

Linee guida per lo sviluppo di strategie circolari nel settore del trasporto pubblico

Lezioni dalle strategie e dai piani d'azione CE4CE



Colophon

Progetto

CE0100250 CE4CE - Infrastrutture di trasporto pubblico nell'Europa centrale - facilitare la transizione verso l'economia circolare

Contatti

Azienda di trasporto pubblico di Lipsia

Indirizzo: Georgiring 3, 04103 Lipsia, Germania

Sito web: <https://www.l.de/verkehrsbetriebe/>

E-mail: CE4CE.Verkehrsbetriebe@L.de

Finanziato da

Programma Interreg Europa Centrale: <https://www.interreg-central.eu/>

Autori e collaboratori

Leventcan Er, Laura López, Ana-Maria Baston, Marcelian Handoko (Rupprecht Consult, Germania), Stefan Röhl, Conrad Jentsch (Azienda di Trasporti Pubblici di Lipsia, Germania), Jan Röhl (Kruch Railways, Austria), Liliana Donato, Sara Biffi (ATB Bergamo, Italia), Gabriele Grea, Anja Seyfert (Redmint Impresa Sociale srl, Italia), Dominika Kowalkowska (PKA Gdynia, Polonia), Agnieszka Szmelter-Jarosz, Marcin Wolek (Università di Danzica, Polonia), Mitja Klemencic (Comune di Maribor), Danijel Hojski (Università di Maribor), Alexandra Scharzenberger, Marta Woronowicz (Associazione trolley:motion, Austria), Németh Zoltán Ádám, Gábor Jéga-Szabó (SZKT Szeged, Ungheria), Nikolett Csörgő (Mobilissimus Kft, Ungheria)

Impaginazione e grafica

Danaja Dvornik (@_studio_kai_) e Marcelian Handoko (Rupprecht Consult)

Data di pubblicazione

Marzo 2026

Copyright

Il copyright di questa pubblicazione è di proprietà del consorzio del progetto CE4CE guidato dalla Società di Trasporti Pubblici di Lipsia. Tutte le immagini e gli elementi testuali presenti in questa pubblicazione, per i quali è indicata la fonte, sono di proprietà delle organizzazioni o delle persone citate.

Elenco delle abbreviazioni

Abbreviation	Definition
AI	Intelligenza artificiale
BESS	Sistema di accumulo di energia a batte-ria
BSR	Regione del Mar Baltico
CCC	Climate City Contract
EN	Norma europea
eBRT	Sistema di trasporto rapido con autobus elettrici
ESG	Ambientale, sociale e di governance
UE	Unione Europea
GIS	Sistema informativo geografico
ISO	Organizzazione internazionale per la normazione
KPI	Indicatore chiave di prestazione
LCC	Calcolo del costo del ciclo di vita
MR.pro®	Software/sistema di gestione della manutenzione utilizzato da LVB
PV	Fotovoltaico
SECAP	Piano d'azione per l'energia sostenibile e il clima
SMEA	Valutazione strategica della manutenzione e dell'ingegneria (riferimento metodologico legato alla definizione delle priorità/gestione dei rischi)
SUMP	Pianificazione della Mobilità Urbana Sostenibile
ZEDAS	Sistema software per la manutenzione ferroviaria e la gestione delle risorse

Abbreviazioni dei partner

Abbreviazione	Nome del partner
LVB	Azienda di trasporto pubblico di Lipsia, Germania
PKA	Operatore di autobus del trasporto pubblico a Gdynia, Polonia
UG	Università di Danzica, Polonia
SZKT	Azienda di Trasporti di Szeged, Ungheria
Kruch	Kruch Railways Innovations, Austria
MOM	Comune di Maribor, Slovenia
UM	Università di Maribor, Slovenia
ATB	ATB Mobility Bergamo, Italia
Redmint	Impresa sociale Redmint, Italia
Mobilissimus	Mobilissimus Ltd., Ungheria
TM	Associazione trolley:motion, Austria
RUPPRECHT	Rupprecht Consult (consultant to LVB), Germany

Elenco delle figure

Figura 1. Quadro AVOID-EXTEND-TRANSFORM-ENABLE (AETE). Crediti: trolley:motion association	9
Figura 2. Il settore energetico nella struttura della bussola della circolarità	11
Figura 3. Il settore delle infrastrutture nella struttura della bussola della circolarità	16
Figura 4. Struttura della bussola della circolarità nel settore del materiale rotabile	20
Figura 5. Quadro strategico a sostegno della visione per	25
Figura 6. Visione e obiettivi strategici del Piano d'azione di Maribor	26
Figura 7. Misure chiave di Maribor e calendario di attuazione	27
Figura 8. Workshop con gli stakeholder sull'economia circolare e l'energia nel trasporto pubblico. Crediti: Comune di Maribor, CE4CE	28
Figura 9. Principali conclusioni di Maribor	29
Figura 10. Visione e obiettivi strategici del Piano d'azione LVB	30
Figura 11. Misure chiave di Lipsia	31
Figura 12. Il principale punto di prelievo di Lipsia	34
Figura 13. Impianto fotovoltaico che alimenta i filobus di Gdynia presso il deposito. Crediti: CE4CE	35
Figura 14. Visione e obiettivi strategici del Piano d'azione di Gdynia	36
Figura 15. Misure chiave di Gdynia e calendario di attuazione	37
Figura 16. Principali insegnamenti di Gdynia	38
Figura 17. ATB Mobility Bergamo	39
Figura 18. visione e obiettivi strategici del Piano d'azione di Bergamo	40
Figura 19. Misure chiave di Bergamo	41
Figura 20. Principali punti chiave di Bergamo	43

Indice delle tabelle

Tabella 1. Fattori chiave delle strategie energetiche nel trasporto pubblico	14
Tabella 2. Fattori chiave delle strategie infrastrutturali nel trasporto pubblico	18
Tabella 3. Fattori chiave delle strategie relative alle flotte nel trasporto pubblico	23

Indice

Sintesi

1. Introduzione al progetto CE4CE	7
2. Strategie per migliorare la circolarità nel settore del trasporto pubblico	8
2.1. Strategia per catturare e ottimizzare l'uso dell'energia dissipata e delle fonti di energia rinnovabile lungo le nuove catene del valore del ciclo di vita	9
2.2. Strategia per aggiungere e recuperare valore e ottimizzare la fornitura di infrastrutture di trasporto pubblico lungo nuove catene del valore del ciclo di vita	11
2.3. Strategia per aggiungere e recuperare valore e ottimizzare la fornitura di materiale rotabile/veicoli lungo le nuove catene del valore del ciclo di vita	16
3. Piani d'azione per affrontare le sfide essenziali nel settore del trasporto pubblico	20
3.1. Piano d'azione per la raccolta e l'utilizzo dell'energia residua dei treni e la ricarica delle batterie usate con fonti di energia rinnovabile a Maribor, Slovenia	25
3.2. Piano d'azione per ottimizzare la gestione delle infrastrutture attraverso interventi di manutenzione minimamente invasivi a Lipsia, Germania	25
3.3. Piano d'azione per ottimizzare la fornitura di infrastrutture attraverso la cooperazione e la condivisione tra fornitori pubblici, come aggiornamento della strategia comunale per la mobilità elettrica a Gdynia, Polonia	30
3.4. Piano d'azione per aggiungere valore alla catena di approvvigionamento e ottimizzare la consegna dei veicoli attraverso appalti circolari a Bergamo, Italia	35
4. Lezioni apprese e raccomandazioni	39
4.1. Lezioni apprese dal processo di sviluppo delle strategie e dei piani d'azione	44
4.2. Raccomandazioni per l'attuazione delle misure	44
5. Conclusiones	47
6. Riferimenti	48

Sintesi

Il progetto Interreg Central Europe CE4CE: Infrastrutture di trasporto pubblico nell'Europa centrale - facilitare la transizione verso l'economia circolare¹, ha promosso un approccio sistemico all'economia circolare tra gli attori del trasporto pubblico dei paesi dell'Europa centrale per ridurre i rifiuti e creare valore lungo i nuovi cicli di vita delle infrastrutture e del materiale rotabile. A tal fine, CE4CE ha sviluppato soluzioni congiunte che aumentano le conoscenze e le capacità del settore, contribuiscono a ridurre gli ostacoli e i costi e avviano lo sviluppo di nuovi servizi e posti di lavoro qualificati, nonché strategie e piani d'azione che migliorano l'elaborazione delle politiche, l'apprendimento e lo scambio a livello regionale e transnazionale. CE4CE mirava a introdurre i principi dell'economia circolare nel settore del trasporto pubblico e, quindi, a ridurre i rifiuti, aumentare l'efficienza e migliorare l'impronta ecologica del trasporto pubblico.

Inoltre, gli stakeholder della comunità del trasporto pubblico hanno collaborato nell'ambito di CE4CE per sviluppare e adattare congiuntamente processi e soluzioni come fattori chiave per l'integrazione dei principi dell'economia circolare, quali i concetti di condivisione dei dati, nuove e innovative le linee guida in materia di appalti, la progettazione di prodotti e modelli di business, la valutazione estesa del ciclo di vita e le metodologie di analisi costi-benefici.

La partnership di CE4CE rappresenta l'intera catena del valore e la prospettiva del sistema del settore dei trasporti, includendo 11 partner di progetto provenienti da 6 paesi dell'Europa centrale, che spaziano dalle autorità/operatori del trasporto pubblico, all'industria e alla ricerca, fino ai gruppi di interesse. Per ampliare questa cooperazione, partner associati come le reti internazionali ICLEI, UITP ed EIT Urban Mobility sono stati coinvolti strategicamente in qualità di consulenti per massimizzare la diffusione della comunicazione e il trasferimento di conoscenze dei risultati del progetto.

Uno dei fattori chiave del successo è stata la collaborazione tra partner del progetto, partner associati, esperti esterni e advisor, che hanno sviluppato congiuntamente risultati basati sulla co-creazione e sulla reciproca validazione per la loro adozione nell'ambito del trasporto pubblico in Europa. Esempi di questo risultato sono le azioni pilota del progetto, e soluzioni quali lo strumento di autovalutazione CE4CE Circularity Compass per il trasporto pubblico, la piattaforma di conoscenza CE4CE Circularity, una piattaforma per lo scambio online di ricambi di seconda mano, strategie e azioni pilota per aumentare l'efficienza delle risorse e progetti pilota che dimostrano approcci di "utilizzare di più, riutilizzare e riciclare" per il settore del trasporto pubblico. Ciascun partner ha apportato esperienza pratica, attività sul campo e competenze tecniche relative ai sistemi energetici, alle infrastrutture e al materiale rotabile. Insieme, i partner hanno esplorato approcci basati sul ciclo di vita che migliorino l'efficienza delle risorse, che prolunghino la vita utile delle risorse, ottimizzino l'uso dell'energia e sostengono la transizione verso sistemi di trasporto pubblico più circolari e sostenibili.

¹ <https://www.interreg-central.eu/projects/ce4ce/>

1. Introduzione al progetto CE4CE

Il progetto CE4CE, finanziato dal programma Interreg Central Europe, promuove un approccio sistemico all'economia circolare tra gli attori del trasporto pubblico dei paesi dell'Europa centrale, orientato a ridurre i rifiuti e creare valore lungo i nuovi cicli di vita delle infrastrutture e del materiale rotabile. CE4CE mira a introdurre i principi dell'economia circolare nel settore del trasporto pubblico e, quindi, aumentare l'efficienza nel settore e migliorare l'impronta ecologica del trasporto pubblico. A tal fine, CE4CE ha sviluppato congiuntamente soluzioni che aumentano le conoscenze e le capacità del settore, aiutano a ridurre le barriere e i costi e avviano lo sviluppo di nuovi servizi e posti di lavoro qualificati, nonché strategie e piani d'azione che migliorano lo sviluppo delle politiche, l'apprendimento e lo scambio a livello regionale e transnazionale.

Il settore del trasporto pubblico sta attualmente affrontando sfide crescenti legate all'invecchiamento delle infrastrutture, all'affidabilità operativa, all'efficienza dei costi e alla transizione verso pratiche più sostenibili e digitalizzate. In questo contesto, le attività di CE4CE, ovvero strategie, piani d'azione, progetti pilota e soluzioni, mirano ad affrontare la circolarità nel suo complesso e coinvolgono aspetti quali la modernizzazione dei processi di gestione della manutenzione attraverso l'integrazione di strumenti digitali innovativi, approcci di manutenzione predittiva, metodi decisionali basati sui dati, seconda vita delle risorse e procurement.

Il presente manuale è stato elaborato come documento di riferimento pratico per aiutare gli operatori dei trasporti, i responsabili della manutenzione, il personale tecnico e tutte gli stakeholder ai temi del progetto a comprendere e applicare le metodologie, gli strumenti e gli insegnamenti tratti dall'esperienza maturata, al fine di tradurre i principi dell'economia circolare in una logica basata sul ciclo di vita del trasporto pubblico. Questo strumento favorisce il trasferimento di conoscenze e la replica delle buone pratiche in altri sistemi di trasporto pubblico e organizzazioni che intendono migliorare l'efficienza, la sostenibilità e la circolarità dei propri processi, tra cui pianificazione, appalti, operazioni, manutenzione e fine vita. Il manuale illustra le strategie e i piani d'azione del progetto sviluppati congiuntamente dai partner con il contributo di attori di supporto ed esperti.

Per ulteriori informazioni sui progetti pilota e sulle soluzioni citati nel presente documento, è stato redatto un altro manuale, disponibile al pubblico sul sito web del progetto CE4CE.



2. Strategie per migliorare la circolarità nel settore del trasporto pubblico

7 R-principles for circular public transport systems



Figura 1. Quadro AVOID-EXTEND-TRANSFORM-ENABLE (AETE). Crediti: trolley:motion association

Il trasporto pubblico è ampiamente riconosciuto come la pietra angolare della mobilità sostenibile. Tuttavia, mentre le sue emissioni operative sono generalmente inferiori a quelle del trasporto privato, permangono impatti ambientali significativi insiti nei cicli di vita dei sistemi energetici, delle infrastrutture e del materiale rotabile. Questi includono non solo l'uso di risorse e le emissioni durante le attività operative, ma anche l'energia incorporata e le emissioni derivanti dall'uso di materie prime, combustibili fossili e dai rifiuti generati durante le fasi di produzione, costruzione, manutenzione e fine vita. In particolare, materiali come l'acciaio, il calcestruzzo, il rame e le materie prime critiche utilizzate nelle infrastrutture, nelle flotte e nelle batterie rappresentano sfide sia ambientali che strategiche per le città e le regioni europee.

I modelli lineari tradizionali basati su una logica di prelievo-utilizzo-smaltimento non sono più compatibili con gli obiettivi di neutralità climatica, di sicurezza delle risorse e di accessibilità economica a lungo termine dei sistemi di trasporto pubblico. Il ricicloriciclo da solo, sebbene essenziale, è insufficiente e viene applicato solo alla fine del ciclo di vita. Le strategie CE4CE adottano quindi il modello di ciclo di vita Avoid-Extend-Transform-Enable (AETE) come quadro comune per integrare i principi dell'economia circolare nel trasporto pubblico. Piuttosto che concentrarsi esclusivamente sulla gestione dei rifiuti, l'approccio AETE promuove una prospettiva sistemica che mira a ridurre al

minimo il consumo di risorse, massimizzare l'utilizzo e la durata di vita delle risorse e creare le condizioni favorevoli alle pratiche circolari in tutti i settori della pianificazione, del procurement, della gestione operativa e della gestione di fine vita dell' e. Attraverso questo quadro, la circolarità diventa un principio strategico che guida le decisioni durante l'intero ciclo di vita dei sistemi di trasporto pubblico.

Le strategie CE4CE rispondono a questa sfida traducendo i principi dell'economia circolare in approcci concreti e specifici per settore per i sistemi energetici, le infrastrutture e il materiale rotabile. Esse mirano a sostenere le autorità e gli operatori del trasporto pubblico nel passaggio da misure circolari isolate a strategie sistemiche basate sul ciclo di vita che riducano i rifiuti, ottimizzino le risorse e creino valore a lungo termine.

Un quadro comune: il modello di ciclo di vita AETE

Tutte e tre le strategie CE4CE si basano su un quadro analitico e operativo condiviso: il modello di ciclo di vita AVOID-EXTEND-TRANSFORM-ENABLE (AETE) per l'adozione dell'economia circolare.

