcycles, and EVs	operators, customers, and urban authorities	restrictions, charging, consolidation, and vehicle mix
Eom, Lee and Lee (2023)	metro stations as interchange nodes	metro access links, first / last-mile structure	walking, shared bikes, e-scooters	users by age, income, and household profile	transit integration, access, fares, and MaaS
Güneş et alii (2024)	microhub, storage, charging, and transfer points	multilevel depot-to-last-mile structure	cargo vans, e-cargo tricycles	operators, researchers, authorities, and stakeholders	routing, replenishment, collaboration, and scaling
Kania et alii (2022)	microhubs, nano-hubs, transfer points	multimodal and multilevel delivery structure	diesel vans, cargo bikes, swap bodies	providers, experts, authorities, and residents	transshipment, restocking, and node location
Mangiaracina et alii (2019)	parcel lockers, alternative delivery points	B2C delivery network configuration	limited focus on delivery vectors	customers, operators, delivery actors	failed deliveries, pricing, and automation
Marincek, Rérat and Lurkin (2024)	parking, bike storage, rental points	cycling infrastructure and street conditions	cargo bikes, e-cargo bikes, sharing, and ownership	owners, families, sharing operators, and multimodal users	access, booking, sharing, and parking conditions
Martens (2007)	stations, bus stops, bike parking, lockers	cycling-transit access and egress structure	bicycles, trains, buses, trams, and metro	public transport users and institutional actors	parking, rental systems, and policy measures
Oliveira et alii (2025)	parking zones, bus stops, microhubs, DCs	integrated passenger-freight service network	e-bikes, e-scooters, EVs, and public transport	MaaS users, public transport users, crowdshippers, and carriers	delivery assignment, shared use, and payment
Shafiee et alii (2026)	microhubs as transfer and consolidation nodes	two-echelon delivery structure, service zones	trucks and bicycles	operators, crowdshippers, senders, and receivers	synchronisation, inventory, and split loads
Simoni et alii (2020)	pick-up stations, depots, transit stops	urban crowdshipping and transit network	delivery trucks, cars, and public transport	carriers, crowdshippers, customers, and authorities	matching, detours, parking, and tour organisation
Stokkink and Geroliminis (2025)	microhubs, warehouses, metro depots, and stops	three-stage multimodal delivery structure	trucks, metro systems, micromobility, and cargo bikes	operators and dedicated drivers	allocation, hub location, and cross-stage coordination
Zhang, Kasraian and van Wesemael (2023)	docking stations, parking areas, pick-up points	node-link-network spatial structure	shared bikes, e-bikes, and e-scooters	users, operators, and public authorities	policy and design recommendations

Legend: ■ low, ■ medium, ■ high relevance

Tab. 2 | Comparative mapping of the five strategic factors emerging from the selected references (credit: the Authors, 2025).

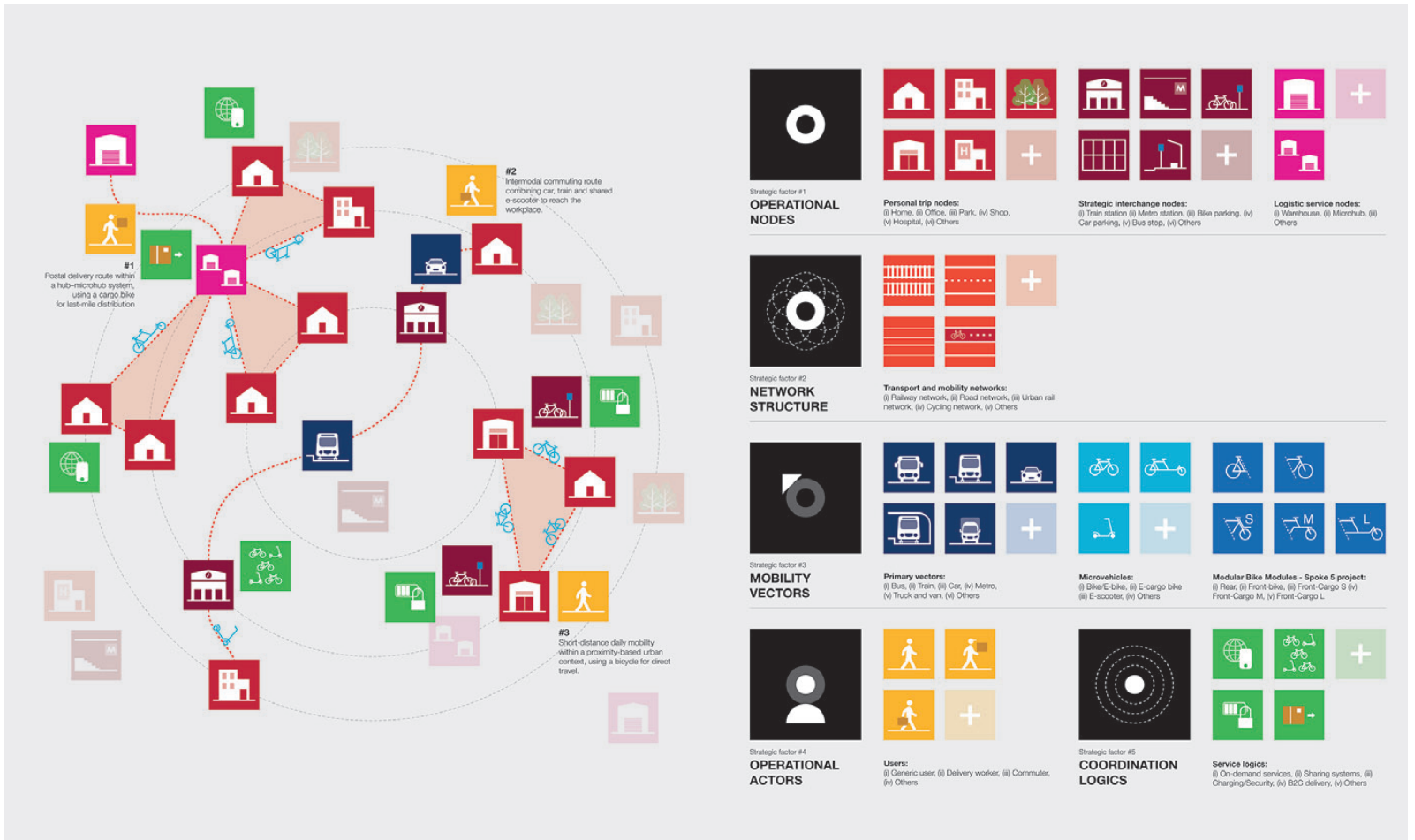


Fig. 11 | Strategic factors and a schematic visualisation of urban micromobility models. The figure presents, on the right, the set of recurring strategic factors identified through the comparative analysis – operational nodes, network structure, mobility vectors, operational actors, and coordination logics – and, on the left, a schematic visualisation that systematises these factors into simplified urban micromobility models. The diagram offers an initial synthetic representation of how these factors can be combined to interpret personal mobility, light urban logistics, and hybrid configurations within an urban system (credit: the Authors, 2025).

partenza un veicolo riconfigurabile sviluppato nell'ambito del progetto MOST-Spoke 5. In coerenza con gli orientamenti più recenti della letteratura, che interpretano la micromobilità non soltanto come insieme di vettori leggeri, ma come sistema composto da infrastrutture, servizi, attori e logiche organizzative, i risultati mostrano come la modularità possa estendere i propri effetti dalla scala del prodotto a quella del sistema. In questa prospettiva il principale contributo dello studio consiste nell'aver messo in relazione la riconfigurabilità del mezzo con l'architettura dei modelli di micromobilità urbana, mostrando il potenziale della modularità come leva per l'implementazione e l'ibridazione della mobilità personale e della logistica di prossimità.