- **AVOID** punta a prevenire la produzione di rifiuti e le emissioni alla fonte, evitando l'uso superfluo delle risorse, riducendo la domanda di materiali ed energia e adottando scelte informate in materia di progettazione e pianificazione.
- **EXTEND** mira a preservare il valore prolungando la vita utile dei beni attraverso la manutenzione, la riparazione, la ristrutturazione, il riutilizzo e le applicazioni di seconda vita.
- **TRANSFORM** affronta le fasi di fine vita consentendo il ricicloriciclo, il recupero e lo smaltimento responsabile, garantendo che i materiali vengano reintegrati in nuove catene del valore.
- **ENABLE** si riferisce alle condizioni trasversali che rendono possibile la circolarità, tra cui i quadri di governance, le pratiche di procurement, la digitalizzazione, gli standard, le competenze e la collaborazione lungo le catene del valore.

L'applicazione coerente di questo quadro nei settori dell'energia, delle infrastrutture e del materiale rotabile garantisce la coerenza tra le strategie e consente alle città di identificare sinergie, evitare compromessi e dare priorità alle azioni con il maggiore impatto sistemico.

Obiettivi generali delle strategie CE4CE

Nel loro insieme, le tre strategie CE4CE perseguono una serie di obiettivi generali condivisi:

- Ridurre gli impatti ambientali intrinseci e operativi nei sistemi di trasporto pubblico.
- Ottimizzare l'uso delle risorse e ridurre al minimo gli sprechi durante l'intero ciclo di vita.
- Prolungare la durata e il valore delle risorse del trasporto pubblico, riducendo il total cost of ownership (TCO).
- Rafforzare la resilienza e l'autonomia riducendo la dipendenza dalle materie prime vergini e critiche.
- Favorire l'innovazione e nuove catene del valore, compresi i mercati del riutilizzo, i servizi di ricondizionamento e le soluzioni digitali.
- Sostenere le città e le regioni nel tradurre i principi dell'economia circolare in pratiche attuabili e scalabili.

Questi obiettivi si riflettono in ciascuna strategia tematica, nel rispetto delle caratteristiche e delle sfide specifiche dei sistemi energetici, delle infrastrutture e del materiale rotabile.

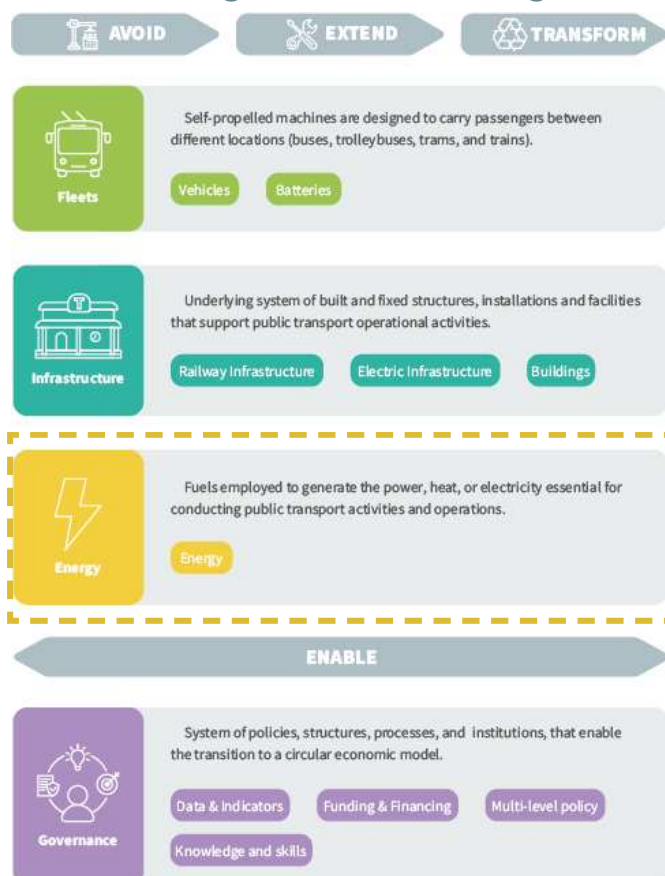
Quadro normativo dell'UE a sostegno della circolarità e della

Le strategie CE4CE sono pienamente allineate e rafforzate dal quadro politico e normativo in evoluzione dell'Unione Europea in materia di sostenibilità ed economia circolare. I principali elementi trainanti delle politiche includono:

- Il Green Deal europeo, che fissa l'obiettivo generale della neutralità climatica.
- Il Piano d'azione dell'UE per l'economia circolare, che promuove l'approccio basato sul ciclo di vita, la prevenzione dei rifiuti e il mantenimento del valore.
- La direttiva sui veicoli puliti (UE) 2019/1161, che incoraggia l'uso di veicoli di trasporto pubblico a basse emissioni e a emissioni zero.
- Il regolamento UE sulle batterie, che rafforza i requisiti in materia di sostenibilità, tracciabilità, riutilizzo e riciclo delle batterie.
- Le norme e le linee guida sugli appalti pubblici verdi (GPP) a sostegno degli appalti circolari.

In questo contesto, CE4CE fornisce una guida pratica per aiutare gli attori del trasporto pubblico a rendere operativi gli obiettivi politici dell'UE, colmare il divario tra regolamentazione e attuazione e allineare i piani d'azione locali agli obiettivi europei di sostenibilità.

2.1. Strategia per catturare e ottimizzare l'uso dell'energia dissipata e delle fonti di energia rinnovabile lungo le nuove catene del valore del ciclo di vita



L'uso dell'energia è uno dei punti di leva più critici per ridurre l'impronta ambientale dei sistemi di trasporto pubblico. Sebbene l'elettrificazione delle flotte riduca significativamente le emissioni di scarico, i benefici complessivi per il clima e le risorse dipendono fortemente da come l'energia viene ottenuta, gestita, riutilizzata e recuperata durante il suo ciclo di vita. Un approccio lineare all'energia basato su elettricità centralizzata da fonti fossili, ricarica inefficiente e smaltimento delle risorse energetiche rischia di spostare le emissioni a monte e di vincolare i sistemi di trasporto pubblico a percorsi ad alta intensità di risorse.

Un approccio di economia circolare ridefinisce l'energia come un flusso di valore piuttosto che come un input consumabile. Dando priorità alle fonti di energia rinnovabile (RES), catturando l'energia generalmente dissipata,

Figura 2. Il settore energetico nella struttura della bussola della circolarità

prolungando la vita delle risorse energetiche (in particolare le batterie) e reintegrando i flussi energetici nel sistema, il trasporto pubblico può ridurre significativamente le emissioni operative, le emissioni incorporate e i costi a lungo termine. La strategia CE4CE si basa sul quadro del ciclo di vita Avoid-Extend-Transform-Enable (AETE) per garantire che la circolarità sia affrontata dall'approvvigionamento energetico alla gestione del fine vita

Gli obiettivi specifici della strategia sono:

- Ridurre la dipendenza dall'elettricità prodotta da fonti fossili e ad alta intensità di carbonio.
- Massimizzare l'uso di energia rinnovabile generata localmente nelle operazioni di trasporto pubblico.
- Catturare e riutilizzare l'energia dissipata (ad es. frenata rigenerativa, surplus di generazione rinnovabile).
- Estendere la durata e il valore delle risorse legate all'energia, quali batterie e infrastrutture di ricarica.
- Consentire l'integrazione sistemica tra gli attori dei settori dell'energia, dei trasporti e delle infrastrutture urbane.

2.1.1 Approcci

Questi approcci dovrebbero tradurre la strategia energetica in misure concrete che gli operatori del trasporto pubblico possano attuare nelle fasi di pianificazione, appalto, gestione operativa e smaltimento a fine vita. L'elettrificazione della flotta rimane il principale punto di partenza, ma non dovrebbe essere considerata una soluzione a sé stante. Le decisioni relative agli autobus elettrici dovrebbero essere collegate fin dall'inizio alla posizione delle stazioni di ricarica, alle caratteristiche del percorso, al tipo di batteria, alla capacità della rete elettrica e alla disponibilità di energia rinnovabile. Il procurement può svolgere un ruolo chiave richiedendo sistemi di ricarica efficienti, compatibilità con standard aperti, accesso ai dati sullo stato di salute delle batterie, componenti modulari e accordi chiari per il ritiro, il riutilizzo o il riciclo delle batterie.

L'infrastruttura di ricarica dovrebbe essere pianificata in base alle effettive esigenze operative piuttosto che applicata in modo uniforme su tutta la rete. La ricarica notturna in deposito può essere appropriata laddove gli autobus dispongano di un'autonomia sufficiente e di tempi di sosta più lunghi, mentre la ricarica rapida o l'opportunity charging può supportare percorsi ad alta frequenza con brevi soste. La scelta dovrebbe tenere conto della domanda di elettricità di picco, della capacità disponibile della rete, dei vincoli di spazio urbano, della compatibilità tra sistema di ricarica e autobus e dell'effetto degli schemi di ricarica sulla durata della batteria. Gli hub di ricarica multifunzionali possono inoltre migliorare l'efficienza delle infrastrutture fornendo diversi servizi di mobilità elettrica dallo stesso sistema, riducendo le duplicazioni e sfruttando meglio lo spazio urbano limitato.

La ricarica intelligente e l'accumulo di energia dovrebbero essere utilizzati per ridurre la pressione sulla rete elettrica e migliorare l'efficienza in termini di costi delle operazioni. Spostando la ricarica verso i periodi di minor consumo, controllando l'intensità di ricarica e utilizzando l'accumulo stazionario durante i picchi di domanda, gli operatori possono abbassare i costi di rete, evitare i picchi di potenza e ridurre la necessità di costosi aggiornamenti della rete. I sistemi di accumulo possono anche sostenere l'affidabilità del servizio fungendo da cuscinetto durante i periodi di forte domanda o in caso di limitazioni

della rete. Laddove tecnicamente e legalmente fattibile, le batterie di seconda vita dei veicoli elettrici possono essere riutilizzate per l'accumulo stazionario nei depositi o nei punti di ricarica, estendendone il valore prima del riciclo.

L'integrazione delle energie rinnovabili dovrebbe essere una priorità nei depositi, nelle stazioni di ricarica e in altre strutture di trasporto pubblico adatte. Gli impianti fotovoltaici sono particolarmente rilevanti allo scopo poiché possono essere installati su edifici o infrastrutture di trasporto esistenti e combinati con l'accumulo per aumentare l'utilizzo in loco. Ciò consente di immagazzinare l'elettricità rinnovabile in eccesso e di utilizzarla in seguito per la ricarica degli autobus, riducendo la dipendenza dall'elettricità centralizzata a base fossile. La progettazione dei sistemi per la generazione di energia rinnovabile dovrebbe tenere conto della superficie disponibile, dell'irraggiamento locale, dell'efficienza degli inverter, dell'ombreggiamento, delle esigenze di manutenzione e della corrispondenza tra i modelli di generazione e la domanda di ricarica. Il recupero dell'energia dissipata dai mezzi dovrebbe essere preso in considerazione laddove i sistemi di trasporto esistenti generano flussi di energia utilizzabili. La frenata rigenerativa nei sistemi ferroviari, tranviari e metropolitani può recuperare l'energia che altrimenti andrebbe persa e riutilizzarla all'interno della rete, immagazzinarla o potenzialmente reindirizzarla verso altre esigenze di ricarica. Tali soluzioni sono più efficaci laddove le infrastrutture tecniche, la capacità di stoccaggio e le condizioni normative consentono di catturare e ridistribuire in modo efficiente l'energia recuperata.

La gestione del fine vita dovrebbe essere pianificata prima che le batterie e le risorse energetiche raggiungano la fine del loro ciclo di vita. Le batterie che non soddisfano più i requisiti di prestazione dei veicoli possono comunque essere adatte ad applicazioni fisse meno esigenti, ma ciò dipende da una valutazione affidabile dello stato di salute, da controlli di sicurezza e da una chiara definizione delle responsabilità tra operatori, produttori, riciclatori e aziende di gestione dei rifiuti. Quando il riutilizzo non è più possibile, il riciclo dovrebbe recuperare materiali preziosi e ridurre la dipendenza da materie prime critiche vergini. I passaporti digitali delle batterie, accordi di proprietà trasparenti, procedure standardizzate e la cooperazione lungo tutta la catena del valore sono essenziali per rendere fattibili il riutilizzo e il riciclo su larga scala.

2.1.2 Fattori chiave

Successfully implementing circular economy energy strategies in public transport depends not only on technical measures, but also on the presence of enabling conditions that support coordination, learning and long-term transformation. Across energy systems, infrastructure and rolling stock, the CE4CE strategies identify four mutually reinforcing enabler areas: digitalisation, governance, innovation and technology.

 Digital-izzazione	 Governance	 Innovazione	 Tecnologia	 Fattori abilitanti aggiuntivi
Implementazione di sistemi di gestione energetica per monitorare, ottimizzare e controllare i flussi energetici tra depositi, infrastrutture di ricarica e veicoli.	Integrazione degli obiettivi di energia rinnovabile e circolarità nelle strategie energetiche e di trasporto a livello locale e regionale.	Progetti pilota e dimostrativi per testare nuovi modelli di integrazione energetica, come la generazione locale di energia rinnovabile combinata con l'accumulo.	Implementazione di tecnologie per le energie rinnovabili, in particolare il fotovoltaico integrato nei depositi e nelle strutture di ricarica.	Sviluppo di competenze per la gestione energetica all'interno delle autorità e degli operatori del trasporto pubblico.
Utilizzo di soluzioni di ricarica intelligenti per allineare i profili di ricarica alla disponibilità di energia rinnovabile, alle tariffe fuori picco e ai vincoli di rete.	Utilizzo di politiche di procurement pubblico e di approvvigionamento energetico e per dare priorità all'elettricità rinnovabile e ai vettori energetici a basse emissioni di carbonio.	Sperimentazione di soluzioni di recupero e riutilizzo dell'energia e, tra cui la frenata rigenerativa e l'accumulo stazionario.	Utilizzo di sistemi di accumulo di energia, tra cui l'accumulo stazionario e le batterie di seconda vita.	Accesso a finanziamenti e strumenti di finanziamento che sostengano gli investimenti nelle energie rinnovabili e nell'accumulo.
Applicazione del monitoraggio in tempo reale e dell'analisi dei dati per migliorare l'efficienza energetica e individuare le perdite.	Creazione di partnership energetiche a lungo termine con aziende di servizi pubblici e gestori di rete.	Collaborazione con istituti di ricerca, fornitori di energia e sviluppatori di tecnologie per testare soluzioni innovative.	Implementazione di sistemi di frenata rigenerativa e di recupero di energia nel trasporto elettrico e ferroviario.	Disponibilità di standard e linee guida per l'efficienza energetica, i sistemi di ricarica e di accumulo.
Utilizzo di strumenti digitali per monitorare le prestazioni e il degrado delle batterie, favorendone l'uso ottimale e il prolungamento della durata.	Allineamento alle normative energetiche e climatiche dell'UE e nazionali, compresi gli obiettivi in materia di energie rinnovabili e di riduzione delle emissioni.	Partecipazione a iniziative di settore e piattaforme di scambio di conoscenze che affrontano l'efficienza energetica e l'elettrificazione nel trasporto pubblico.	Adozione di sistemi di propulsione elettrica efficienti e tecnologie di ricarica ottimizzate.	Cooperazione con gli stakeholder del settore energetico e della rete per garantire l'integrazione e la flessibilità del sistema.
Sviluppo di modelli digitali e simulazioni a supporto della pianificazione delle infrastrutture di ricarica, dell'accumulo di energia e dell'integrazione delle energie rinnovabili.	Chiara definizione dei ruoli e delle responsabilità per la gestione energetica tra le organizzazioni di trasporto pubblico.	Utilizzo delle attività pilota CE4CE come ambienti di apprendimento per ridurre i rischi e favorire la replicabilità.	Utilizzo di soluzioni di approvvigionamento energetico mature e ad alta efficienza, quali i sistemi di filobus e la ricarica in movimento, ove pertinente.	Quadri di monitoraggio e indicatori per tracciare le prestazioni energetiche e i risultati in materia di circolarità.
Integrazione dei dati energetici in sistemi più ampi di gestione della flotta e delle operazioni.			Valutazione continua delle tecnologie energetiche utilizzando criteri di prestazione a livello di ciclo di vita e di sistema.	