Nel loro insieme gli esiti descritti consentono di formulare una risposta articolata alle tre domande di ricerca poste in apertura del contributo, evidenziando tre risultati principali: 1) l'individuazione di fattori strutturali ricorrenti nei modelli di micromobilità urbana per il trasporto di persone e merci; 2) il riconoscimento del potenziale della modularità nel generare vantaggi operativi e funzionali nelle diverse fasi d'uso del veicolo; 3) la possibilità che tali proprietà concorrano ad abilitare configurazioni ibride di servizio tra mobilità personale e logistica urbana.

A partire da tali esiti il primo risultato consiste nella costruzione di un quadro interpretativo fondato su cinque fattori ricorrenti, che consente di leggere in modo trasversale configurazioni differenti di micromobilità urbana. In questo senso es-

so non assume soltanto una funzione descrittiva, ma si configura anche come strumento analitico e operativo, utile sia per confrontare modelli esistenti sia per orientare successive esplorazioni progettuali relative agli assetti sistemici della mobilità urbana (Fig. 11).

Il secondo risultato riguarda il modello 'Hybrid Professional Micromobility' (HPM), attraverso il quale sul piano progettuale viene esplorato il ruolo della modularità nell'integrazione tra mobilità personale e logistica urbana. Il modello consente infatti di ipotizzare una configurazione ibrida di servizio in cui lo stesso veicolo, all'interno di una piattaforma condivisa e reversibile, può assumere funzioni differenti in relazione alle diverse fasi d'uso. Con questo assetto diventano leggibili anche i vantaggi più direttamente riferibili all'operatività del mezzo: nella mobilità personale una maggiore adattabilità e flessibilità d'impiego; nella fase logistica, una migliore calibrazione rispetto al carico, alla missione operativa e ai vincoli di percorso, con ricadute anche sullo stoccaggio, sulla manutenzione e sulla gestione della flotta (Figg. 12-14).

Contemporary urban mobility is required to address complex environmental, social, and economic challenges that demand the adoption of innovative, sustainable, intelligent, flexible, and inclusive paradigms (Bruno et alii, 2024; European Commis-

sion, 2019). Within this context, micromobility represents a strategic component of urban transport systems (Abduljabbar, Liyanage and Dia, 2021): light vehicles, including bicycles and cargo bikes, constitute low-energy and low-emission solutions, particularly effective at the local scale, in contexts characterised by infrastructural constraints, functional proximity, and high density (Arias-Molinares et alii, 2023; Buehler and Pucher, 2021; Eom, Lee and Lee, 2023). Precisely because of these properties, the effects of micromobility are not only measurable in environmental terms, but also in social and economic ones: it contributes to reducing dependence on traditional motorised vehicles, making urban services more accessible and distribution models more efficient, and promoting healthier forms of active mobility (Abduljabbar, Liyanage and Dia, 2021; Martens, 2007; Van Cauwenberg et alii, 2019).

The debate on urban micromobility has developed predominantly from a systemic perspective, focusing on infrastructure planning, service models, regulation, and the construction of integrated mobility ecosystems. From this viewpoint, micromobility is interpreted as a collective and interconnected system in which infrastructures, services, and technologies contribute to defining multimodal and adaptive configurations (Canessa and Centanaro, 2024; Fabbri, 2023; Luo, Li and Hampshire, 2021; Sommariva and Canessa, 2024). Alongside this perspective, however, it is also necessary

to consider the scale of the product, understood as an enabling design level in which technical and technological solutions can act as bottom-up levers capable of influencing urban mobility models (La Regina et alii, 2025; Schomakers et alii, 2022). It is in this direction that the research developed within the National Centre for Sustainable Mobility¹ (Spoke 5 – Light Vehicle and Active Mobility; Work Package 2.1 – Vehicle Design, Materials and LCA) is positioned, focusing on the design and prototyping of bicycles and cargo bikes and on the exploration of modularity as a strategic lever for innovation (Rinaldi and Lagrimino, 2026).

In the cycling sector, the modular principle finds a particularly mature field of application: a large proportion of bicycle components is governed by international technical standards that have been consolidated over decades, making this domain one of the longest-standing examples of modular interoperability in product design (Galvin and Morke, 2001). This tradition of standardisation and composability suggests a clear extension in scale: if modularity structures the vehicle's technical architecture, it also serves as a strategic lever to influence production, distribution, and usage configurations. In this direction, the reflection by Pietroni, Di Stefano and Galloppo (2023) highlights the transition from a logic of making to unmake to one of making to remake, according to which modularity assumes a dual value: on the one hand, a technical-design device for developing flexible and configurable products; on the other, an organisational model capable of influencing industrial processes, supply chains, and business models.

This dual nature can also be interpreted through the theoretical model proposed by Carliss Y. Baldwin and Kim B. Clark (1994), which distinguishes three interconnected levels of modularity: Modularity in Design (MiD), Modularity in Production (MiP), and Modularity in Use (MiU). From this perspective, modularity is not limited to the technical decomposition of an artefact (MiD), but is configured as a design principle that relates the product's structure to the organisation of production (MiP) and usage practices (MiU). In other words, as also observed by Tamborini and Cretai (2023), the module acquires meaning not as an isolated element, but through the relationships it establishes within a broader, adaptive system, thus extending modularity from the scale of the artefact to that of the system.

These assumptions have been applied in the development of a 4-in-1 light vehicle (Fig. 1-4) conceived within the MOST-Spoke 5 project. The vehicle was designed as a reconfigurable system based on independent structural modules (Fig. 5), connected through reversible joints that allow the transition from a standard bicycle (or e-bike) to a cargo bike with three different load capacities (Fig. 6-9). Within this design context, the research explored the constructive, functional, and operational implications of the vehicle, hypothesising that its modular architecture could influence both usage practices and the management of production processes (Rinaldi and Lagrimino, 2026).

The results obtained confirm the coherence of the approach at the product scale and open up a reflection on its possible implications at the systemic level. The possibility of alternating between different configurations does not merely represent a functional extension of the vehicle, but suggests

new operational opportunities to be integrated into scenarios of personal mobility and urban logistics. Taking the modular vehicle as a starting point, the exploratory and design activities described in this contribution were therefore guided by the following research questions: a) What recurring factors and structural components characterise urban micromobility models for the transport of people and goods? b) How can a modular vehicle be integrated into existing models of urban micromobility, and what operational opportunities can it generate within such configurations? c) To what extent can modularity enable hybrid configurations capable of integrating personal mobility and urban logistics within a shared platform?

In light of these premises, the contribution aims to explore the potential of modularity as a design lever capable of linking personal mobility and light urban logistics. The paper is structured in two main stages: the first, analytical and interpretative in nature, is aimed at identifying the recurring factors that characterise urban micromobility models and defining an interpretative framework; the second, exploratory and design-oriented, relates this framework to the reconfigurable architecture of the modular vehicle taken as the starting case, in order to develop possible hybrid scenarios between personal use and professional activity.

The scientific relevance of the contribution lies in connecting the scale of the product to that of the system, showing how a bottom-up approach, based on the vehicle's reconfigurability, can contribute to rethinking the operational relationships between personal mobility and proximity logistics. The research hypothesis is that the vehicle's reconfigurability, in addition to expanding its flexibility of use, may serve as a generative design device for new hybrid configurations between everyday mobility and urban services, with significant implications at the design, organisational, and systemic levels.