Tabella 1. Fattori chiave delle strategie energetiche nel trasporto pubblico

2.1.3 Esempi di buone pratiche

Reinforce energy-efficient technology



Buona pratica 1:

Ricarica rapida per massimizzare l'efficienza operativa e il risparmio sui costi

Luogo: Barcellona, Spagna

Area di intervento: Rafforzamento delle tecnologie ad alta efficienza energetica



Infrastruttura di ricarica alla fermata dell'autobus

Obiettivi: Implementare un'infrastruttura di ricarica rapida ad alta potenza (400 kW) presso le fermate terminali per ridurre la dipendenza dalle grandi batterie di bordo, abbassare i costi energetici e operativi e dimostrare che le linee di autobus completamente elettrici potrebbero funzionare in modo affidabile senza il supporto del diesel.

Sfide:

- Mantenere la stabilità della rete in presenza di picchi di carico elevati
- Gestione dei limiti termici durante la ricarica rapida
- Garantire la compatibilità tra caricabatterie e autobus con i produttori
- Elevati costi iniziali e complessità logistica delle infrastrutture ad alta potenza

Conclusione: : l'uso di sistemi di ricarica rapida ad alta capacità ha portato a un risparmio sui costi energetici di circa il 68%, mantenendo al contempo il pieno rispetto degli orari e l'efficienza operativa. Il successo di Barcellona dimostra che la ricarica rapida può ridurre significativamente i costi operativi e consentire un servizio di autobus elettrici ad alta domanda senza grandi cambiamenti di orario. Le città con percorsi urbani densi e fermate regolari possono trarre vantaggio da caricatori rapidi situati in posizioni strategiche, che riducono la necessità di batterie sovradimensionate e aumentano il tempo di attività dei veicoli.

Fonte: TMB Barcelona Public Reports & ELIPTIC Deliverables. <https://www.sustainable-bus.com/electric-bus/solaris-delivers-three-articulated-urbino-electric-to-tmb-barcelona/>, <https://arquivo.pt/wayback/20201230033847/https://eliptic-project.eu/>

Recycle energy in storage systems



Buona pratica 2:

Integrazione di batterie di seconda vita ed energia solare per la ricarica degli autobus

Luogo: Maribor, Slovenia

Area di interesse: Riciclo dell'energia nel sistema di accumulo



Il banco di batterie

Obiettivi: implementare un banco batterie che utilizzi batterie di seconda vita riutilizzate, alimentate da fonti di energia rinnovabile (FER), per supportare il caricatore rapido presso la stazione di Vzpenjača.

Sfide:

- Elevata dipendenza dalla rete elettrica presso la stazione di ricarica rapida
- Vincoli tecnici, normativi ed economici per l'integrazione delle batterie
- Garantire una ricarica stabile degli autobus elettrici in diverse condizioni operative

Conclusione: grazie all'utilizzo di batterie di seconda vita per la ricarica degli autobus elettrici, il progetto pilota di Maribor dimostra come i modelli di economia circolare possano ottimizzare l'uso dell'energia, ridurre i costi e migliorare l'efficienza del trasporto pubblico. Questa iniziativa funge da modello per futuri investimenti in infrastrutture di trasporto urbano sostenibili.

Fonte: https://circularity4publictransport.eu/best_practice/use-of-used-batteries-to-store-energy-for-powering-a-fast-charger/

2.2. Strategia per aggiungere e recuperare valore e ottimizzare la fornitura di infrastrutture di trasporto pubblico lungo nuove catene del valore del ciclo di vita

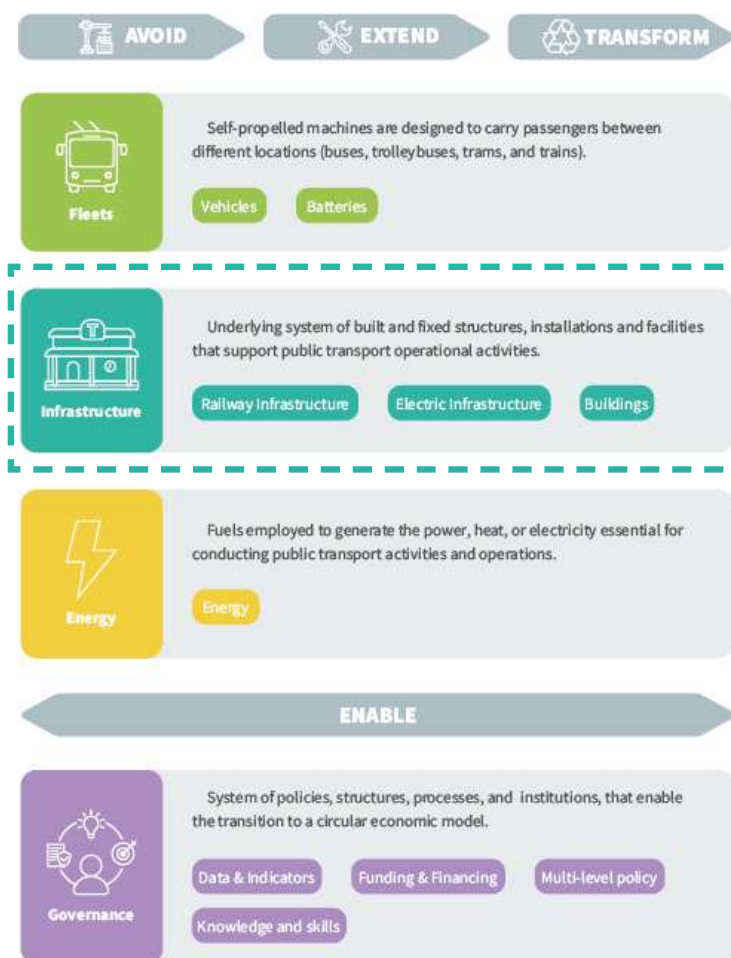


Figura 3. Il settore delle infrastrutture nella struttura della bussola della circolarità

infrastrutture - progettazione, costruzione, esercizio, manutenzione e dismissione - le infrastrutture del trasporto pubblico possono diventare più resilienti, efficienti in termini di costi e sostenibili dal punto di vista ambientale.

Basandosi sul circularity compass elaborato da CE4CE e sul quadro AVOID-EXTEND-TRANSFORM-ENABLE (AETE), questa strategia introduce un approccio sistemico alle infrastrutture che dà priorità alle decisioni di progettazione in fase iniziale, all'ottimizzazione del ciclo di vita e alla collaborazione lungo tutta la catena del valore

Gli obiettivi specifici della strategia sono:

- Ridurre il carbonio incorporato e l'uso di materiali nei nuovi progetti infrastrutturali.
- Prolungare la durata di vita e il valore funzionale delle infrastrutture esistenti.
- Consentire il riutilizzo, la riconversione e il riciclo dei componenti infrastrutturali.
- Migliorare la trasparenza e la tracciabilità dei materiali e delle risorse lungo i cicli di vita.
- Rafforzare il ruolo del procurement pubblico e degli strumenti digitali nel promuovere risultati circolari.

Le infrastrutture di trasporto pubblico, quali binari ferroviari, stazioni, depositi, sottostazioni elettriche ed edifici operativi, rappresentano una delle maggiori fonti di emissioni incorporate e di consumo di materiali nel settore dei trasporti. Le emissioni e gli impatti ambientali sono generati non solo durante il funzionamento, ma prevalentemente durante le fasi di progettazione, costruzione, manutenzione e fine vita, mediante l'utilizzo di materiali ad alta intensità di carbonio come calcestruzzo, acciaio e rame, e attraverso pratiche lineari di costruzione e demolizione

Un approccio di economia circolare consente alle autorità e agli operatori del trasporto pubblico di passare dalla sostituzione delle risorse alla loro gestione responsabile, massimizzando il valore delle infrastrutture nel corso di lunghi cicli di vita e riducendo al minimo i rifiuti e l'estrazione di risorse. Applicando i principi circolari all'intero ciclo di vita delle

2.2.1 Approcci

La strategia circolare per le infrastrutture di trasporto pubblico sposta l'attenzione dai cicli lineari di costruzione e sostituzione verso la gestione responsabile a lungo termine delle risorse e l'ottimizzazione del valore del ciclo di vita. Le infrastrutture quali binari, depositi, stazioni e sottostazioni rappresentano una delle principali fonti di emissioni intrinseche a causa di materiali ad alta intensità di carbonio come cemento e acciaio. Le decisioni prese durante la pianificazione e la progettazione determinano quindi gli impatti ambientali e finanziari per decenni. L'integrazione dei principi circolari in questa fase consente alle autorità e agli operatori del trasporto pubblico di evitare un uso superfluo di materiali, ridurre il sovradimensionamento e dare priorità a soluzioni durevoli, adattabili e modulari. Sostituire i materiali vergini con alternative riciclate o a basse emissioni di carbonio e applicare metodi di valutazione del ciclo di vita (LCA) e di calcolo dei costi del ciclo di vita (LCC) supporta decisioni di investimento informate che bilanciano le prestazioni ambientali e la fattibilità economica.

Durante la costruzione e l'esercizio, l'estensione della durata di vita delle infrastrutture diventa la leva circolare più efficace. La manutenzione preventiva e predittiva, supportata da sensori, analisi dei dati e sistemi di gestione digitale delle infrastrutture, consente agli operatori di individuare tempestivamente il deterioramento e ottimizzare i cicli di intervento. Ciò riduce le sostituzioni premature, preserva il valore intrinseco e aumenta l'affidabilità del servizio. Componenti infrastrutturali quali rotaie, ballast ed elementi elettrici possono spesso essere riutilizzati all'interno delle reti o riassegnati ad applicazioni meno impegnative. Il rafforzamento di queste pratiche richiede il coordinamento tra operatori, gestori delle infrastrutture e fornitori, nonché inventari delle infrastrutture più chiari e sistemi di monitoraggio delle condizioni.

Per sbloccare ulteriormente la conservazione del valore, i mercati dell'usato e le piattaforme di scambio digitale possono facilitare la ricircolazione strutturata dei componenti tra le reti. Standard di qualità trasparenti e meccanismi di tracciabilità sono essenziali per costruire la fiducia tra gli attori e scalare il riutilizzo oltre i casi isolati. Allo stesso tempo, le strategie di approvvigionamento dovrebbero affrontare la dipendenza dai fornitori e la disponibilità limitata di pezzi di ricambio incoraggiando la progettazione modulare, la riparabilità e gli impegni di manutenzione a lungo termine.

Al termine del ciclo di vita, il riutilizzo dovrebbe avere la priorità rispetto al riciclo. Mentre metalli come l'acciaio e il rame possono essere recuperati in modo efficace, altri materiali richiedono una migliore separazione, logistica e collaborazione con riciclatori specializzati. Integrare le considerazioni relative allo smontaggio già in fase di progettazione migliora i tassi di recupero futuri. Laddove il riutilizzo non sia fattibile, le infrastrutture possono essere riutilizzate per funzioni alternative, evitando le emissioni legate alla demolizione e preservando il valore strutturale.

In tutte le fasi del ciclo di vita, gli appalti e la governance fungono da leve abilitanti centrali. Incorporando criteri circolari, costi del ciclo di vita e requisiti basati sulle prestazioni nelle gare d'appalto e nei contratti, le autorità pubbliche possono influenzare le catene di approvvigionamento e promuovere l'innovazione. Strumenti digitali come il Building Information Modelling (BIM) e i sistemi di tracciabilità dei materiali rafforzano la trasparenza del ciclo di vita, supportano l'ottimizzazione delle quantità e facilitano la gestione patrimoniale a lungo termine. Infine, il successo dell'implementazione dipende dallo sviluppo di capacità interne e dalla collaborazione intersettoriale che colleghi gli attori dei settori dei trasporti, dell'edilizia, della gestione dei rifiuti e dell'energia.

Insieme, questi approcci consentono ai sistemi infrastrutturali di passare da modelli di costruzione ad alto consumo di risorse a sistemi patrimoniali circolari resilienti e in grado di mantenere il valore.

2.2.2 Fattori chiave

La trasformazione circolare delle infrastrutture di trasporto pubblico richiede più di semplici adeguamenti tecnici; dipende da condizioni favorevoli che supportino un processo decisionale a lungo termine e orientato al ciclo di vita. Strumenti digitali, quadri di governance, ecosistemi di innovazione e tecnologie appropriate creano le basi per ridurre le emissioni incorporate, prolungare la durata delle infrastrutture e migliorare il recupero di valore. I seguenti fattori abilitanti forniscono il supporto strutturale e organizzativo necessario per attuare strategie di infrastrutture circolari in modo efficace e su larga scala.






 Digitalizzazione	 Governance	 Innovazione	 Tecnologia	 Fattori abilitanti aggiuntivi
Utilizzo del BIM per la pianificazione del ciclo di vita, l'ottimizzazione dei materiali e la progettazione finalizzata allo smontaggio.	Integrazione degli obiettivi circolari nella pianificazione delle infrastrutture e nelle strategie di investimento.	Progetti pilota per il riutilizzo e la ristrutturazione di componenti delle infrastrutture.	Adozione di materiali da costruzione a basse emissioni di carbonio e riciclati.	Formazione del personale e sviluppo delle capacità interne in materia di gestione circolare delle infrastrutture.
Sistemi di gestione digitale delle risorse per monitorare lo stato, l'età e le prestazioni.	Uso sistematico dell'LCC e dell'LCA negli appalti e nella valutazione dei progetti.	Sviluppo di mercati dell'usato e piattaforme di scambio.	Componenti infrastrutturali modulari e standardizzati.	Accesso a finanziamenti per la ristrutturazione e gli investimenti basati sul ciclo di vita.
Strumenti di manutenzione predittiva (sensori, IA, analisi dei dati) per prolungare la durata delle infrastrutture.	Criteri di appalto circolari che promuovano la durata, la modularità e la riciclabilità.	Modelli contrattuali basati sulle prestazioni e orientati ai servizi.	Tecnologie avanzate di ispezione e monitoraggio strutturale.	Linee guida standardizzate per il riutilizzo e il riciclo.
Inventari digitali dei materiali e passaporti per supportare il riutilizzo e il recupero.	Responsabilità chiare per le fasi di manutenzione, ristrutturazione e fine vita.	Collaborazione con innovatori del settore della ricerca e dell'edilizia.	Tecniche efficienti di smantellamento e separazione dei materiali.	Cooperazione inter-settoriale tra gli attori dei settori dei trasporti, dell'edilizia e dei rifiuti.
Piattaforme dati integrate per monitorare le emissioni incorporate e l'utilizzo delle risorse.	Allineamento alle normative UE in materia di rifiuti, edilizia e clima.	Partecipazione alle reti europee di condivisione delle conoscenze.	Progetti infrastrutturali aggiornabili e adattabili.	Quadri di monitoraggio e indicatori di prestazione.

Tabella 2. Fattori chiave delle strategie infrastrutturali nel trasporto pubblico

2.2.3 Esempi di buone pratiche



Reuse of carbon-intensive materials

Buona pratica 1:

Applicazioni di materiali a basse emissioni di carbonio nelle strutture del trasporto pubblico

Luogo: Napoli, Italia

Area di intervento: Rifiuto dell'uso di materiali ad alta intensità di carbonio



Stazione Centrale di Napoli

Obiettivi: migliorare la qualità architettonica della stazione e garantire stabilità strutturale e durata utilizzando il legno come elemento strutturale principale. Questo materiale offre affidabilità strutturale ed economicità, riducendo al contempo in modo significativo l'impatto ambientale. Inoltre, la leggerezza del legno consente una costruzione più rapida, riducendo il consumo energetico complessivo durante l'assemblaggio.

Sfide:

- Preoccupazioni relative alla durabilità e alla sicurezza antincendio
- Il comportamento strutturale flessibile rende difficile garantire un allineamento e un funzionamento affidabili nelle stazioni dotate di porte di sicurezza sulle banchine

Conclusione: Questo progetto dimostra che, integrando materiali riciclati e circolari come il legno nelle infrastrutture di trasporto pubblico, le città possono ottenere una riduzione delle emissioni di carbonio incorporate, una maggiore efficienza delle risorse e una maggiore sostenibilità del ciclo di vita.

Fonte: <https://www.arup.com/insights/material-change-can-timber-play-a-role-in-sustainable-rail-infrastructure>
<https://www.archdaily.com/970506/new-images-reveal-embts-timber-central-station-in-naples>



Reuse spare parts and components

Buona pratica 2:

Riutilizzo di scambi per filobus molto utilizzati

Luogo: Szeged, Ungheria

Area di interesse: Riutilizzo di pezzi di ricambio e componenti



Filobus a Szeged

Obiettivi: sostituire gli interruttori dei filobus più usurati in punti critici con nuove unità e trasferire quelli usurati in aree della rete a minore intensità di traffico, in particolare al deposito dei filobus in Körtöltés utca, per un loro utilizzo prolungato.

Sfida: gli scambi dei filobus subiscono vari gradi di usura a seconda della loro ubicazione e della frequenza di utilizzo.

Conclusione: il sistema beneficia sia di una maggiore affidabilità nei punti chiave che di un uso prolungato di materiali di valore, con l'obiettivo di raddoppiare la durata di vita tipica dei componenti, che è di 15-20 anni. L'iniziativa riduce gli sprechi e offre un modello scalabile per la gestione sostenibile delle risorse nel trasporto pubblico elettrico. Allineando le strategie di gestione del ciclo di vita delle risorse ai principi dell'economia circolare promossi nell'ambito del progetto CE4CE, la soluzione di Szeged fornirà anche un modello per altri operatori di trasporto che cercano di adottare strategie simili di riutilizzo delle infrastrutture.

Fonte: https://circularity4publictransport.eu/best_practice/demonstration-on-how-to-prolong-the-lifespan-of-electric-public-transport-infrastructure-reutilizing-heavily-used-trolleybus-switches-in-szeged-hungary/

2.3. Strategia per aggiungere e recuperare valore e ottimizzare la fornitura di materiale rotabile/veicoli lungo le nuove catene del valore del ciclo di vita

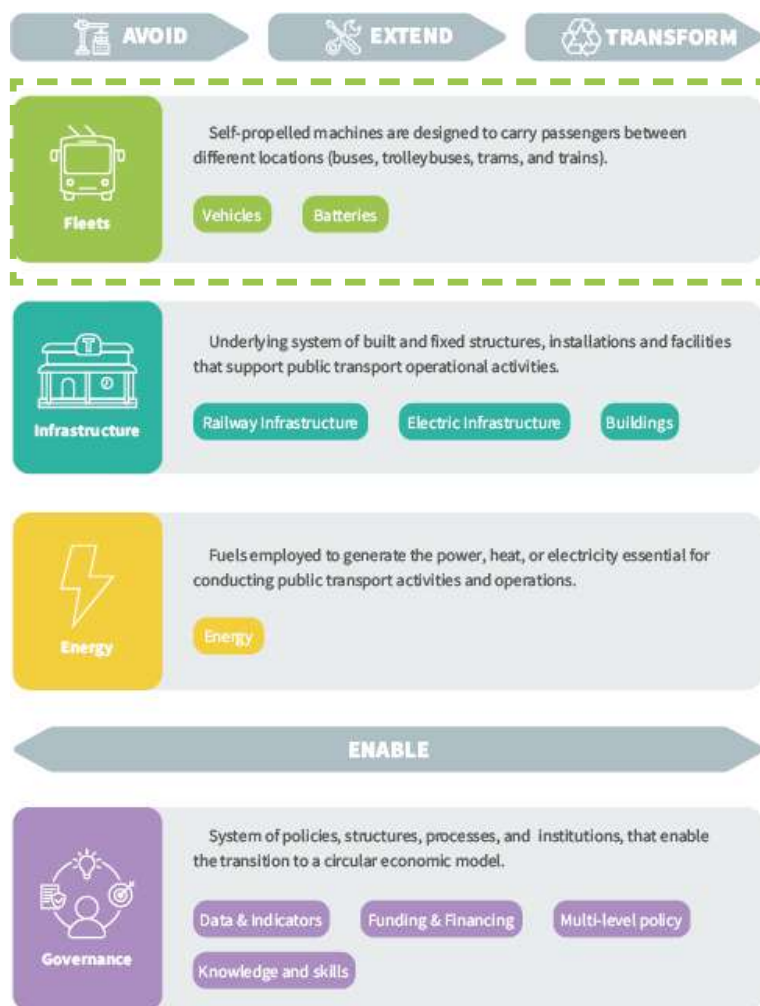


Figura 4. Struttura della bussola della circolarità nel settore del materiale rotabile

incorporate, prolungare la durata dei veicoli, ottimizzare l'uso delle risorse e creare nuovi flussi di valore attraverso il riutilizzo, il ricondizionamento e le applicazioni di seconda vita.

Basandosi sul circularity compass sviluppato da CE4CE e sul quadro AVOID-EXTEND-TRANSFORM-ENABLE (AETE), questa strategia considera i veicoli, le batterie e la manutenzione come sottosistemi interconnessi e identifica l'approvvigionamento come il punto chiave per un cambiamento sistemico

Gli obiettivi specifici della strategia sono:

- Ridurre al minimo l'impatto dei materiali e dell'energia durante la progettazione e la produzione dei veicoli.
- Prolungare la vita operativa dei veicoli e dei componenti chiave.
- Consentire il riutilizzo, la rigenerazione e il riutilizzo del materiale rotabile e delle batterie.
- Migliorare la tracciabilità e la responsabilità lungo tutto il ciclo di vita del materiale rotabile.
- Integrare i criteri dell'economia circolare nel procurement e nella gestione della flotta

Il trasporto pubblico - autobus, filobus, tram e treni metropolitani - svolge un ruolo centrale nella decarbonizzazione dei sistemi di mobilità. L'elettrificazione sta accelerando in tutta Europa, ma senza un approccio basato sull'economia circolare questa transizione rischia di spostare gli impatti a monte, in particolare attraverso l'uso intensivo di materie prime, processi di produzione ad alto consumo energetico e flussi di rifiuti in crescita a fine vita, specialmente per le batterie e i componenti elettronici.

Un approccio basato sull'economia circolare consente agli operatori del trasporto pubblico (PTO) e alle autorità (PTA) di andare oltre i cicli di sostituzione dei veicoli e di gestire invece il materiale rotabile come beni di valore a lungo termine. Adottando una visione basata sul ciclo di vita negli appalti, nell'esercizio, nella manutenzione e nella dismissione, le strategie circolari possono ridurre le emissioni

2.3.1 Approcci

La strategia circolare per il materiale rotabile e i veicoli si concentra sulla gestione di autobus, tram, treni metropolitani e dei loro componenti come beni di valore a lungo termine piuttosto che come prodotti con un ciclo di sostituzione breve. L'elettrificazione riduce le emissioni operative, ma la produzione di veicoli e batterie rimane ad alta intensità di risorse e dipendente da materie prime critiche. Un approccio circolare affronta quindi l'intero ciclo di vita del veicolo, dalla progettazione e dall'approvvigionamento all'esercizio, alla rigenerazione e alla gestione a fine vita.

Il punto di leva più forte per il materiale rotabile circolare risiede nella fase di approvvigionamento e progettazione dei veicoli, dove le decisioni prese prima che un veicolo entri in servizio possono determinare le prestazioni ambientali, i requisiti di manutenzione e le opzioni di fine vita per decenni. Le autorità e gli operatori del trasporto pubblico possono integrare i criteri dell'economia circolare direttamente nei capitolati d'appalto, richiedendo il calcolo dei costi del ciclo di vita (LCC), la valutazione del ciclo di vita (LCA), architetture modulari dei veicoli, riparabilità, aggiornabilità, sostituibilità delle batterie e alti livelli di recuperabilità dei materiali. Per gli autobus elettrici e altri veicoli a emissioni zero, i capitolati d'appalto possono anche affrontare la durata delle batterie, il potenziale di seconda vita, la standardizzazione dei componenti, la disponibilità di pezzi di ricambio e le responsabilità del produttore per i programmi di ritiro o ricondizionamento. Integrando tali requisiti fin dall'inizio, le autorità possono evitare l'obsolescenza prematura, ridurre il consumo di risorse e prolungare la durata dei veicoli. Ciò sposta le decisioni di procurement da un'attenzione ai costi di acquisto iniziali verso il valore totale del ciclo di vita, la resilienza operativa e le prestazioni ambientali a lungo termine. I dipartimenti appalti, i produttori e i fornitori svolgono quindi un ruolo fondamentale, poiché i requisiti contrattuali influenzano direttamente la progettazione dei veicoli, la selezione dei materiali, i modelli di manutenzione e le pratiche commerciali circolari. I contratti basati sulle prestazioni e orientati ai servizi possono incentivare ulteriormente la durata, la riparabilità e l'ottimizzazione del ciclo di vita piuttosto che la sostituzione anticipata.

Durante la progettazione dei veicoli e la pianificazione della flotta, la circolarità viene rafforzata evitando l'uso superfluo di materiali e il sovradimensionamento. L'ottimizzazione delle dimensioni delle batterie, la selezione di sistemi di propulsione efficienti e la scelta di configurazioni interne adattabili riducono le emissioni incorporate e migliorano l'efficienza operativa. Strumenti di simulazione digitale, software di modellazione della flotta e gemelli digitali supportano l'analisi degli scenari e il confronto tecnologico, consentendo alle autorità di bilanciare le esigenze operative con l'efficienza delle risorse.

L'estensione della durata di vita dei veicoli e dei componenti rappresenta un'altra misura chiave. La manutenzione preventiva e predittiva, supportata da diagnostica di bordo, sensori e sistemi di monitoraggio basati sull'intelligenza artificiale, consente agli operatori di rilevare tempestivamente il degrado e di intervenire prima che si verifichino guasti. Programmi di ristrutturazione, come le revisioni a metà vita di autobus o tram, consentono ai componenti strutturali di rimanere in servizio mentre si aggiornano i sottosistemi critici. Operatori, OEM e fornitori di servizi di manutenzione devono cooperare strettamente per garantire la disponibilità dei pezzi di ricambio, la documentazione tecnica e il supporto a lungo termine.

La gestione delle batterie è particolarmente centrale nelle strategie di circolarità del

materiale rota-bile. Le batterie hanno profili di degrado diversi rispetto ai veicoli e spesso possono essere riutilizzate per lo stoccaggio di energia stazionaria una volta che non sono più adatte all'uso per la trazione. La creazione di applicazioni di seconda vita richiede il coordinamento tra operatori, fornitori di energia, aziende specializzate in pratiche di riciclo e integratori tecnologici. I passaporti digitali delle batterie e gli strumenti di monitoraggio delle prestazioni migliorano la tracciabilità e facilitano il riutilizzo, mentre la conformità alle normative UE in evoluzione sulle batterie supporta percorsi strutturati di recupero e riciclo.

Al termine del ciclo di vita, i veicoli e i componenti dovrebbero essere progettati e gestiti in modo da facilitare lo smontaggio, la separazione dei materiali e il riciclo di alta qualità. La costruzione modulare, i collegamenti reversibili e una documentazione chiara migliorano i tassi di recupero e riducono i rifiuti. La collaborazione tra produttori, demolitori e aziende specializzate è essenziale per chiudere i cicli dei materiali e reintegrare metalli e componenti di valore in nuovi cicli di produzione.

In tutte le fasi del ciclo di vita, la governance e lo sviluppo delle capacità interne sono fondamentali. Le strategie di rinnovo della flotta dovrebbero allinearsi agli obiettivi a lungo termine in materia di clima ed economia circolare, supportate da indicatori di prestazione trasparenti e da quadri di monitoraggio. La partecipazione alle reti di settore e alle iniziative europee consente agli operatori di condividere le lezioni apprese e di accelerare la replica di approcci innovativi.

Nel loro insieme, queste misure trasformano la gestione del materiale rotabile da un modello di sostituzione lineare a un approccio basato sulla catena del valore del ciclo di vita. Combinando la leva del procurement, gli strumenti digitali, la manutenzione predittiva, il riutilizzo delle batterie e la gestione responsabile del fine vita, le autorità e gli operatori del trasporto pubblico possono ridurre la dipendenza dai materiali, ottimizzare i costi del ciclo di vita e rafforzare la resilienza nella transizione verso sistemi di mobilità climaticamente neutri.

2.3.2 Fattori chiave

La trasformazione circolare del materiale rotabile richiede più di semplici miglioramenti nella tecnologia dei veicoli; dipende da condizioni strutturali e organizzative che consentano l'ottimizzazione del ciclo di vita. Strumenti digitali, quadri di approvvigionamento lungimiranti, partnership per l'innovazione e scelte tecnologiche appropriate costituiscono le basi per prolungare la durata dei veicoli, consentire il riutilizzo delle batterie e garantire una gestione responsabile a fine vita. I seguenti fattori abilitanti supportano le autorità di trasporto pubblico, gli operatori e i fornitori nell'integrare la circolarità nell'intero ciclo di vita del materiale rotabile.

 Digitalizzazione	 Governance	 Innovazione	 Tecnologia	 Fattori abilitanti aggiuntivi
Utilizzo di digital twin e strumenti di simulazione della flotta per la pianificazione della flotta basata sul ciclo di vita e il confronto tecnologico.	Integrazione dei criteri dell'economia circolare nell'approvvigionamento del materiale rotabile, inclusi i requisiti di durata, riparabilità e riciclabilità.	Progetti pilota per testare le applicazioni di seconda vita delle batterie e i modelli di riutilizzo.	Adozione di una progettazione modulare dei veicoli per consentire la riparazione, l'aggiornamento e uno smontaggio più agevole.	Sviluppo delle competenze dei team di approvvigionamento e manutenzione in materia di gestione circolare dei veicoli.
Implementazione di sistemi di diagnostica di bordo e di manutenzione predittiva (sensori, IA, analisi dei dati) per prolungare la durata dei veicoli e dei componenti.	Utilizzo sistematico del calcolo dei costi del ciclo di vita (LCC) e della valutazione del ciclo di vita (LCA) nelle decisioni relative al rinnovo della flotta.	Sviluppo di programmi di ricondizionamento e aggiornamento a metà vita per autobus e veicoli ferroviari.	Utilizzo di sistemi di propulsione efficienti dal punto di vista energetico e di tecnologie rigenerative.	Accesso a meccanismi di finanziamento a sostegno della ristrutturazione e degli investimenti basati sul ciclo di vita.
Implementazione di sistemi di gestione digitale delle risorse per monitorare le condizioni e le prestazioni dei veicoli.	Chiara attribuzione delle responsabilità per le fasi di manutenzione, ristrutturazione e fine vita.	Modelli contrattuali orientati ai servizi e basati sulle prestazioni che favoriscano la durata nel tempo.	Implementazione di sistemi avanzati di gestione delle batterie per ottimizzarne le prestazioni e la durata.	Linee guida standardizzate per la riparazione, il riutilizzo e il riciclo dei componenti dei veicoli.
Introduzione di passaporti digitali per le batterie al fine di migliorare la tracciabilità, il riutilizzo e la conformità normativa.	Allineamento ai quadri normativi dell'UE (ad es. Direttiva Clean Vehicles, Regolamento UE sulle batterie).	Collaborazione con produttori, istituti di ricerca e startup in materia di progettazione circolare dei veicoli.	Attuazione dei principi di progettazione per lo smontaggio per migliorare il riciclo e il recupero dei materiali.	Cooperazione inter-settoriale tra operatori dei trasporti, fornitori di energia e aziende di riciclo.
Integrazione dei dati sul ciclo di vita nelle piattaforme di gestione della flotta per supportare le decisioni di ricondizionamento e sostituzione.	Strategie a lungo termine per le flotte in linea con gli obiettivi di neutralità climatica ed efficienza delle risorse.	Partecipazione a reti europee e settoriali per lo scambio di buone pratiche e l'ampliamento delle soluzioni.	Integrazione di tecnologie di ricarica e accumulo adatte per supportare le esigenze in evoluzione della flotta.	Quadri di monitoraggio e indicatori di prestazione per tracciare le prestazioni delle flotte circolari.