Methodology | The experiences developed within the context of the MOST project contributed, on the one hand, to the development of the modular vehicle by defining research questions and objectives, and, on the other, supported collaboration with academic and industrial partners (University of Bergamo, DISA and DIGIP; University of Florence, DIFE; Poste Italiane and Pirelli), as well as other stakeholders (Dedacciai Strada), who provided empirical, theoretical, and applied references useful for framing the themes of personal micromobility and urban logistics, as well as offering a testing ground for design validation.

The research was structured according to a Design Thinking approach, articulated through the Double Diamond model in four stages: Discover, Define, Develop, and Deliver (Fig. 10). The model combines an initial sequence of exploration and analytical synthesis aimed at defining the problem and constructing the interpretative framework, with a second sequence of exploration and design synthesis oriented towards the development and formalisation of possible strategic solutions (Viviani et alii, 2024), thus integrating approaches of Research for Design and Research through Design (Archer, 1995; Jonas, 2015). The first phase, Discover, was dedicated to collecting and organising initial materials to describe the main micromobility models for passenger and freight transport. The construction of the analytical corpus did not follow a logic of ex-

haustiveness or statistical representativeness, but rather a qualitative, purposive selection of sources (Gerring, 2006), defined by their relevance to the research questions. To this end, two main types of contribution were selected from the scientific literature (Tab. 1): literature reviews addressing specific themes of micromobility (number of contributions: 5), and case studies relating to theoretical or operational micromobility models (number of contributions: 10).

For the first category, contributions were prioritised that were capable of: a) synthesising the state of the debate on urban micromobility, personal mobility, intermodality, light urban logistics, and hybrid configurations; b) critically presenting the main recurring configurations within the sector; c) providing a framework useful for identifying patterns and recurring factors. For the second category, case studies were selected that were capable of: a) representing explicit and recognisable micromobility models; b) describing, in sufficient detail, the vehicle, service, or operational configuration; c) making visible the usage requirements, service conditions, and organisational logics useful for subsequent qualitative comparison.

The subsequent phase, Define, was dedicated to systematising the collected sources. The different categories of contributions were subjected to a comparative reading aimed at identifying the elements useful for describing the functioning of the various micromobility models. These elements were subsequently organised iteratively, according to semantic and functional affinities, through visual mapping and clustering activities carried out on the Miro platform². This process of qualitative abstraction led to the identification of five recurring structural components (Tab. 2), which were subsequently adopted as factors in the development of an interpretative framework.

Building on the insights that emerged, the Develop phase introduced the specifically design-oriented dimension of the research: strategic factors and vehicle modularity were brought into relation to explore possible systemic reconfigurations generated by the interaction between existing micromobility configurations and the new opportunities offered by the vehicle's modular nature.

Operationally, this phase was structured into two main moments: i) an initial activity of generation and discussion of design hypotheses, aimed at exploring possible innovative and/or hybrid models, developed through a Design Sprint session (Rinaldi, Busciantella-Ricci and Viviani, 2024; Knapp, Zeratsky and Kowitz, 2022), coordinated by the researchers of IDEE Lab at the University of Florence and conducted with the involvement of early-career and professional designers (8 participants); ii) a subsequent activity of comparison and selection through a focus group with MOST partners (5 participants), aimed at discussing the emerging hypotheses and collecting preliminary technical evaluations of their feasibility, useful for guiding the selection of the proposals considered most promising in terms of innovativeness and feasibility.

Finally, the Deliver phase focused on formalising the outcomes of the design exploration into systemic models and design scenarios. The outcomes were presented through conceptual maps and storyboards, which were considered distinct yet complementary tools. Conceptual maps were used to synthesise the interpretative framework

emerging from the analytical phase and to formalise the hybrid micromobility model developed during the design phase. Storyboards, on the other hand, were developed to represent some possible usage scenarios within the proposed model, illustrating in sequential form the actors, operational steps, interactions, and service flows. These scenarios do not represent validated operational solutions but rather conceptual configurations developed as design investigation tools, useful for exploring possible ways to activate the modular vehicle within the hypothesised system. The storyboards were produced with the support of image-generation artificial intelligence software.

Urban micromobility models | The analysis of existing urban micromobility models has highlighted two main operational domains: personal mobility and light urban logistics. Within the domain of personal mobility, micromobility emerges from two complementary perspectives: on the one hand, as highlighted by Abduljabbar, Liyanage and Dia (2021), it is interpreted in relation to the potential of light vehicles to enable new mobility opportunities; on the other, as shown by Zhang, Kasraian and van Wesemael (2023), such opportunities are closely dependent on the characteristics of the built environment.

In both perspectives, micromobility is predominantly configured as a system of point-to-point connections between origin and destination, aimed at both ensuring continuity of movement over short distances and integrating first- and last-mile segments with public transport infrastructures or other strategic nodes (Abduljabbar, Liyanage and Dia, 2021; Arias-Molinares et alii, 2023; Eom, Lee and Lee, 2023). In the first case, light vehicles are primarily used for relatively linear individual journeys, organised around user needs and the requirement to connect residential areas with proximity services (Zhang, Kasraian and van Wesemael, 2023). In the second case, micromobility is increasingly significant for intermodal connections along medium- to long-distance routes. Several studies show how it contributes to expanding the accessibility catchment area of public transport stations, improving the continuity of the urban mobility system and supporting integrated mobility configurations (Abduljabbar, Liyanage and Dia, 2021; Oeschger, Caulfield and Carroll, 2025). The integration between light vehicles and collective transport enables stations to extend their 'area of influence' and reduces spatial discontinuities between mobility infrastructures and the dispersed urban fabric (Luo, Li and Hampshire, 2021).

In relation to these operational conditions, bicycles and cargo bikes emerge as particularly relevant vehicles for urban micromobility, thanks to their structural simplicity, manoeuvrability, and reduced infrastructural requirements, which favour their use in dense urban contexts and in proximity connections (Pucher and Buehler, 2012). The literature shows how these vehicles have progressively taken on differentiated roles within personal mobility models: numerous studies highlight the effectiveness of the bicycle as an intermodal connector, particularly in bike-and-ride systems and, more generally, in configurations that integrate cycling mobility with collective transport (Martens, 2007; Oeschger, Caulfield and Carroll, 2025). In this same direction, some design experiences re-

lating to personal vehicles, such as that discussed by Tosi et alii (2012), demonstrate how the folding bicycle, due to its compactness and ease of disassembly and transport, can function as a device that further facilitates physical and operational integration with other transport systems. In addition, more recent research shows growing interest in cargo bikes for private, family, and everyday mobility, highlighting their significant application potential (Betancur, Lebeau, and Macharis, 2024; Carracedo and Mostofi, 2022; Marincek, Rérat, and Lurkin, 2024).

Taken together, these developments confirm the bicycle's flexibility as a mobility vector, while also revealing progressive differentiation into specialised configurations, generally optimised for specific contexts and modes of use.

Unlike personal mobility models, light urban logistics systems present more complex operational configurations, characterised by multi-level relationships between infrastructures, logistics nodes, and distribution vectors. Within these systems, the management of goods flows requires coordination across different territorial scales, from peri-urban distribution to the final delivery point.

In recent years, the rapid growth of e-commerce and the increase in B2C (Business-to-Consumer) deliveries have intensified pressure on urban logistics chains, making last-mile distribution one of the most critical segments of the entire distribution system. This segment is associated with high operational costs, traffic congestion, and significant environmental impacts, particularly in high-density urban contexts (Allen et alii, 2018; Mangiaracina et alii, 2019). In response to these challenges, the literature highlights the potential of bicycles and cargo bikes as tools for reorganising urban freight distribution models.