Tabella 3. Fattori chiave delle strategie relative alle flotte nel trasporto pubblico

2.3.3 Esempi di buone pratiche



Redesign operations for more ridership

Buona pratica 1:

Strumento di simulazione Digital Twin E-corridor

Luogo: Gdynia, Polonia

Area di interesse: Riprogettazione delle operazioni per soluzioni più efficienti dal punto di vista energetico



E-Bus a Gdynia

Obiettivi: È stato sviluppato un gemello digitale per simulare diversi scenari di elettrificazione e ricarica per i corridoi del trasporto pubblico della città. Lo strumento supporta il dimensionamento ottimizzato delle batterie, la condivisione delle infrastrutture e l'uso dell'energia, consentendo una pianificazione efficiente delle risorse della flotta e prolungando la durata delle risorse attraverso un processo decisionale informato

Sfide:

- Il trasporto pubblico è “a basse emissioni di carbonio”, ma comporta ancora un uso intensivo di risorse e la produzione di molti rifiuti
- Disponibilità dei dati + integrazione tra veicoli e infrastruttur

Conclusione: Nel complesso, il gemello digitale può rappresentare un ottimo punto di partenza per un'analisi costi-benefici complessa e precisa per l'elettrificazione integrata del trasporto pubblico. Nella sua fase finale, sulla base della revisione tra pari e del feedback degli utenti, il gemello digitale di simulazione sarà trasformato in uno strumento di pianificazione aziendale circolare, universale, pratico e utile per le flotte e le infrastrutture del trasporto pubblico elettrificato.

Fonte: https://circularity4publictransport.eu/best_practice/a-digital-twin-a-circular-economy-business-tool-for-public-transport-planners-and-operators/

Retrofit existing vehicle fleet



Good practice 2:

second-hand diesel public buses converted into electric vehicles

Luogo: Ankara, Turchia

Area di interesse: Adeguamento della flotta di veicoli esistente



Autobus elettrico riadattato ad Ankara

Obiettivi: accelerare il processo di transizione verso una soluzione di trasporto pubblico più rispettosa dell'ambiente e a basse emissioni di carbonio, che prolunghi la vita degli autobus in modo circolare.

In questa innovazione, la carrozzeria, il telaio e gli assi vengono mantenuti nella loro forma originale, con i vecchi sistemi di alimentazione; al posto del motore diesel, della trasmissione e del sistema di alimentazione, vengono installati un motore elettrico, pacchi batteria e sistemi di gestione della batteria, trasformando il veicolo in un autobus 100% elettrico.

Sfide:

- Autonomia limitata, infrastrutture di ricarica insufficienti, elevato costo iniziale di acquisto

Conclusione: In Conclusione, la conversione dei vecchi autobus diesel in autobus elettrici rappresenta un modo pratico e sostenibile per modernizzare il trasporto pubblico, riducendo al contempo gli sprechi e i costi. La conversione può costare solo il 35-45% del prezzo di un nuovo autobus elettrico, si ammortizza in circa 24 mesi e garantisce un'autonomia fino a 300 km dopo una ricarica di 3,5 ore. Sebbene le ricerche dimostrino che, in alcune condizioni estive, gli autobus convertiti possano consumare più energia rispetto agli autobus elettrici di nuova costruzione, essi offrono comunque notevoli vantaggi ambientali: studi sulla conversione indicano infatti una riduzione delle emissioni di CO₂ compresa tra il 28 e il 42% e una diminuzione dei costi energetici tra il 57 e il 64% rispetto agli autobus diesel.

Fonte: <https://academic.oup.com/ijlct/article/doi/10.1093/ijlct/ctae049/7723583>
<https://aim2flourish.com/innovations/buses-that-come-alive-again-with-electricity-7>

3. Piani d'azione per affrontare le sfide essenziali nel settore del trasporto pubblico

Basandosi sulle esperienze e sui risultati delle attività e delle strategie pilota di CE4CE, i quattro piani d'azione presentati in questo manuale trasformano i test tecnici, la cooperazione tra gli stakeholder e la riflessione strategica in quadri orientati all'attuazione e adattati ai contesti specifici dei partner del progetto: Azienda di Trasporti Pubblici di Lipsia - LVB (Germania), Operatore di autobus di Gdynia - PKA (Polonia), Azienda dei Trasporti di Bergamo - ATB Mobilità (Italia) e Comune di Maribor (Slovenia). I piani d'azione CE4CE affrontano un'ampia gamma di sfide relative alle infrastrutture del trasporto pubblico, al materiale rotabile, ai sistemi energetici e alla gestione operativa. Tra i temi chiave figurano la manutenzione predittiva, l'efficienza energetica, gli appalti circolari, la condivisione delle infrastrutture, l'integrazione delle energie rinnovabili, il riutilizzo delle batterie e la gestione delle risorse orientata al ciclo di vita.

Sebbene ogni piano d'azione rifletta le esigenze e le priorità specifiche delle istituzioni partecipanti, tutti contribuiscono all'obiettivo comune di ridurre i rifiuti, preservare il valore, migliorare l'efficienza delle risorse e rafforzare la sostenibilità e la resilienza a lungo termine dei sistemi di trasporto pubblico. I piani d'azione sviluppati per Maribor, Lipsia, Gdynia e Bergamo dimostrano come i principi dell'economia circolare possano essere integrati nella pianificazione della mobilità, nella gestione delle infrastrutture, nei processi di appalto e nelle pratiche operative attraverso la cooperazione tra gli stakeholder, la digitalizzazione, misure di governance e approcci di attuazione graduale. Allo stesso tempo, forniscono esperienze trasferibili e orientamenti pratici per le autorità di trasporto pubblico, gli operatori, i comuni e altre parti interessate che desiderano applicare approcci simili nei propri contesti urbani e regionali.

3.1. Piano d'azione per la raccolta e l'utilizzo dell'energia residua dei treni e la ricarica delle batterie usate con fonti di energia rinnovabile a Maribor, Slovenia



Figura 5. Quadro strategico a sostegno della visione per

l'Economia Circolare del Comune di Maribor 2024-2030, e con i più ampi quadri dell'UE quali il Patto Verde Europeo e il Piano d'Azione per l'Economia Circolare a sostegno della transizione verso un settore dei trasporti decarbonizzato, efficiente dal punto di vista energetico e circolare.

3.1.1 Contesto strategico e quadro di riferimento per lo sviluppo del piano d'azione

Il piano d'azione di Maribor è stato sviluppato nell'ambito del progetto CE4CE come aggiornamento della "Strategia per un'infrastruttura di ricarica multifunzionale ed efficiente dal punto di vista ambientale" del 2022 ed è fortemente integrato nel processo del Piano di Mobilità Urbana Sostenibile (SUMP) comunale. Risponde alla necessità di ridurre il consumo energetico, le emissioni e le inefficienze nel sistema di trasporto pubblico di Maribor introducendo soluzioni circolari ed efficienti dal punto di vista energetico. Il piano è in linea con il Piano di Mobilità Urbana Sostenibile di Maribor - SUMP Maribor (aggiornato nel 2026), la Strategia di Transizione verso

La sfida principale affrontata dal Piano d'azione è la crescente domanda di elettricità legata all'elettificazione del trasporto pubblico. Maribor sta passando da un sistema energetico dei trasporti basato sui combustibili fossili a un sistema più concentrato basato sull'elettricità, il che richiede infra-strutture di ricarica più solide, una migliore gestione dell'energia e una riduzione della pressione sulla rete elettrica. L'analisi degli stakeholder ha individuato diversi ostacoli concreti: integrazione insufficiente delle fonti di energia rinnovabile, mancanza di sistemi sistematici di accumulo di energia in batterie, ricarica intelligente limitata, riutilizzo sottosviluppato di batterie e componenti e scarsa integrazione tra la pianificazione dei trasporti, quella territoriale e quella energetica. I vincoli normativi tra produttori, distributori e consumatori sono stati valutati come uno degli ostacoli più significativi, insieme alla dipendenza dai finanziamenti dell'UE e comunali.

Il Piano d'azione non è giuridicamente vincolante, ma le sue misure sono integrate nel SUMP di Maribor, il che conferisce loro una base di attuazione più solida. Il piano funge quindi da quadro orientato all'attuazione che collega gli obiettivi di mobilità, energia ed economia circolare.

3.1.2 Visione, traguardi e obiettivi

La visione del Piano d'azione di Maribor è quella di sviluppare servizi di trasporto pubblico competitivi, efficienti dal punto di vista energetico e sostenibili utilizzando tecnologie a basse emissioni di carbonio e fonti energetiche alternative. L'obiettivo è ridurre le emissioni, migliorare la qualità dell'aria, abbassare i livelli di rumore nelle aree urbane, diminuire il consumo energetico per la mobilità e istituire un sistema di trasporto di facile utilizzo, digitale e socialmente accettato. Il Piano d'azione definisce una transizione graduale verso un sistema di trasporto pubblico a basse emissioni, efficiente dal punto di vista energetico e orientato all'utente attraverso dimensioni strategiche e una serie di tappe di attuazione a medio e lungo termine.

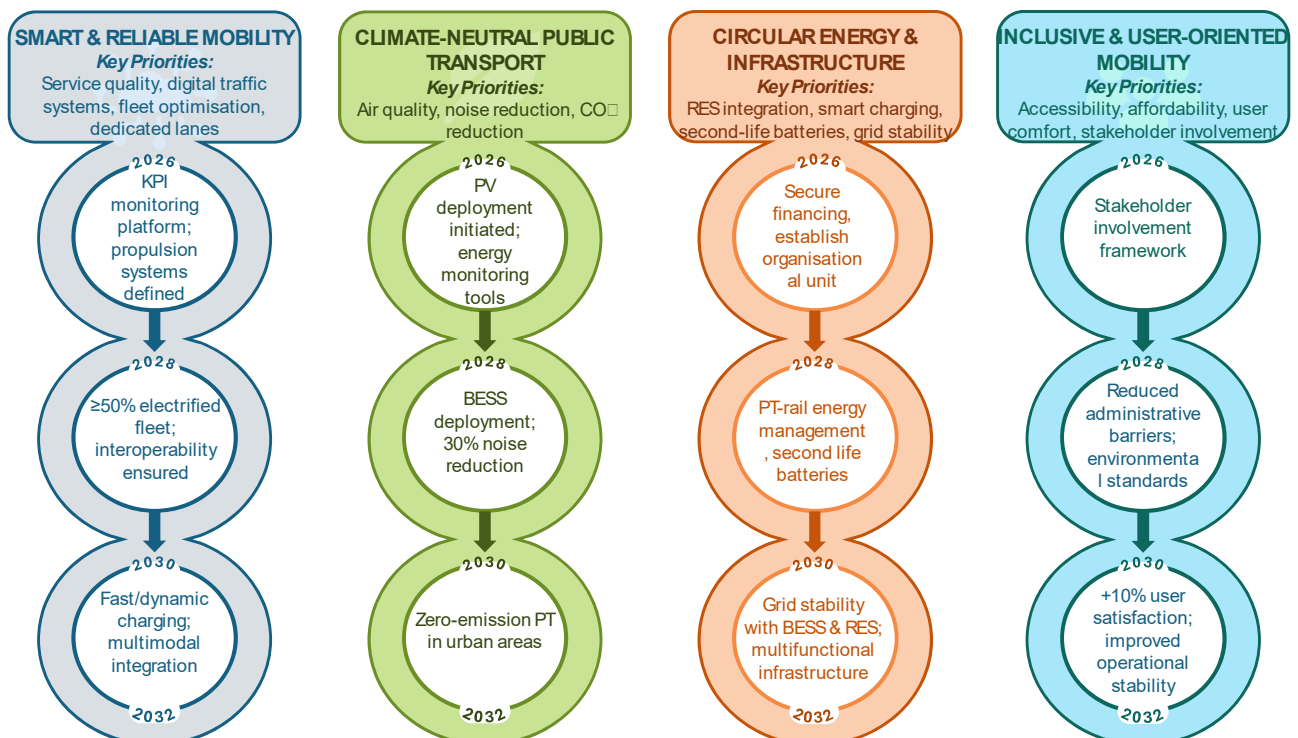


Figura 6. Visione e obiettivi strategici del Piano d'azione di Maribor

3.1.3 Misure chiave

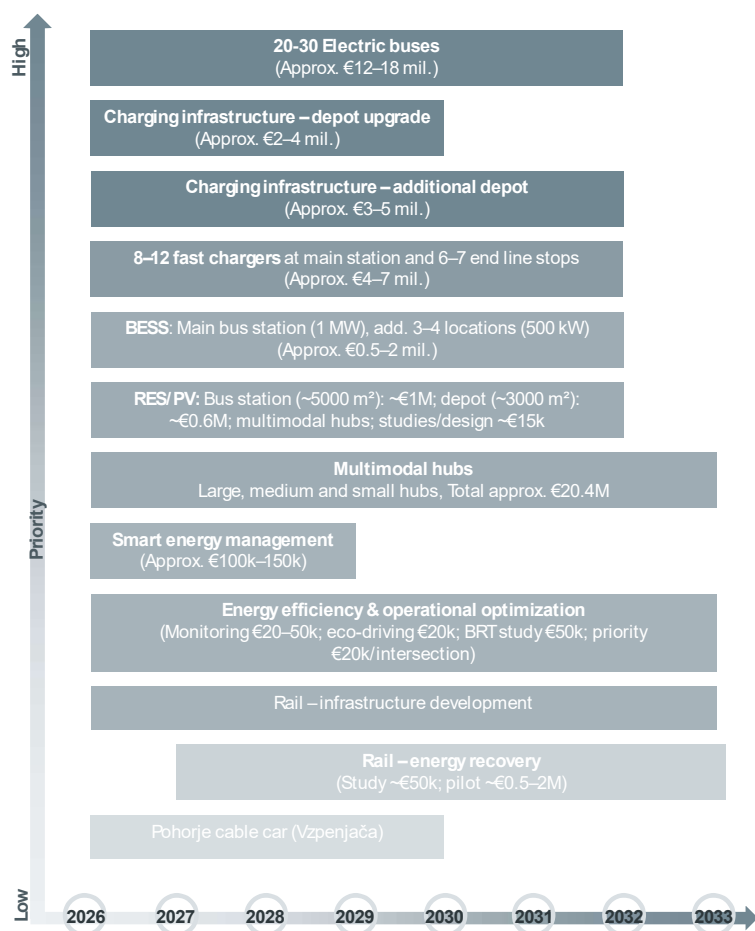


Figura 7. Misure chiave di Maribor e calendario di attuazione euro.

L'attuazione si basa su una combinazione di meccanismi di finanziamento, tra cui le fonti più frequentemente citate sono i fondi locali, i programmi di finanziamento dell'UE, l'Eco Fund sloveno e i contributi del settore privato, in particolare per gli investimenti in energie rinnovabili

L'attuazione è prevista in fasi tra il 2026 e il 2032 e prevede la cooperazione tra autorità municipali, operatori del trasporto pubblico, partner tecnici e altre parti interessate locali. Il calendario di attuazione è definito in intervalli di tempo più ampi piuttosto che in anni specifici. Un calendario più dettagliato e operativo è fornito all'interno del SUMP di Maribor, che funge da quadro di attuazione principale per lo sviluppo dei trasporti nella città.

3.1.4 Aspetti relativi al monitoraggio e alla valutazione

Il monitoraggio del Piano d'azione di Maribor sarà allineato al quadro di monitoraggio e rendicontazione annuale del SUMP di Maribor, ma esteso per includere indicatori energetici e di circolarità. Il Co-mune di Maribor coordinerà la raccolta e l'elaborazione dei dati insieme alle principali parti interessate: Marprom, Public Holdings Maribor, l'Agenzia per l'Energia, Elektro Maribor e l'Università di Maribor.

Il sistema di monitoraggio utilizzerà indicatori chiave di prestazione (KPI) relativi a mobilità, ambiente, energia, infrastrutture, operazioni e aspetti legati agli utenti.

Gli indicatori di mobilità includono il rapporto tra i tempi di percorrenza del trasporto pubblico, la puntualità e l'affidabilità, il numero di passeggeri e l'occupazione dei veicoli. Gli indicatori ambientali includono le emissioni di CO₂, gli inquinanti atmosferici come NO_x e PM, ove disponibili, e i livelli di rumore urbano. Gli indicatori energetici includono il consumo energetico per veicolo o passeggero, la quota di energia rinnovabile nel mix energetico del trasporto pubblico e la riduzione del carico di picco grazie al BESS. Gli indicatori infra-strutturali includono la capacità di ricarica installata, la capacità del BESS e la capacità fotovoltaica.

I dati proverranno da sistemi di gestione della flotta, strumenti di monitoraggio energetico, dati sulle infrastrutture di ricarica, analisi dei trasporti, sondaggi, monitoraggio delle infrastrutture e set di dati esterni forniti dai fornitori di energia. La valutazione sarà effettuata ogni 2-3 anni e metterà a confronto i risultati raggiunti con gli obiettivi pianificati, valuterà l'efficacia in termini di costi, identificherà gli ostacoli all'attuazione e i fattori di successo, analizzerà gli impatti a livello di sistema e includerà il feedback degli stakeholder e degli utenti. I risultati saranno utilizzati per rivedere le misure, affinare le priorità di investimento e mantenere l'allineamento con il SUMP.

3.1.5 Coinvolgimento degli stakeholder nel processo di preparazione e attuazione

Il coinvolgimento degli stakeholder è stato organizzato attraverso workshop locali, consultazioni con esperti e nell'ambito del quadro di collaborazione e sviluppo congiunto offerto dal progetto CE4CE. Il processo ha coinvolto attori a livello comunale, regionale, accademico, energetico, dei trasporti e del settore privato, nonché i partner del progetto. A livello comunale, i principali partecipanti includevano il Comune di Maribor, Marprom in qualità di operatore del trasporto pubblico, attori delle infrastrutture comunali e dei lavori pubblici, il fornitore locale di energia e teleriscaldamento e l'azienda pubblica di gestione dei rifiuti. Gli attori regionali includevano l'Agenzia di Sviluppo Regionale per Podravje-Maribor e l'agenzia regionale per l'energia. L'Università di Maribor ha contribuito in qualità di principale partner accademico e di ricerca. Il contributo tecnologico e del settore privato è provenuto dai distributori di infrastrutture di ricarica rapida e di autobus elettrici.



Figura 8. Workshop con gli stakeholder sull'economia circolare e l'energia nel trasporto pubblico. Crediti: Comune di Maribor, CE4CE

Il processo di coinvolgimento si è concentrato sull'identificazione delle sfide e delle esigenze relative all'applicazione dei principi dell'economia circolare nel trasporto pubblico, in particolare in relazione al consumo energetico, alle energie rinnovabili, allo stoccaggio e al riutilizzo dell'energia. Gli stakeholder hanno valutato ostacoli quali la scarsa integrazione delle energie rinnovabili, la mancanza di ricarica intelligente, il

monitoraggio insufficiente, i vincoli normativi, le complesse procedure di autorizzazione, lo scarso coordinamento tra la pianificazione territoriale, dei trasporti e energetica, e i sistemi sottosviluppati per il riutilizzo di componenti e batterie.

Il processo ha contribuito a definire le priorità del Piano d'azione, tra cui l'implementazione di sistemi di accumulo di energia (BESS), la ricarica intelligente, l'integrazione del fotovoltaico, l'uso dell'energia ferroviaria rigenerativa, gli hub energetici multimodali e una governance migliorata. Ha inoltre rafforzato la cooperazione tra gli stakeholder dei settori dei trasporti e dell'energia, identificata come essenziale per l'attuazione.

3.1.6 Principali conclusioni tratte dal processo di elaborazione del piano d'azione

L'elaborazione del Piano d'azione di Maribor ha fornito importanti spunti strategici e organizzativi per la transizione verso un sistema di trasporto pubblico più sostenibile, efficiente dal punto di vista energetico e circolare. Il processo ha messo in luce diversi aspetti rilevanti per la futura attuazione e la pianificazione a lungo termine della mobilità urbana:



PUNTI CHIAVE

Forte integrazione con il processo SUMP: lo stretto allineamento con il Piano di Mobilità Urbana Sostenibile (SUMP) garantisce che le misure proposte siano integrate nel quadro di mobilità, investimenti e monitoraggio a lungo termine di Maribor.

Attuazione graduale e flessibile: a causa dell'evoluzione delle tecnologie, delle condizioni normative e delle incertezze finanziarie, il monitoraggio continuo, la valutazione e la gestione adattiva saranno essenziali per garantire l'efficacia e la resilienza a lungo termine delle misure proposte.

Approccio di sistema integrato: l'elettrificazione deve combinare le prospettive dei trasporti, dell'energia e della pianificazione territoriale. Il processo ha confermato che l'elettrificazione della flotta deve essere supportata da una pianificazione coordinata delle infrastrutture di ricarica, dell'integrazione delle energie rinnovabili, dei sistemi di accumulo e delle soluzioni di gestione energetica.

Cooperazione intersettoriale: una più forte collaborazione tra operatori dei trasporti, dipartimenti comunali, fornitori di energia, attori delle infrastrutture e istituti di ricerca è emersa come un fattore chiave durante il processo di sviluppo.

Digitalizzazione e gestione basata sui dati: la pianificazione a lungo termine richiede sistemi di monitoraggio, quadri di indicatori chiave di prestazione (KPI) e strumenti di ottimizzazione. Questi elementi sono essenziali per elaborare soluzioni di gestione energetica che consentano un processo decisionale adattivo, efficiente e basato su dati concreti.

L'importanza delle attività pilota e dimostrative: le esperienze del progetto CE4CE hanno dimostrato l'importanza di testare le tecnologie e gli approcci organizzativi prima di procedere a un'implementazione su larga scala o a una diffusione più ampia.

Capacità istituzionale e strutture di governance: il processo ha evidenziato la necessità di responsabilità chiare, di un coinvolgimento a lungo termine delle parti interessate e di una preparazione organizzativa, oltre alle soluzioni tecniche.

Figura 9. Principali conclusioni di Maribor

3.2. Piano d'azione per ottimizzare la gestione delle infrastrutture attraverso interventi di manutenzione minimamente invasivi a Lipsia, Germania

3.2.1 Contesto strategico e quadro di riferimento per lo sviluppo del piano d'azione

Il piano d'azione di Lipsia è stato sviluppato dalla Leipzig Transport Company (LVB) nell'ambito del progetto CE4CE per esplorare le opportunità di miglioramento della manutenzione delle infrastrutture attraverso approcci minimamente invasivi, predittivi e basati sui dati. L'iniziativa risponde ai limiti delle pratiche di manutenzione tradizionali, che continuano a fare ampio ricorso a ispezioni visive, cicli di rinnovo fissi e interventi reattivi.

La necessità di approcci di manutenzione più avanzati è particolarmente rilevante per la LVB, che gestisce una delle più grandi reti tranviarie della Germania con oltre 300 km di binari e un'elevata frequenza di servizio. L'aumento della domanda di passeggeri, la crescita demografica, le politiche di transizione della mobilità e l'ampliamento dei servizi notturni esercitano una pressione crescente sulla disponibilità delle infrastrutture e sull'efficienza della manutenzione. Allo stesso tempo, le attività di manutenzione sono influenzate da sfide quali la carenza di manodopera qualificata, i cambiamenti demografici, la ridotta disponibilità di competenze specifiche e approfondite, le finestre di manutenzione limitate e i dati incompleti sulle condizioni.

In questo contesto, il piano d'azione mira a sostenere una transizione graduale da pratiche di gestione e manutenzione reattive a pratiche predittive. L'approccio si basa sulle esperienze dei test pilota CE4CE di Lipsia, in cui tre tram sono stati dotati di sensori di vibrazione, telecamere, scanner laser, sistemi di misurazione del flusso energetico, dispositivi di edge computing e piattaforme di analisi supportate dall'intelligenza artificiale. Le attività pilota hanno dimostrato il potenziale dell'utilizzo di queste tecnologie per supportare l'individuazione precoce e la visualizzazione di difetti dei binari, irregolarità delle linee aeree e modelli di consumo energetico in condizioni operative reali.

L'approccio proposto è inoltre inteso a integrare i modelli di Life Cycle Costing (LCC) esistenti di LVB. Mentre i metodi LCC supportano principalmente la pianificazione finanziaria a lungo termine, gli approcci di manutenzione predittiva possono fornire un'ulteriore prospettiva operativa e tattica attraverso l'uso di dati di misurazione attuali, andamenti delle condizioni e previsioni sulle prestazioni delle infrastrutture.

3.2.2 Visione, traguardi e obiettivi

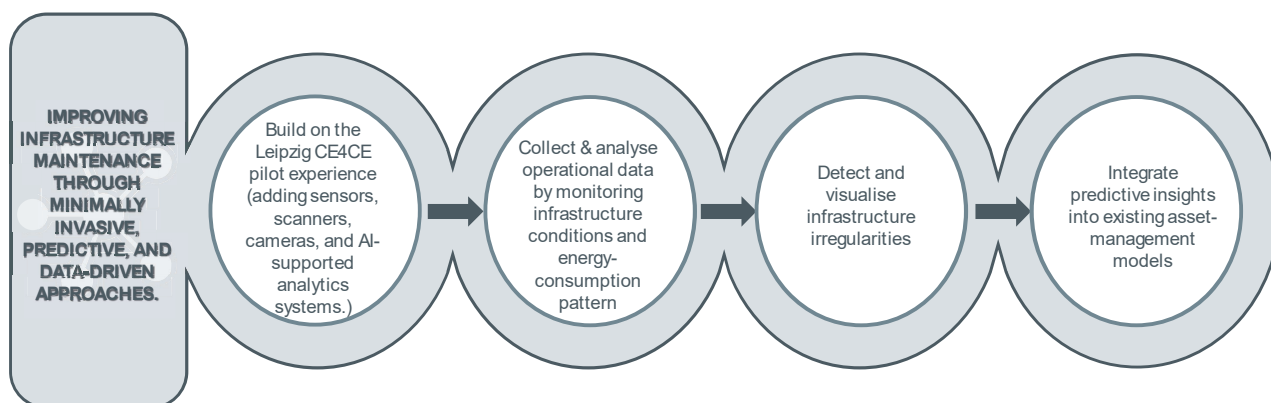


Figura 10. Visione e obiettivi strategici del Piano d'azione LVB

La visione del Piano d'azione di Lipsia è quella di stabilire un approccio di manutenzione predittiva scalabile che supporti la disponibilità delle infrastrutture, un uso più efficiente delle risorse e il graduale allineamento delle pratiche di gestione delle risorse con i principi ISO 55001 dell'azienda. Il Piano d'azione mira a consentire interventi di manutenzione più tempestivi, mirati e meno invasivi, rafforzando al contempo il collegamento tra le attività di manutenzione operativa e la pianificazione strategica degli investimenti

Un obiettivo centrale è quello di supportare la transizione da una manutenzione basata su intervalli e reattiva verso un sistema più informato dai dati che utilizza sensori, analisi supportate dall'intelligenza artificiale, dashboard e modelli parametrici. Questo approccio ha lo scopo di migliorare l'identificazione di potenziali modelli di danno, supportare la prioritizzazione degli interventi basata sul rischio e contribuire a ridurre i lavori di rinnovo non necessari.

Il Piano d'azione mira inoltre a creare un catalogo digitale dei danni, a sviluppare un modello parametrico per il controllo degli scenari e degli investimenti, a integrare i dati di monitoraggio in sistemi quali MR.pro®, GIS e ZEDAS e a sostenere l'uso di dashboard nel processo decisionale operativo. Inoltre, il piano esplora le opportunità di migliorare l'efficienza energetica attraverso l'analisi del consumo energetico per chilometro percorso e dei modelli di comportamento di guida.

Un altro obiettivo importante riguarda la cooperazione organizzativa. Il Piano d'azione promuove una più stretta collaborazione tra manutenzione, gestione delle risorse, digitalizzazione, operazioni, controllo e partner esterni attraverso strutture di dati condivise e percorsi decisionali più chiari. Cerca inoltre di sviluppare approcci che possano essere trasferibili ad altre linee tranviarie, altre classi di risorse e alle infrastrutture degli autobus a Lipsia. Lo scambio di conoscenze ed esperienze, così come lo sviluppo congiunto di metodologie di valutazione e previsione, possono essere trasferiti ad altri operatori di trasporto pubblico.

3.2.3 Misure chiave

MEASURES

- **Digital damage catalogue:** Records and classifies recurring defects such as rail corrugation, rail breaks, and contact wire defects.
- **Automated fault detection:** Uses sensor data, video inspections, and conventional inspections to identify infrastructure problems.
- **Risk-based prioritisation:** Supports more systematic assessment and ranking of defects based on urgency and impact.
- **Parameter model for scenario analysis:** Combines condition data, lifecycle forecasts, operational impacts, and cost indicators to compare maintenance strategies.
- **Integration of monitoring data:** Connects monitoring outputs with systems such as GIS, MR.pro®, and ZEDAS through interoperable interfaces.
- **Central data platform and dashboards:** Brings together measurement data, images, and fault classifications in map-based visualisations.
- **Organisational development and change management:** Promotes user participation, competence development, interdisciplinary cooperation, and continuous learning.
- **Workshops and stakeholder exchanges:** Gathers user requirements and supports acceptance of new systems and workflows.

Figura 11. Misure chiave di Lipsia

Il Piano d'azione di Lipsia propone una serie strutturata di misure per sostenere l'integrazione della manutenzione predittiva nei processi di gestione patrimoniale, migliorando al contempo la guida strategica dello sviluppo delle infrastrutture.

Una delle misure chiave è lo sviluppo di un catalogo digitale dei danni che registri e classifichi sistematicamente i difetti ricorrenti delle infrastrutture, quali ondulazioni delle rotaie, rotture delle rotaie e difetti della linea di contatto. Combinando misurazioni dei sensori, ispezioni video e metodi di ispezione convenzionali, il catalogo è destinato a supportare il rilevamento automatico dei guasti, la definizione delle priorità basata sul rischio e procedure di valutazione più standardizzate. Le esperienze del progetto pilota CE4CE, in cui sono state testate analisi supportate dall'IA di modelli di danno tipici, contribuiscono allo sviluppo di questo approccio.

Un'altra misura importante è lo sviluppo di un modello parametrico per l'analisi degli scenari e il controllo degli investimenti. Il modello combina dati sulle condizioni, previsioni sul ciclo di vita, impatti operativi e indicatori di costo per supportare la valutazione di diverse strategie di manutenzione e opzioni di investimento a lungo termine. La metodologia si basa su tre fonti di informazione complementari: misurazioni individuali precise, ispezioni visive strutturate e flussi di dati di monitoraggio continuo. Insieme, questi elementi dovrebbero fornire una base più solida per prevedere le condizioni delle infrastrutture e analizzare potenziali scenari di manutenzione.

Il Piano d'azione prevede inoltre l'integrazione dei dati di monitoraggio nei sistemi esistenti, quali GIS, MR.pro® e ZEDAS, attraverso interfacce interoperabili e una piattaforma dati centrale. Tale integrazione mira a fornire una visione d'insieme più completa delle condizioni delle infrastrutture, combinando dati di misurazione, immagini e classificazioni dei guasti all'interno di dashboard e visualizzazioni cartografiche. Le interfacce aperte e standardizzate sono considerate fondamentali per consentire il futuro ampliamento del sistema e la trasferibilità ad altri operatori del trasporto pubblico.

Oltre alle misure tecniche, il Piano d'azione sottolinea l'importanza dello sviluppo organizzativo e della gestione del cambiamento. L'approccio proposto pone l'accento sulla partecipazione degli utenti, lo sviluppo delle competenze, la cooperazione interdisciplinare e i processi di apprendimento continuo. I workshop e gli scambi tra gli stakeholder condotti durante il progetto pilota CE4CE hanno contribuito a raccogliere le esigenze degli utenti e a favorire l'accettazione di nuovi sistemi e flussi di lavoro.

Basandosi sulle esperienze acquisite durante il progetto pilota CE4CE a Lipsia, il Piano d'azione propone una strategia di implementazione graduale. Ciò include l'identificazione delle risorse critiche, lo sviluppo e il collaudo di modelli predittivi e l'integrazione graduale di strumenti e processi convalidati nei flussi di lavoro operativi e nelle attività di pianificazione strategica. L'approccio di implementazione iterativo mira a ridurre i rischi, sostenere l'apprendimento organizzativo e facilitare la graduale integrazione delle pratiche di manutenzione predittiva all'interno delle strutture di gestione delle risorse a lungo termine.

3.2.4 Aspetti relativi al monitoraggio e alla valutazione

Le attività di monitoraggio nell'ambito del Piano d'azione di Lipsia si concentrano sulla valutazione del contributo degli approcci di manutenzione predittiva al miglioramento dell'affidabilità tecnica, dei processi operativi e delle decisioni strategiche di gestione delle risorse. Il quadro di monitoraggio proposto include diversi indicatori chiave di prestazione (KPI) rilevanti anche nel contesto della valutazione delle prestazioni secondo la norma ISO 55001.