In this direction, both Bachofner et alii (2022) and de Oliveira et alii (2017) frame light vehicles as possible strategies for innovation and sustainability in the urban last mile, while Schomakers et alii (2022) demonstrate, through an applied case study, how these approaches can translate into innovative cargo configurations suited to complex urban contexts. However, this potential cannot be interpreted automatically: both de Oliveira et alii (2017) and Mangiaracina et alii (2019) show that the effectiveness of such solutions does not depend solely on the performance of the vehicle, but on their integration within appropriate organisational structures and service configurations.

The adoption of such solutions is therefore often associated with the development of decentralised distribution infrastructures. In particular, urban microhubs (Katsela et alii, 2022; Günes et alii, 2024; Oliveira et alii, 2025) and nanohubs (Kania et alii, 2022) are emerging as intermediate consolidation nodes capable of receiving flows from primary logistics centres and redistributing them towards final destinations through fleets of light vehicles, particularly cargo bikes and e-cargo bikes. These configurations outline multi-level logistics structures in which high-capacity transport modes connect distribution centres to urban intermediate nodes. At the same time, light vehicles manage the fine-grained distribution in the final segment of the logistics chain. From an organisational perspective, these systems are often configured according to hierarchical models such as hub-and-spoke or two-echelon architectures, in which logistics nodes

and transport vectors operate in a coordinated manner to optimise distribution flows and reduce the presence of heavy vehicles in the most densely populated urban areas (Mangiaracina et alii, 2019; Stokkink and Geroliminis, 2025).

Hybrid configurations | Between the two domains described above lies a growing set of hybrid configurations in which personal mobility and urban logistics increasingly intersect. In these models, systems for transporting people and those for distributing goods no longer operate as separate infrastructures embedded within the same urban fabric, but instead partially share resources, flows, or operational infrastructures, generating new forms of organisation of urban mobility.

A first direction of development concerns logistics models that exploit non-dedicated personal movements, transforming individual journeys into opportunistic logistics capacity. Buldeo Rai et alii (2017) frame this principle within the notion of crowd logistics, highlighting how everyday mobility flows can be partially converted into distribution capacity through the involvement of non-professional actors. Simoni et alii (2020) demonstrate, on a more applied level, how this integration can be simulated at the urban scale through various crowdshipping models, in which delivery activities are integrated into already existing routes, such as those carried out by car or public transport, thereby reducing the need for dedicated trips. In these cases, hybridisation occurs primarily at the level of flows: what changes is the operational meaning of a personal journey, which, under certain conditions, takes on a temporary logistics function.

A second direction concerns forms of infrastructural integration between mobility systems and urban logistics networks. Shafiee et alii (2026) describe an alternative last-mile system that combines microhubs and crowdshipping within a coordinated structure, making the intermediate node the point of connection between dedicated logistics vectors and distributed delivery capacity. Stokkink and Geroliminis (2025) propose an even more explicit model of multimodal hybridisation, in which transport by road vehicles, metro systems, and micromobility is coordinated within a hierarchical last-mile structure, in which the metro system functions almost as a moving microhub. In the same direction, Oliveira et alii (2025) describe a MaaS (Mobility as a Service) platform that integrates personal mobility and urban distribution through the combined use of shared micromobility, crowdshipping, and a network of microhubs. In this second group of models, hybridisation is not constructed solely through the overlap of personal and logistics flows, but also through the combination of nodes, networks, and different transport vectors within the same service configuration.

Although these models do not always refer specifically to configurations centred on bicycles or cargo bikes, they remain highly relevant, as they make visible forms of integration between personal mobility and urban logistics that can potentially be interpreted within micromobility frameworks. Taken together, they highlight a growing permeability between the two domains and show how hybridisation already constitutes a multi-level strategic and organisational factor. From this perspective, the hypothesis of a modular vehicle suggests a further design direction, capable of strengthening these

forms of hybridisation and extending them across the vehicle's multiple usage practices.

Synthesis and mapping of strategic factors |

The comparative analysis of micromobility models emerging from the literature and case studies has highlighted the recurrence of certain structural components that define their functional architecture: a) operational nodes, b) relational network structures, c) mobility vectors, d) operational actors, e) flow coordination logics. Taken together, these five elements describe the main dimensions through which urban micromobility systems take shape and constitute an interpretative framework useful for analysing different transport configurations (Fig. 11).

Operational nodes represent the points of origin, consolidation, or destination of flows within micromobility systems. In the case of personal mobility, they predominantly correspond to departure and arrival locations or interchange nodes (stations, parking areas, etc.). In urban logistics systems, on the other hand, they take the form of primary distribution centres, decentralised nodes (microhubs, nanohubs, etc.), or delivery points distributed across the urban space. Relational network structures describe how nodes are connected, defining the overall configuration of a system, as well as the hierarchical principle and infrastructural support that enable its functioning (cycling networks, road networks, etc.). Depending on the operational context, the network may take distributed forms, typical of peer-to-peer personal mobility, or multi-level configurations, as in hub-and-spoke and two-echelon models characteristic of urban logistics, but also observable in intermodal personal transport systems.

If nodes and structures define the system's operational space, mobility vectors represent the means by which people or goods move within it. In the context of micromobility, light vehicles play a central role in ensuring fine-grained connections at the urban scale, operating both as autonomous means for direct journeys and as integrative components of multimodal systems, in interaction with traditional vehicles (cars, vans, trucks, etc.) and collective transport solutions (buses, metro, trains, etc.). Operational actors correspond to the subjects who use, manage, or coordinate these vectors within the urban space: users, logistics operators, digital platforms, independent couriers, or shared mobility service providers. In this sense, vectors and actors constitute the dynamic component of the system, enabling the activation of relationships between nodes and the network's operational functioning.

Finally, flow coordination logics describe how the relationships among nodes, vectors, and actors are operationalised over time. These include service models, organisational protocols, and technological devices that regulate access, allocation, and management of flows, such as sharing systems, on-demand delivery platforms, and structured postal and logistics services. In this sense, coordination concerns not only the spatial distribution of movements but also how the system organises interaction among subjects, vehicles, and functions.

A hybrid model enabled by modularity | The relationship established between the strategic fac-