Gli indicatori proposti includono l'individuazione precoce dei difetti prima che diventino critici, la riduzione degli interventi di manutenzione non pianificati, la disponibilità delle infrastrutture, l'efficienza energetica e indicatori di qualità dei dati quali il tempo di funzionamento dei sensori e l'affidabilità della trasmissione dei dati. Ulteriori indicatori possono includere i tempi di risposta tra l'individuazione del guasto e le azioni correttive, nonché i potenziali risparmi sui costi derivanti dalle riparazioni evitate e dall'estensione della durata di vita delle risorse.

La raccolta dei dati dovrebbe basarsi su sistemi di sensori automatizzati e piattaforme di dati, integrati da confronti con i dati MR.pro®, ispezioni in loco, sondaggi e metodi di valutazione esistenti. Le attività di valutazione mirano a combinare l'analisi automatizzata con il feedback degli esperti e incontri di coordinamento regolari tra i team di gestione delle risorse, manutenzione e digitalizzazione. I risultati delle attività pilota e delle fasi di implementazione dovrebbero contribuire al miglioramento continuo degli algoritmi, agli adattamenti del sistema e ai processi di pianificazione della manutenzione. A lungo termine, le attività di monitoraggio mirano a supportare i processi di controllo degli investimenti e di pianificazione della manutenzione attraverso un processo decisionale più informato dai dati.

3.2.5 Coinvolgimento degli stakeholder nel processo di preparazione e implementazione

Il Piano d'azione di Lipsia si basa sulla stretta cooperazione tra i dipartimenti interni della LVB, i partner tecnici esterni e le altre società municipali che fanno parte del gruppo "L" guidato dal Comune di Lipsia (Stadt Leipzig). All'interno della LVB, la gestione patrimoniale svolge un ruolo di primo piano nell'integrazione degli approcci di manutenzione predittiva nella gestione strategica delle infrastrutture. L'IFTEC, responsabile di gran parte dei servizi di manutenzione tecnica e ingegneria relativi al sistema di trasporto pubblico di Lipsia, contribuisce all'implementazione tecnica, alle attività di calibrazione e al feedback sui modelli di danneggiamento e sulle misure di manutenzione. Il team di digitalizzazione supporta lo sviluppo di piattaforme dati, dashboard e interfacce, mentre il personale operativo e i conducenti forniscono feedback operativi relativi al comfort di viaggio e alle interruzioni del servizio. Le unità di controllo e pianificazione degli investimenti sono coinvolte nell'uso di modelli parametrici per la definizione del budget e lo sviluppo di scenari.

I partner esterni contribuiscono con soluzioni hardware, tecnologie di edge computing, sistemi di monitoraggio, analisi supportate dall'intelligenza artificiale e strumenti di analisi del consumo energetico. Il progetto pilota di CE4CE ha visto la collaborazione con organizzazioni quali IFTEC, Kruch Railways (partner di CE4CE), CI4RAIL, CEMIT e PantoHealth. Le università e gli istituti di ricerca hanno fornito supporto tecnico e metodologico, mentre gli stakeholder municipali hanno contribuito con collegamenti alle iniziative Smart City e alle piattaforme di dati urbani.

Le attività di coinvolgimento degli stakeholder hanno incluso workshop per la definizione dei requisiti e la selezione del sistema, riunioni di coordinamento periodiche, sessioni di formazione e sessioni di revisione con gli stakeholder. Durante la fase pilota, queste attività hanno supportato la raccolta di feedback da parte degli utenti, in particolare dei conducenti di tram, la verifica dell'accettazione del sistema e lo sviluppo congiunto di dashboard e interfacce.

3.2.6 Punti chiave emersi dal processo di elaborazione del piano d'azione



PUNTI CHIAVE

Potenziale della manutenzione predittiva: la manutenzione predittiva può aggiungere un valore significativo se integrata nella manutenzione quotidiana e nella gestione strategica delle risorse.

Implementazione graduale e flessibile: a causa dell'evoluzione delle tecnologie, delle condizioni normative e delle incertezze finanziarie, il monitoraggio continuo, la valutazione e la gestione adattiva saranno essenziali per garantire l'efficacia e la resilienza a lungo termine delle misure proposte.

Valore del monitoraggio continuo: il monitoraggio continuo integra le ispezioni visive e i modelli di costo del ciclo di vita, consentendo decisioni più dinamiche e basate sui dati.

Oltre i cicli di rinnovo fissi: la combinazione di dati in tempo reale con i metodi di gestione delle risorse esistenti può favorire una migliore tempistica della manutenzione e dei rinnovi.

Esigenze di cambiamento organizzativo: una digitalizzazione di successo richiede formazione, accettazione da parte degli utenti, alfabetizzazione dei dati, revisione delle responsabilità e gestione del cambiamento a lungo termine.

Potenziale di trasferimento: il sistema modulare e certificato per le ferrovie potrebbe essere esteso ad altre linee tranviarie, infrastrutture e applicazioni relative agli autobus.

Istituzionalizzazione a lungo termine: l'uso continuativo dipenderà da finanziamenti stabili, dall'integrazione del sistema, dalla capacità del personale e dall'allineamento con i processi di gestione delle risorse di LVB.

Figura 12. Il principale punto di prelievo di Lipsia

Il processo di sviluppo del Piano d'azione di Lipsia suggerisce che gli approcci di manutenzione predittiva possono offrire un potenziale significativo se integrati nelle attività di manutenzione quotidiane e nei processi strategici di gestione delle risorse. Le esperienze del progetto pilota CE4CE hanno indicato che tecnologie quali sensori, sistemi di monitoraggio e analisi supportate dall'intelligenza artificiale possono contribuire all'identificazione di tratti di binario critici, difetti delle rotaie, irregolarità delle linee aeree e altre problematiche relative alle infrastrutture in condizioni operative.

Un punto importante da sottolineare è il valore aggiunto del monitoraggio continuo a integrazione degli attuali approcci di gestione delle risorse. La combinazione dei dati di misurazione attuali con le pratiche di ispezione visiva e i modelli di costo del ciclo di vita può favorire un processo decisionale più dinamico e informato rispetto ai soli cicli di rinnovo fissi.

Il processo ha inoltre evidenziato che la digitalizzazione non è solo una sfida tecnica, ma anche organizzativa. Le attività di formazione, l'accettazione da parte degli utenti, l'alfabetizzazione dei dati, la ridefinizione delle responsabilità e i processi di gestione del cambiamento a lungo termine appaiono essenziali per garantire che i dashboard e le analisi supportate dall'IA possano essere efficacemente integrati nella pratica operativa.

Infine, il piano d'azione dimostra un potenziale di trasferimento al di là dell'ambiente

pilota. Il progetto pilota si è basato su componenti certificati per il settore ferroviario conformi alle norme EN 50155 e EN 45545, mentre l'architettura modulare del sistema potrebbe supportare una futura espansione ad altre linee tranviarie, altre infrastrutture e potenzialmente applicazioni relative agli autobus, come le infrastrutture di ricarica. Allo stesso tempo, l'istituzionalizzazione a lungo termine degli approcci di manutenzione predittiva dipenderà probabilmente da finanziamenti stabili, dall'integrazione dei sistemi, dalle capacità del personale e dalla loro continua integrazione nei più ampi processi di gestione delle risorse di LVB.

3.3. Piano d'azione per ottimizzare la fornitura di infrastrutture attraverso la cooperazione e la condivisione tra fornitori pubblici, come aggiornamento della strategia comunale per la mobilità elettrica a Gdynia, Polonia



Figura 13. Impianto fotovoltaico che alimenta i filobus di Gdynia presso il deposito. Crediti: CE4CE

3.3.1 Contesto strategico e quadro di riferimento per lo sviluppo del piano d'azione

Il Piano d'azione di Gdynia aggiorna l'approccio comunale alla mobilità elettrica concentrandosi sull'elettrificazione circolare, la condivisione delle infrastrutture e la cooperazione tra i fornitori di servizi pubblici PKA - l'operatore di autobus municipale e partner del progetto CE4CE - e PKT - l'operatore di filobus municipale. Il piano si basa sui punti di forza esistenti di Gdynia: il suo sistema di filobus di lunga data, l'esperienza di ricarica in movimento

e gli autobus elettrici introdotti nel 2022.

Il Piano d'azione risponde a cinque sfide concrete identificate da PKA e dai suoi partner: l'invecchiamento delle infrastrutture, l'aumento dei costi dell'elettricità e del ciclo di vita, la necessità di appalti circolari, gli strumenti limitati di supporto decisionale per la pianificazione degli investimenti e la necessità di allineare meglio la mobilità elettrica agli obiettivi climatici e di mobilità della città. Affronta inoltre i rischi individuati attraverso il progetto pilota condotto a Gdynia nell'ambito del progetto CE4CE, tra cui la domanda di energia legata alla congestione, le batterie e le infrastrutture di ricarica sovradimensionate, la frammentazione dei dati tra le istituzioni, l'incertezza sui finanziamenti futuri e la possibilità di vincolare la città a soluzioni inefficienti per 12-30 anni.

Dal punto di vista strategico, il piano è collegato alla Strategia di sviluppo della città di Gdynia 2030, al Piano di mobilità urbana sostenibile di Gdynia e ai Piani di mobilità urbana sostenibile (SUMP) per la regione del Mar Baltico (BSR), nell'ambito del progetto, che si occupa di monitoraggio e valutazione. A livello nazionale, il piano si allinea alla legge polacca sulla mobilità elettrica e i carburanti alternativi. A livello UE, è in linea con l'attuale quadro normativo costituito dalle seguenti strategie e direttive quadro: Green Deal europeo, Direttiva Clean Vehicles, Regolamento sulle infrastrutture per i carburanti alternativi, Direttiva sull'efficienza energetica, Direttiva sulle energie rinnovabili e Regolamento sulle batterie.

3.3.2 Visione, traguardi e obiettivi

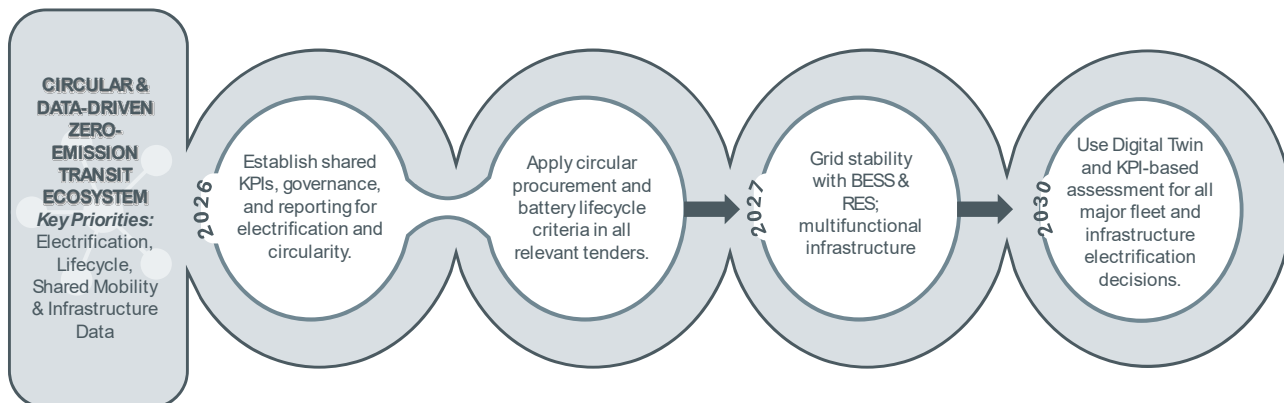


Figura 14. Visione e obiettivi strategici del Piano d'azione di Gdynia

La visione è che entro il 2030 PKA Gdynia diventi un fornitore di trasporto pubblico più circolare, a basse emissioni e pronto per gli investimenti. Il Piano d'azione mira a potenziare la mobilità elettrica attraverso la condivisione dei dati, un approccio basato sul ciclo di vita e una più forte cooperazione tra PKA, la città e altri fornitori pubblici, evitando al contempo un uso superfluo di materiali ed energia.

Il piano fissa diversi obiettivi concreti. Entro il 2026, Gdynia dovrebbe istituzionalizzare una serie co-mune di KPI, un modello di proprietà e una routine di rendicontazione annuale per le decisioni in materia di circolarità ed elettrificazione. Entro il 2027, dovrebbe essere preparato e lanciato il primo pacchetto di attuazione, a partire dall'elettrificazione della linea 194, a seconda dei finanziamenti. Inoltre, entro il 2027, dovrebbe essere completato un pacchetto di investimenti per l'eco-efficienza dei depositi e il fotovoltaico, che includa la ricarica intelligente e una progettazione predisposta per lo stoccaggio. A partire dal 2026, nei bandi di gara pertinenti dovrebbero essere utilizzati criteri di appalto circolari e requisiti relativi al ciclo di vita delle batterie. Entro il 2030, il Digital Twin e la valutazione degli indicatori chiave di prestazione (KPI) dovrebbero essere applicati a tutte le principali decisioni relative all'elettrificazione della flotta e delle infrastrutture della PKA.

Gli obiettivi combinano quindi la riduzione delle emissioni, una maggiore affidabilità del servizio, un costo del ciclo di vita inferiore, una minore domanda di batterie e materiali, una migliore disponibilità di finanziamenti e una governance più chiara della mobilità elettrica circolare.

3.3.3 Misure chiave

Il piano d'azione si articola attorno a cinque misure prioritarie.

La prima è l'elettrificazione della linea 194 dell'autobus, prevista come progetto dimostrativo ad alta priorità per l'espansione del servizio circolare a emissioni zero e supportato dai dati tra il 2026 e il 2028. La seconda è l'istituzionalizzazione del progetto pilota Digital Twin e dello strumento di pianificazione aziendale circolare per le flotte e le infrastrutture di trasporto pubblico elettrificate, a partire dal 2026, in modo che la verifica degli scenari e la titolarità degli indicatori chiave di prestazione (KPI) diventino parte integrante delle routine di investimento e rendicontazione.

La terza misura riguarda l'eco-efficienza del deposito, anch'essa ad alta priorità per il periodo 2026-2028. Ciò include migliori sistemi di misurazione dei parametri chiave, una logica di ricarica intelligente, la gestione dei picchi di carico e adeguamenti tecnici. La quarta misura riguarda l'installazione di impianti fotovoltaici nel deposito tra il 2026 e il 2029, con una progettazione predisposta per lo stoccaggio e il potenziale utilizzo

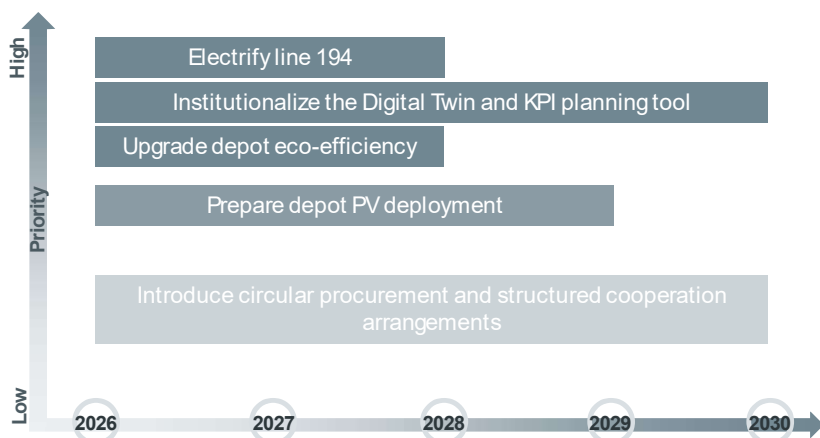


Figura 15. Misure chiave di Gdynia e calendario di attuazione

Le misure sono concepite come un processo graduale piuttosto che come un unico grande pacchetto, consentendo a Gdynia di testare, adeguare e scalare gli investimenti. Le stime dei costi non sono ancora dettagliate, tuttavia vi è un forte impegno da parte dei due operatori di trasporto pubblico municipali ad attuare le misure come previsto e a garantire finanziamenti da più fonti. Il piano definisce le esigenze in termini di ordine di grandezza: spesa elevata per l'elettificazione della linea 194, spesa da bassa a media per il Digital Twin e lo strumento di pianificazione aziendale circolare per le flotte e le infrastrutture di trasporto pubblico elettrificate, spesa media per l'eco-efficienza dei depositi, spesa da media ad alta per le infrastrutture fotovoltaiche e pronte per lo stoccaggio, e principalmente uno sforzo organizzativo per migliorare gli appalti circolari.