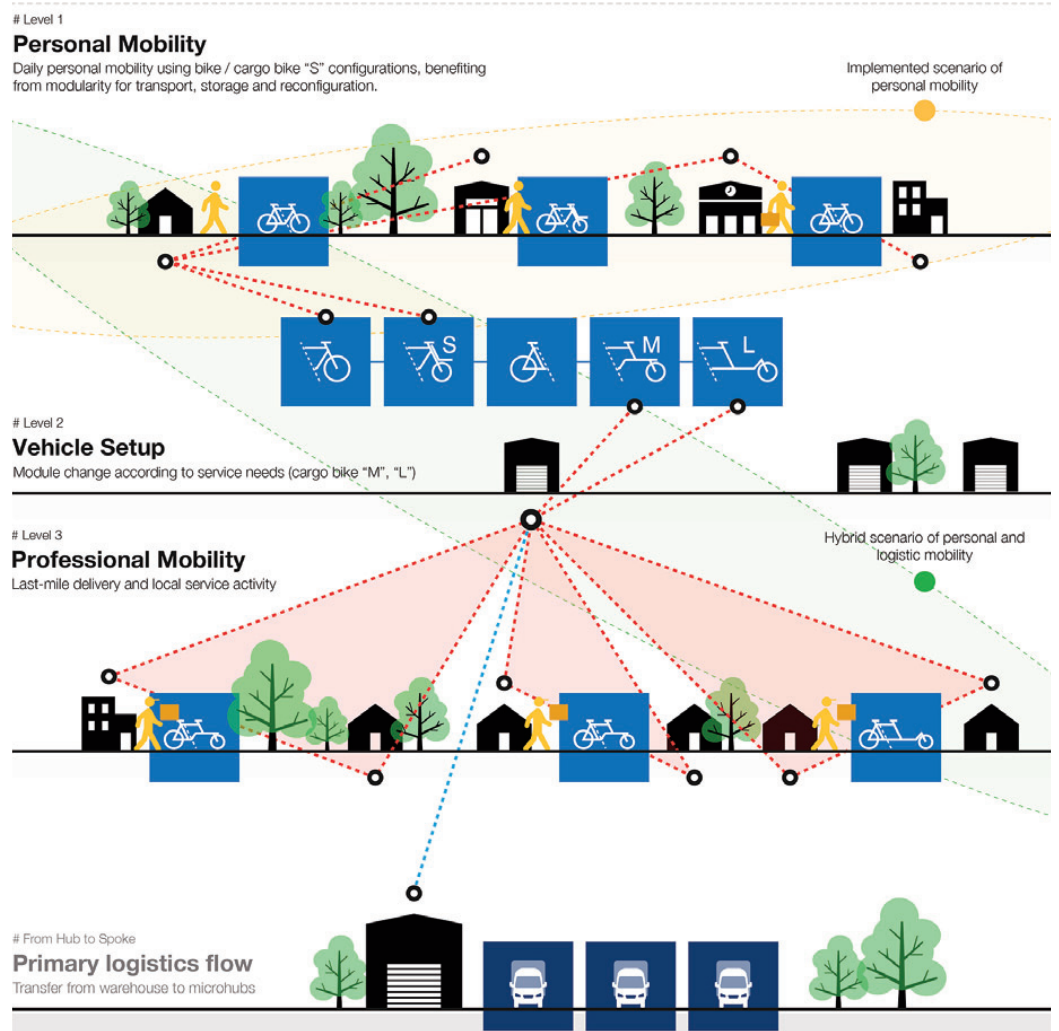


Fig. 12 | Diagram of the Hybrid Professional Micromobility (HPM) model. The figure illustrates the three main stages of the proposed operational sequence: personal access mobility, vehicle reconfiguration at an operational node, and professional mobility for delivery or service activities (credit: the Authors, 2025).

tors identified in the analysis and the characteristics of the modular vehicle developed within the MOST-Spoke 5 project enabled exploration of modularity across different levels of integration. At an initial level, the vehicle had already demonstrated the potential to expand its range of uses within existing micromobility models, introducing incremental advantages in ease of disassembly, adaptability in intermodal contexts, reduced storage requirements, and multifunctionality (Rinaldi and Lagrimino, 2026).

Exploratory design work at the systemic scale, however, highlighted the possibility of a shift in perspective, in which modularity is no longer limited to improving the adaptability of the vehicle within established models, but becomes the enabling condition for defining a novel hybrid configuration between personal mobility and professional activity. In this regard, a model of Hybrid Professional Micromobility (HPM) was developed, enabling the integration of individual mobility with urban distribution or service activities. The distinctive feature of the model is that hybridisation does not occur solely at the level of flows but also directly at the level of the vehicle. The vehicle is therefore not interpreted merely as a technical artefact, but as a design device capable of enabling new operational configurations within urban micromobility systems. This shift responds to a recurring limitation in

conventional models of personal light mobility and logistics, in which the distinction between the vehicles used generally remains clear-cut: a vehicle is designed and used for a specific application domain, while any forms of integration mainly concern the sharing of flows or coordination between different infrastructures. In the model proposed here, by contrast, the vehicle ceases to be monofunctional and becomes an adaptive platform capable of assuming different roles throughout the same working day, thanks to its modular design.

In general terms, the proposed model can be described as a sequence structured into three stages. The first concerns personal access mobility, in which the user uses the modular vehicle in its bicycle or e-bike configuration for daily movement between home and the workplace or between different points within the city. The second stage coincides with the vehicle's reconfiguration at an operational node, such as a logistics hub, service facility, or urban support point, where the vehicle is adapted to its professional function by replacing the front module and, where necessary, activating the electric component. The third stage concerns professional mobility, in which the reconfigured vehicle is used for urban distribution activities, light goods delivery, or proximity services. The possibility of reversing this sequence at the end of the day makes the system reversible and potentially



Fig. 13 | Scenario 1: last-mile delivery service organised through an urban microhub. The diagram illustrates how the modular vehicle can support continuity between personal commuting and professional use by adapting its cargo configuration to delivery conditions, route requirements, and service organisation: daily commute to the logistics microhub in bicycle mode; arrival at the microhub and preparation for delivery activities; bicycle disassembly and installation of the cargo module; parcel loading and route planning at the microhub; departure for last-mile distribution operations; parcel delivery within the urban service area; return to the microhub for bicycle reconfiguration and cargo module removal; return journey home in bicycle mode (credit: the Authors, 2025).

circular (Fig. 12). This operational sequence corresponds to a series of advantages that redefine the relationship between user, vehicle, service, and work organisation. Firstly, the model makes it possible to overcome the conventional separation between personal and professional vehicles, introducing continuity of use between everyday mobility and work-related activities: the same vehicle can thus be incorporated into different operational sequences throughout the day. From this perspective, modularity not only affects the use of the vehicle but also opens up the possibility of rethinking the logics of access, availability, and management, shifting the focus from ownership of the asset to its capacity to be temporarily reconfigured and integrated into different service systems.

A second advantage lies in the ability to adapt the vehicle configuration to actual service conditions. The availability of different cargo modules, varying in capacity and size, allows the vehicle to be calibrated in relation to the volume of goods, the nature of the load, route characteristics, or the frequency of return to the logistics node. This aspect is particularly relevant both for logistics planning and

user experience, as these are pedal-assisted vehicles: weight distribution, frame compactness, and overall dimensions significantly affect manoeuvrability, ease of handling, and operational efficiency.

A third advantage concerns fleet management and maintenance processes. In traditional systems, increases in operational volumes or changes in service requirements often require the acquisition of entirely new vehicles, with particularly high costs for pedal-assisted light vehicles. Within a modular logic, however, fleet adaptation can also occur through the replacement, integration, or upgrading of individual functional modules, while maintaining the vehicle's base platform and reusing existing components. This enables a more gradual, adaptive approach to fleet management, reducing investment rigidity and introducing greater flexibility in both maintenance and the evolution of the vehicle system.

The multiple potential implications of the HPM model can be further clarified through two illustrative scenarios that demonstrate how vehicle modularity can operate within both existing logistics sys-

tems and more advanced configurations of temporary vehicle sharing.

A first scenario concerns last-mile delivery services organised through urban microhubs. In this case, the modular vehicle ensures continuity of use, adaptation of the vehicle to the mission, and greater flexibility in fleet management. The worker can reach the logistics node in its bicycle configuration, reconfigure the vehicle according to the load and delivery route, and use the most appropriate module depending on the volume of goods, frequency of return to the hub, or route conditions. In this configuration, modularity not only improves the performance of the individual vehicle but also makes the overall service organisation more adaptable (Fig. 13).

A second scenario, more prospective in nature, concerns temporary forms of integration between personal use and logistics services. In this case, the user's personal vehicle, rather than simply being parked at an interchange node or microhub, can be temporarily incorporated into a service system, reconfigured for light logistics activities, and subsequently returned to its original func-



Fig. 14 | Scenario 2: temporary integration between personal mobility and logistics services. The figure explores a prospective scenario in which a personal vehicle, instead of remaining parked and unused, is temporarily integrated into a logistics service, reconfigured for light delivery activities, and later returned to its original function. The scenario highlights the potential implications of modularity for access, ownership, service integration, and shared-use models: daily commute to the logistics microhub in personal bicycle mode, where the commuter leaves the bike before going to work and the microhub provides charging, maintenance, secure storage, and temporary integration into the local logistics network; arrival of a logistics operator at the microhub to start a shift of on-demand urban deliveries, with the bike reconfigured by the microhub operator using the cargo 'S' module for small parcel transport, temporarily becoming part of the neighbourhood delivery service; subsequent reconfiguration of the same bike with the cargo 'L' module for transporting heavier goods; evening return of the owner to the microhub to retrieve the bicycle, restored to its personal configuration with a charged battery and basic maintenance completed, before riding home (credit: the Authors, 2025).

tion. Such a configuration introduces a different relationship between user, infrastructure, and service, raising new questions regarding access, ownership, maintenance, and vehicle availability. In this sense, modularity acts not only as a technical solution, but also as a lever for imagining more flexible and reversible shared-use models (Fig. 14).

Study limitations, barriers, and transferability

| The HPM model developed represents a conceptual configuration produced through a Research through Design approach and does not constitute a solution already validated in real-world conditions. The contribution has made it possible to argue, with sufficient coherence, the design and systemic plausibility of the model; however, it has not yet allowed for empirical verification of its operational effectiveness, organisational and economic sustainability, or robustness within real contexts. The relationships between vehicle architecture, service organisation, and usage practices therefore require further investigation through applied experimentation, comparative analysis, and impact assessment.

In addition to the limitations related to the lack of empirical validation, the implementation of the model also encounters several barriers of a regulatory, organisational, and economic nature. These include, at the product level, issues relating to regulation, liability of use, homologation, safety, insurance of the modular vehicle, and the definition of ownership and maintenance regimes in shared-use contexts. At the systemic level, further critical issues arise regarding the need for dedicated infrastructure and operational nodes, with implications for urban space, operational management, and service sustainability. These aspects are compounded by potential challenges linked to the social acceptability of the model and its actual economic sustainability over the medium term.

The transferability of the model appears plausible primarily in dense urban contexts characterised by proximity networks, cycling infrastructures, decentralised logistics systems, or favourable conditions for intermodality. It is, however, more problematic in dispersed, strongly car-dependent environments or in contexts lacking intermediate nodes and supporting services. In this sense, the mo-

del cannot be considered universally applicable, but rather as an adaptable configuration, whose effectiveness depends on specific settlement, infrastructural, and organisational conditions.

SDGs, synergies, and trade-offs

| With reference to the Sustainable Development Goals (SDGs), the contribution highlights potential impacts particularly in relation to SDGs 9, 11, 12, and 13. The most immediate benefits concern SDG 9 (Industry, Innovation and Infrastructure), insofar as modularity applied to bicycles and cargo bikes introduces opportunities for innovation not only at the product level, but also in the technical and managerial organisation of fleets. The reconfigurability of the vehicle makes it possible to adapt it to different uses, reduce the rigidity of monofunctional vehicles, and envisage progressive updating and maintenance strategies based on the replacement of components and modules rather than the vehicle as a whole. Alongside this dimension, further potential impacts emerge at the urban and environmental levels. Regarding SDG 11 (Sustainable Cities and Communities), the model suggests integrating per-

sonal mobility, proximity services, and light distribution networks more closely, thereby developing more flexible, fine-grained mobility systems compatible with high-density contexts or sensitive urban fabrics. In relation to SDG 13 (Climate Action), these configurations may, at least indirectly, lead to a reduction in the environmental impact of certain segments of urban mobility and logistics by increasing the use of low-emission light vehicles and potentially substituting more bulky, impactful vehicles in specific last-mile segments.

Within this framework, SDG 12 (Responsible Consumption and Production) assumes a transversal role, as the proposed model engages with the theme of responsible resource use across the entire product life cycle, from vehicle production to its use and management, up to the systemic configuration of mobility and logistics services. Indeed, modularity not only affects how the vehicle is designed and updated but also suggests potentially more rational forms of vehicle use, functional organisation, and distribution of material, energy, and operational resources, reducing rigidity between vehicles, uses, and services.

These potential impacts, however, should not be assumed automatically or linearly. The HPM model also identifies potential trade-offs and criticalities, both related to the sustainability of the proposed services and to the material and organisational conditions required for their implementation. In addition, there is the risk of indirect effects that may not necessarily align with the expected benefits of the model. In this sense, the synergies between SDGs 9, 11, 12, and 13 appear plausible, but depend on implementation, regulation, and management conditions that, given the exploratory nature of this contribution, cannot yet be empirically verified.

Acknowledgements

This paper is the result of a shared reflection by the Authors. Notwithstanding this, the Introduction, ‘Methodology’, ‘Study limitations, barriers, and transferability’, ‘SDGs, synergies, and trade-offs’, and ‘Conclusions’ sections are attributed to A. Rinaldi, while the sections ‘Urban micromobility models’, ‘Hybrid configurations’, ‘Synthesis and mapping of strategic factors’, ‘A hybrid model enabled by modularity’ are attributed to J. Lagrimino.

Part of the activities described in this paper was carried out within the research project Spoke 5 ‘Light Vehicle and Active Mobility’ of the National Centre for Sustainable Mobility (MOST), funded by the NextGenerationEU Programme within the framework of the National Recovery and Resilience Plan (PNRR), Mission 4, Component 2, Investment 1.4 (D.D. 1033 of 17 June 2022, CN00000023). Specifically, the paper presents part of the results developed by the Authors within the IDEE Lab (Innovation in Design and Engineering Laboratory) of the Department of Architecture at the University of Florence, within Work Package 2.1 ‘Vehicle Design, Materials and LCA’ (WP Leader: A. Rinaldi), dedicated to the design and prototyping of light vehicles and to the exploration of modularity as a lever for product and system innovation, within the framework of the MOST research programme, active over the three-year period 2022-2025. The research project was concluded in December 2025.

Conclusions | The research has explored the potential of modularity as a design lever capable of linking personal mobility and light urban logistics, taking as its starting point a reconfigurable vehicle developed within the MOST-Spoke 5 project. In line with the most recent orientations in the literature, which interpret micromobility not merely as a set of light vehicles but as a system composed of infrastructures, services, actors, and organisational logics, the results show how modularity can extend its effects from the scale of the product to that of the system. From this perspective, the main contribution of the study lies in establishing a relationship between the reconfigurability of the vehicle and the architecture of urban micromobility models, demonstrating the potential of modularity as a lever for implementing and hybridising personal mobility and proximity logistics.

Taken together, the findings make it possible to formulate a structured response to the three research questions introduced at the beginning of the contribution, highlighting three main results: 1) the identification of recurring structural factors in urban micromobility models for the transport of people and goods; 2) the recognition of the potential of modularity to generate operational and functional advantages across the different phases of vehicle use; 3) the possibility that these properties may contribute to enabling hybrid service configurations between personal mobility and urban logistics.

Based on these outcomes, the first result is the construction of an interpretative framework grounded in five recurring factors, which allows for the analysis of different configurations of urban micromobility in a transversal manner. In this sense, it does not serve merely as a descriptive function, but also operates as an analytical and operational tool,

useful both for comparing existing models and for guiding further design explorations relating to the systemic organisation of urban mobility (Fig. 11).

The second result concerns the Hybrid Professional Micromobility (HPM) model, which explores the role of modularity in integrating personal mobility and urban logistics at the design level. The model makes it possible to envision a hybrid service configuration in which the same vehicle, on a shared, reversible platform, can assume different functions during different phases of use. Within this configuration, the advantages more directly related to the operational dimension of the vehicle also become evident: in personal mobility, greater adaptability and flexibility of use; in the logistics phase, improved calibration in relation to load, operational mission, and route constraints, with further implications for storage, maintenance, and fleet management (Figs. 12-14).

Notes

1) For more information, see the webpage: centronazionalemost.it/ [Accessed 7 April 2026].

2) For more information, see the webpage: miro.com/it/ [Accessed 16 April 2026].

References

- Abduljabbar, R. L., Liyanage, S. and Dia, H. (2021), “The role of micro-mobility in shaping sustainable cities – A systematic literature review”, in *Transportation Research part D | Transport and Environment*, vol. 92, article 102734, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.trd.2021.102734 [Accessed 7 April 2026].
- Allen, J., Piecyk, M., Piotrowska, M., McLeod, F., Chertrett, T., Ghali, K., Nguyen, T., Bektas, T., Bates, O., Friday, A., Wise, S. and Austwick, M. (2018), “Understanding the impact of e-commerce on last-mile light goods vehicle activity in urban areas – The case of London”, in *Transportation Research Part D | Transport and Environment*, vol. 61, part B, pp. 325-338. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.trd.2017.07.020 [Accessed 7 April 2026].
- Archer, B. (1995), “The nature of research”, in *Co-Design Journal*, vol. 2, issue 11, pp. 6-13. [Online] Available at: ia801302.us.archive.org/4/items/TheNatureOfResearch/Archer1995Codesign.pdf [Accessed 7 April 2026].

Arias-Molinares, D., Xu, Y., Büttner, B. and Duran-Rodas, D. (2023), “Exploring key spatial determinants for mobility hub placement based on micromobility ridership”, in *Journal of Transport Geography*, vol. 110, article 103621, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2023.103621 [Accessed 7 April 2026].

Bachofner, M., Lemardel, C., Estrada, M. and Pagès, L. (2022), “City logistics – Challenges and opportunities for technology providers”, in *Journal of Urban Mobility*, vol. 2, article 100020, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.urbmob.2022.100020 [Accessed 7 April 2026].

Baldwin, C. Y. and Clark, K. B. (1994), “Modularity-in-design – An analysis based on the theory of real options”, in *Harvard Business School*, pp. 1-44. [Online] Available at: academia.edu/download/44259940/Modularity-In-Design_An_Analysis_Based_020160331-25099-aenprh.pdf [Accessed 7 April 2026].

Betancur Arenas, J., Lebeau, P. and Macharis, C. (2024), “From regular cyclist to cargo bike user? – A step closer to enhancing cargo bike culture”, in McNally, C., Carroll, P., Martínez-Pastor, B., Ghosh, B., Efthymiou, M. and Valantis-Kanellos, N. (eds), *Transport Transitions – Advancing Sustainable and Inclusive Mobility – Proceedings of the 10th TRA Conference – Volume 2, Dublin, Ireland, April 15-18, 2024*, Springer, Cham, Lecture Notes in Mobility, pp. 134-139. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-031-85578-8_18 [Accessed 7 April 2026].

- Bruno, D., Palmieri, S., Palomba, R., D'Alessandro, F. and Bisson, M. (2024), "Infrastrutture di mobilità intelligenti e sostenibili – Un nuovo sistema di connessioni urbane | Smart and sustainable mobility infrastructure – A new system of urban connections", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 15, pp. 286-295. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1523 2024 [Accessed 7 April 2026].
- Buehler, R. and Pucher, J. (eds) (2021), *Cycling for sustainable cities*, MIT Press, Cambridge (MA).
- Buldeo Rai, H., Verlinde, S., Merckx, J. and Macharis, C. (2017), "Crowd logistics – An opportunity for more sustainable urban freight transport?", in *European Transport Research Review*, vol. 9, issue 3, article 39, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s12544-017-0256-6 [Accessed 7 April 2026].
- Canessa, N. V. and Centanaro, C. (2024), "Co(mplex)city – Utente come sensore urbano e mobilità accessibile nel progetto Mobiquity | Co(mplex)city – User as urban sensor and accessible mobility in the Mobiquity project", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 16, pp. 88-97. [Online] Available at: doi.org/10.1922 9/2464-9309/1672024 [Accessed 7 April 2026].
- Carracedo, D. and Mostofi, H. (2022), "Electric cargo bikes in urban areas – A new mobility option for private transportation", in *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, vol. 16, article 100705, pp. 1-11. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.trip.2022.100705 [Accessed 7 April 2026].
- de Oliveira, C. M., Albergaria de Mello Bandeira, R., Vasconcelos Goes, G., Schmitz Gonçalves, D. N. and De Almeida D'Agosto, M. (2017), "Sustainable vehicles-based alternatives in last mile distribution of urban freight transport – A systematic literature review", in *Sustainability*, vol. 9, issue 8, article 1324, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su9081324 [Accessed 7 April 2026].
- Eom, J. K., Lee, K. S. and Lee, J. (2023), "Exploring micromobility mode preferences for last-mile trips from subway stations", in *Journal of Public Transportation*, vol. 25, article 100054, pp. 1-11. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jpuptr.2023.100054 [Accessed 7 April 2026].
- European Commission (2019), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019DC0640, COM/2019/640 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640 [Accessed 7 April 2026].
- Fabbri, I. (2023), "Smart Hubs – Una rete di oggetti urbani multifunzionali a supporto della micromobilità a Ferrara | Smart Hubs – A network of multifunctional urban objects to support micromobility in Ferrara", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 304-315. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14262023 [Accessed 7 April 2026].
- Galvin, P. and Morkel, A. (2001), "Modularity on industry structure – The case of the world – The effect of product bicycle industry", in *Industry and Innovation*, vol. 8, issue 1, pp. 31-47. [Online] Available at: dx.doi.org/10.1080/13662710120034392 [Accessed 7 April 2026].
- Gerring, J. (2006), *Case Study Research – Principles and Practices*, Cambridge University Press, Cambridge (MA).
- Gunes, S., Fried, T. and Goodchild, A. (2024), "Seattle microhub delivery pilot – Evaluating emission impacts and stakeholder engagement", in *Case Studies on Transport Policy*, vol. 15, article 101119, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.cstp.2023.101119 [Accessed 7 April 2026].
- Jonas, W. (2015), "Research through design is more than just a new form of disseminating design outcomes", in *Constructivist Foundations*, vol. 11, issue 1, pp. 32-36. [Online] Available at: constructivist.info/11/1/032.jonas [Accessed 7 April 2026].
- Kania, M., Rolf, B., Assmann, T. and Zadek, H. (2022), "The smaller, the better? – Nano-hubs for cycle logistics as an urban-friendly alternative to micro-hubs", in *Logistics Journal | Proceedings*, vol. 18, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.2195/lj_proc_kania_en_202211_01 [Accessed 7 April 2026].
- Katsela, K., Gunes, S., Fried, T., Goodchild, A. and Browne, M. (2022), "Defining urban freight microhubs – A case study analysis", in *Sustainability*, vol. 14, issue 1, article 532, pp. 1-27. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su14010532 [Accessed 7 April 2026].
- Knapp, J., Zeratsky, J. and Kowitz, B. (2022), *Sprint – Come risolvere grandi problemi e testare nuove idee in soli cinque giorni*, Edizioni LSWR, Milano.
- La Regina, R., Adinolfi, T., Pappalardo, C. M. and Guida, D. (2025), "Definition of the Functional Requirements for the Design of an Autonomous Light-Weight Pedal Assisted Urban Vehicle", in Karabegović, I., Kovačević, A. and Mandžuka, S. (eds), *New Technologies, Development and Applications – Proceedings of the 11th International Conference New Technologies and Applications, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, June 26-28, 2025*, Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 1482, Springer, Cham, pp. 474-485. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-031-95194-7_49 [Accessed 7 April 2026].
- Luo, Q., Li, S. and Hampshire, R. C. (2021), "Optimal design of intermodal mobility networks under uncertainty – Connecting micromobility with mobility-on-demand transit", in *EURO Journal on Transportation and Logistics*, vol. 10, article 100045, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ejtl.2021.100045 [Accessed 7 April 2026].
- Mangiaracina, R., Perego, A., Seghezzi, A. and Tumino, A. (2019), "Innovative solutions to increase last-mile delivery efficiency in B2C e-commerce – A literature review", in *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 49, issue 9, pp. 901-920. [Online] Available at: doi.org/10.1108/IJPDLM-02-2019-0048 [Accessed 7 April 2026].
- Marincek, D., Rérat, P. and Lurkin, V. (2024), "Cargo bikes for personal transport – A user segmentation based on motivations for use", in *International Journal of Sustainable Transportation*, vol. 18, issue 9, pp. 751-764. [Online] Available at: doi.org/10.1080/15568318.2024.2402753 [Accessed 7 April 2026].
- Martens, K. (2007), "Promoting bike-and-ride – The Dutch experience", in *Transportation Research Part A | Policy and Practice*, vol. 41, issue 4, pp. 326-338. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.tra.2006.09.010 [Accessed 7 April 2026].
- Oeschger, G., Caulfield, B., and Carroll, P. (2025), "User characteristics and preferences for micromobility use in first- and last-mile journeys in Dublin, Ireland", in *Travel Behaviour and Society*, vol. 38, article 100926, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.tbs.2024.100926 [Accessed 7 April 2026].
- Oliveira, L. K., Oliveira, I. K., Leite Nascimento, C. de O., Marcucci, E. and Gatta, V. (2025), "Mobility as a service for freight and passenger transport – Identifying a microhubs network to promote crowdshipping service", in *Case Studies on Transport Policy*, vol. 19, article 101356, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.cstp.2024.101356 [Accessed 16 April 2026].
- Pietroni, L., Di Stefano, A. and Galloppo, D. (2023), "Il design modulare verso l'economia circolare – Dal 'fare per disfare' al 'fare per rifare' | Modular design towards the circular economy – From 'making to unmake' to 'making to remake'", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 274-283. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/14232023 [Accessed 7 April 2026].
- Pucher, J. and Buehler, R. (eds) (2012), *City cycling*, MIT Press, Cambridge (MA).
- Rinaldi, A. and Lagrimino, J. (2026), "Modular and Adaptive Approach for Advancing Innovation and Sustainability in Light Vehicles Design", in *Applied Sciences*, vol. 16, issue 3, article 1151, pp. 1-34. [Online] Available at: doi.org/10.3390/app16031151 [Accessed 7 April 2026].
- Rinaldi, A., Busciantella-Ricci, D. and Viviani, S. (2024), "Design for Movability – A New Design Research Challenge for Sustainable Design Scenarios in Urban Mobility", in *For Nature / With Nature – New sustainable design scenarios*, Springer, Cham, Springer Series in Design and Innovation, vol. 38, pp. 929-949. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-031-53122-4_55 [Accessed 16 April 2026].
- Schomakers, E. M., Klatt, M., Lotz, V., Biermann, H., Kober, F. and Ziefle, M. (2022), "Analysis of the potential of a new concept for urban last-mile delivery – Ducktrain", in *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, vol. 14, article 100579, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.trip.2022.100579 [Accessed 7 April 2026].
- Shafiee, A., Moghaddam, H. R., Ballare, S. and Lin, J. (2026), "An alternative last-mile delivery system – Leveraging microhubs and crowdshipping", in *Transportation Research Part D | Transport and Environment*, vol. 154, article 105239, pp. 1-28. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.trd.2026.105239 [Accessed 7 April 2026].
- Simoni, M. D., Marcucci, E., Gatta, V. and Claudel, C. G. (2020), "Potential last-mile impacts of crowdshipping services – A simulation-based evaluation", in *Transportation*, vol. 47, issue 4, pp. 1933-1954. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11116-019-10028-4 [Accessed 7 April 2026].
- Sommariva, E. and Canessa, N. (2024), "Bicycle Infrastructures – La mobilità ciclabile come occasione di rigenerazione urbana e progetto dello spazio pubblico", in Bricocoli, M. and Pezzagno, M. (eds), *Atti della XXV Conferenza Nazionale SIU 'Transizioni, giustizia spaziale e progetto di territorio'*, Cagliari, Italy, June 15-16, 2023, Planum, Roma, pp. 303-312. [Online] Available at: hdl.handle.net/11567/1190036 [Accessed 7 April 2026].
- Stokkink, P. and Geroliminis, N. (2025), "On the optimal micro-hub locations in a multimodal last-mile delivery system", in *Transportation Research Part E | Logistics and Transportation Review*, vol. 203, article 104344, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.tre.2025.104344 [Accessed 7 April 2026].
- Tamborini, P. and Cretaiu, S. (2023), "Relazioni modulari negli spazi di lavoro – Approcci data-driven per progettare il futuro | Modular relations in work environments – Data-driven approaches to design their future", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 14, pp. 284-293. [Online] Available at: doi.org/10.1922 9/2464-9309/14242023 [Accessed 16 April 2026].
- Tosi, F., Belli, A., Rinaldi, A. and Tucci, G. (2012), "The Intermodal Bike: multimodal integration of cycling mobility through product and process innovations in bicycle design", in *Work | A Journal of Prevention, Assessment & Rehabilitation*, vol. 41, issue S1, pp. 1501-1506. [Online] Available at: doi.org/10.3233/WOR-2012-0344-1501 [Accessed 16 April 2026].
- Van Cauwenberg, J., De Bourdeaudhuij, I., Clarys, P., De Geus, B. and Deforche, B. (2019), "E-bikes among older adults – Benefits, disadvantages, usage and crash characteristics", in *Transportation*, vol. 46, issue 6, pp. 2151-2172. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11116-018-9919-y [Accessed 7 April 2026].
- Viviani, S., Gulino, M.-S., Rinaldi, A., and Vangi, D. (2024), "An interdisciplinary double-diamond design thinking model for urban transport product innovation – A design framework for innovation combining mixed methods for developing the electric microvehicle Leonardo Project", in *Energies*, vol. 17, issue 23, article 5918, pp. 1-23. [Online] Available at: doi.org/10.3390/en17235918 [Accessed 7 April 2026].
- Zhang, Y., Kasraian, D. and van Wesemael, P. (2023), "Built environment and micro-mobility – A systematic review of international literature", in *Journal of Transport and Land Use*, vol. 16, issue 1, pp. 293-317. [Online] Available at: jstor.org/stable/48758162 [Accessed 7 April 2026].