3.3.4 Aspetti relativi al monitoraggio e alla valutazione

Il sistema di monitoraggio si basa su una serie compatta di indicatori chiave di prestazione (KPI) collegati allo strumento di pianificazione aziendale circolare per le flotte e le infrastrutture di trasporto pubblico elettrificate e, ove pertinente, alla rendicontazione SUMP e dei nodi urbani nell'ambito dei requisiti dell'UE basati sul regolamento TEN-T rivisto " " (adottato nel 2025). Gli indicatori proposti includono la quota di veicoli a emissioni zero per chilometro, il consumo annuo di elettricità per chilometro percorso, la capacità media delle batterie nei veicoli acquistati, la quota di elettricità generata internamente, lo stato di attuazione delle misure prioritarie e la quota di appalti rilevanti contenenti clausole circolari e relative al ciclo di vita.

Si prevede di raccogliere i dati su base trimestrale e di consolidarli annualmente. I dati operativi proverranno dalla telematica dei veicoli, dai sistemi di ricarica dei depositi, dai contatori di energia e dai sistemi di gestione degli orari. Le informazioni relative agli investimenti e agli appalti proverranno dai fascicoli di progetto e dai registri dei contratti, mentre i dati relativi all'ambiente, alla società, alla governance e all'ESG saranno ricavati dai rapporti di gestione. PKA dovrebbe mantenere il registro centrale dei KPI, mentre ZKM Gdynia (Autorità dei Trasporti Pubblici di Gdynia) e i dipartimenti municipali forniranno ulteriori input laddove gli indicatori si sovrappongono alla rendicontazione a livello cittadino.

La valutazione dovrebbe combinare la valutazione dei processi e dei risultati. La valutazione dei processi verifica se le misure sono state avviate, finanziate, assegnate ai responsabili e integrate negli appalti e nelle operazioni. La valutazione dei risultati confronta i risultati con la linea di base 2025/2026 e gli scenari del Digital Twin, in particolare per quanto riguarda il consumo energetico, la domanda di batterie, l'efficienza delle infrastrutture, la solidità del servizio, la leva finanziaria e gli effetti di circolarità. Si raccomanda una revisione intermedia nel 2028 e una revisione più completa nel 2030.

3.3.5 Coinvolgimento degli stakeholder nel processo di preparazione e attuazione

Il processo di coinvolgimento degli stakeholder è stato organizzato attorno a un team di sviluppo centrale e a una mappa istituzionale più ampia. Il team centrale comprendeva PKA Gdynia, l'Università di Danzica e KRUCH Railways, che hanno lavorato sulla base di dati tecnici, sull'applicabilità locale e sulla progettazione delle misure. La mappa più ampia degli stakeholder includeva il Comune di Gdynia, ZKM Gdynia, PKT Gdynia e altri fornitori pubblici e unità cittadine responsabili di mobilità, energia, appalti e strategia.

Le discussioni si sono concentrate su questioni pratiche relative all'attuazione: selezione dei corridoi, opzioni infrastrutturali, titolarità degli indicatori chiave di prestazione (KPI), logica di finanziamento e vincoli operativi. A partire da settembre 2023, il processo è proseguito con la definizione congiunta dei problemi, la verifica degli scenari e la revisione interna. Entro marzo 2026 erano stati completati la bozza del piano d'azione, la mappatura degli stakeholder e il quadro degli indicatori chiave di prestazione (KPI).

Il coinvolgimento degli stakeholder ha contribuito a trasformare il piano d'azione da un esercizio tecnico di elettrificazione a un quadro di governance e cooperazione. Ha chiarito che la mobilità elettrica circolare dipende non solo dai veicoli e dai sistemi di ricarica, ma anche da standard condivisi, scambio di dati, regole di procurement, preparazione dei finanziamenti e coordinamento tra PKA, il comune e altri fornitori pubblici.

3.3.6 Principali conclusioni tratte dal processo di elaborazione del piano d'azione



PUNTI CHIAVE

L'elettrificazione deve tenere conto dell'impatto sulle infrastrutture e sul ciclo di vita: il processo di Gdynia ha dimostrato che l'elettrificazione non dovrebbe limitarsi a sostituire gli autobus diesel uno a uno. La pianificazione dovrebbe invece tenere conto delle infrastrutture di ricarica, delle esigenze operative e delle prestazioni a lungo termine dei veicoli.

La ricarica in movimento e la ricarica occasionale riducono i requisiti di dimensione della batteria: il progetto pilota CE4CE ha dimostrato che la combinazione della ricarica in movimento (IMC) con la ricarica occasionale può ridurre drasticamente il fabbisogno di capacità della batteria. Sulla linea 141, la dimensione della batteria richiesta è scesa da circa 700 kWh con ricarica notturna a circa 60 kWh.

Gli strumenti digitali sono efficaci solo se integrati nel processo decisionale: i sistemi Digital Twin e KPI creano valore solo se utilizzati attivamente nei processi di gestione, negli appalti, nella rendicontazione annuale e nelle richieste di finanziamento. È quindi fondamentale disporre di dati affidabili e di alta qualità.

La circolarità richiede una collaborazione tra i vari dipartimenti: il processo ha confermato che la circolarità non può essere gestita da un unico dipartimento. Le operazioni, i team tecnici, gli appalti, la finanza, le unità strategiche e i partner municipali necessitano tutti di responsabilità condivise e di un forte coordinamento interno.

Il sostegno della dirigenza è essenziale per i progressi a lungo termine: anche misure tecnicamente valide possono perdere slancio senza una chiara titolarità e un sostegno visibile da parte della leadership. Il coinvolgimento interno è necessario per sostenere gli sforzi di implementazione.

L'implementazione graduale riduce i rischi e favorisce l'apprendimento: iniziare con azioni di minore entità, come la linea 194, le misure di eco-efficienza nei depositi e la governance dei KPI, consente a Gdynia di testare approcci, imparare dall'esperienza e scalare gradualmente.

Figura 16. Principali insegnamenti di Gdynia

Til processo di Gdynia ha dimostrato che l'elettrificazione di successo del trasporto pubblico richiede più della semplice sostituzione degli autobus diesel con quelli elettrici. Il progetto pilota CE4CE, che rimane alla base del loro piano d'azione, ha evidenziato l'importanza di integrare la pianificazione delle infrastrutture, la visione del ciclo di vita, gli strumenti digitali di supporto decisionale e la cooperazione interdipartimentale in una strategia di transizione a lungo termine. L'esperienza ha inoltre dimostrato che un'attuazione graduale e chiare strutture di governance sono essenziali per espandere l'elettromobilità in modo efficiente, evitando al contempo un uso superfluo di materiali ed energia.

Il processo di Gdynia ha dimostrato che la futura elettrificazione dovrebbe tenere conto delle infrastrutture e dell'intero ciclo di vita, senza limitarsi alla semplice sostituzione dei veicoli linea per linea. Il progetto pilota CE4CE ha dimostrato che la ricarica in movimento e la ricarica occasionale possono ridurre significativamente il fabbisogno di batteria rispetto ai concetti di ricarica notturna pura. Ad esempio, sulla linea di autobus 141 di Gdynia, il fabbisogno di batteria scende da circa 700 kWh con l'opzione di ricarica notturna a circa 60 kWh con la ricarica in movimento (IMC) e la ricarica occasionale.

Una seconda conclusione è che gli strumenti digitali creano valore solo se integrati nel processo decisionale. Il Digital Twin e il flusso di lavoro KPI richiedono una chiara attribuzione di responsabilità, rendicontazione annuale e utilizzo nelle procedure di appalto e nelle richieste di finanziamento. La qualità e la gestione dei dati sono quindi importanti quanto la tecnologia stessa.

Il processo ha inoltre confermato che la circolarità non può essere appannaggio di un solo dipartimento. Operazioni, team tecnici, approvvigionamenti, finanza, strategia e partner municipali devono tutti condividere le responsabilità. Il coinvolgimento della dirigenza interna è essenziale, poiché anche misure tecnicamente valide possono perdere slancio in assenza di una titolarità visibile.

Infine, il piano evidenzia il valore di un'attuazione graduale. Partendo dalla linea 194, dall'eco-efficienza del deposito e dalla governance dei KPI, la valutazione delle misure consente a Gdynia di imparare prima di passare a una scala più ampia. Un limite attuale è che il piano richiede ancora l'approvazione finale, la conferma del finanziamento e l'assegnazione formale delle responsabilità prima che l'attuazione possa iniziare pienamente.

3.4. Piano d'azione per aggiungere valore alla catena di approvvigionamento e ottimizzare la consegna dei veicoli attraverso appalti circolari a Bergamo, Italia

3.4.1 Contesto strategico e quadro di riferimento per lo sviluppo del piano d'azione

Il Piano d'azione ATB Mobilità Bergamo è stato sviluppato all'interno di un quadro strategico multilivello che collega le politiche locali, nazionali ed europee in materia di mobilità, clima ed economia circolare. A livello locale, il Piano d'Azione è allineato al Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima (SECAP) di Bergamo, al Climate City Contract (CCC) e al Piano di Mobilità Urbana Sostenibile (SUMP) della città, garantendo che i principi dell'economia circolare diventino una componente integrata della pianificazione dei trasporti a lungo termine piuttosto che un'iniziativa a sé stante.



Figura 17. ATB Mobility Bergamo

A livello nazionale, il Piano d’Azione è sostenuto da opportunità di investimento legate al Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), in particolare per la modernizzazione delle infrastrutture, l’elettrificazione e i sistemi di trasporto innovativi come l’ e l’eBRT . A livello europeo, il Piano d’Azione si basa sul progetto Interreg CE4CE e sulle sinergie con altri progetti quali Interreg Euro-MED E-MED, a sostegno della sperimentazione e della diffusione su larga scala di soluzioni circolari nel trasporto pubblico.

Il Piano d’azione risponde a diverse sfide chiave identificate da ATB Mobilità:

- elevato consumo di energia e materiali nelle operazioni di trasporto pubblico,
- gestione limitata del ciclo di vita del materiale rotabile e delle infrastrutture,
- aumento dei costi operativi e dei requisiti normativi,
- la necessità di integrare energie rinnovabili e soluzioni di accumulo,
- l’insufficiente integrazione dei principi di circolarità nelle pratiche di approvvigionamento e manutenzione.

L’obiettivo generale è sostenere la transizione di ATB verso un sistema di trasporto pubblico più sostenibile, efficiente sotto il profilo delle risorse e circolare, in grado di generare benefici ambientali ed economici per l’area metropolitana di Bergamo.

3.4.2 Visione, traguardi e obiettivi

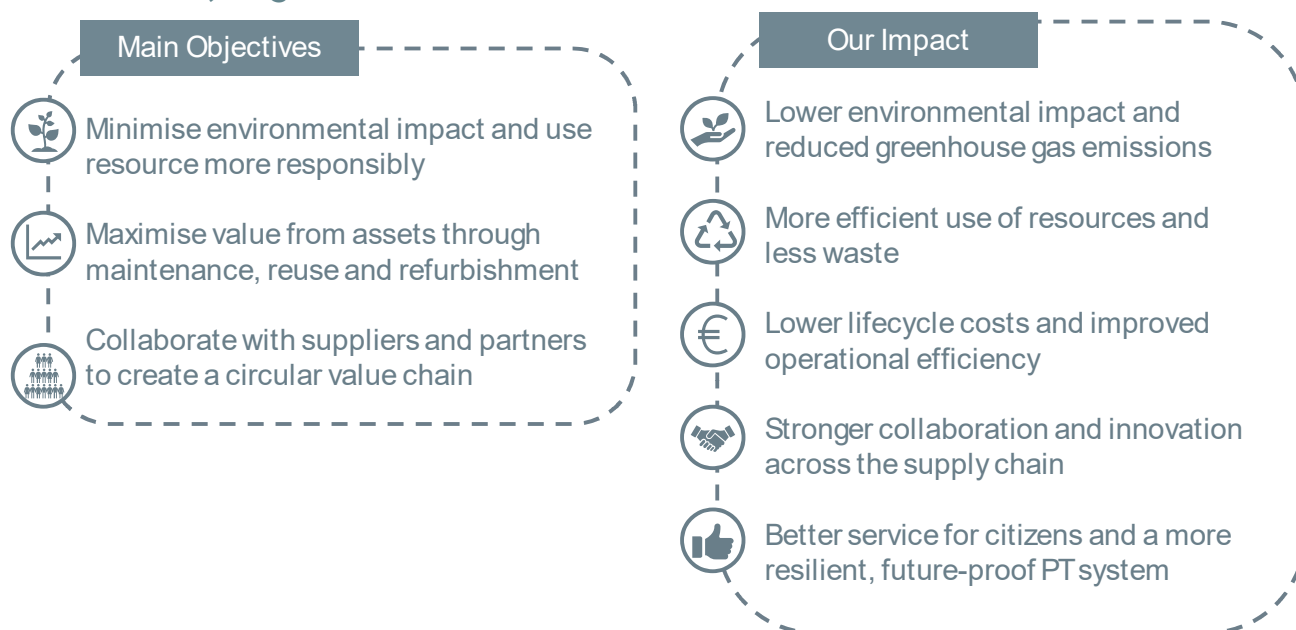


Figura 18. visione e obiettivi strategici del Piano d’azione di Bergamo

La visione del Piano d’azione è quella di trasformare ATB in un operatore di trasporto pubblico circolare, integrando i principi dell’economia circolare nelle attività operative, infrastrutturali e strategiche.

3.4.3 Misure chiave

Il piano d’azione definisce una serie di misure operative, energetiche, di manutenzione e di appalto volte a sostenere la transizione verso un sistema di trasporto pubblico circolare:

Le misure chiave includono:

- installazione di sistemi di monitoraggio sulle flotte e sulle infrastrutture per ottimizzare l’uso dell’energia e la manutenzione predittiva entro il 2030

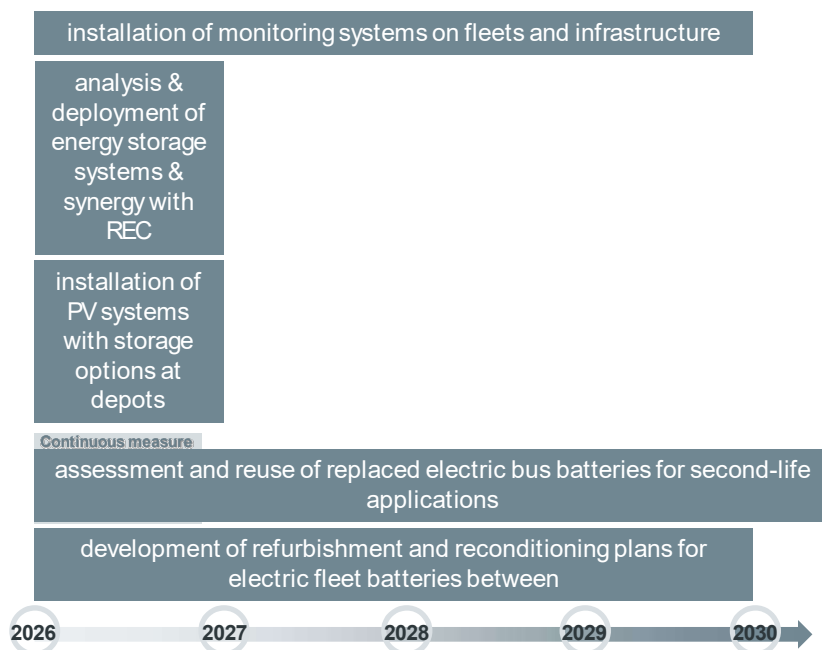


Figura 19. Misure chiave di Bergamo

- analisi e implementazione di sistemi di accumulo di energia e sinergie con le Comunità di Energia Rinnovabile (REC) entro il 2027,
- installazione di impianti fotovoltaici con opzioni di accumulo presso i depositi entro il 2027,
- valutazione e riutilizzo delle batterie degli autobus elettrici sostituite per applicazioni di seconda vita a partire dal 2026,
- sviluppo di piani di ricondizionamento e rigenerazione delle batterie della flotta elettrica tra il 2026 e il 2030,

- elaborazione di una strategia aziendale di circolarità che copra le attività operative e i processi di governance,
- integrazione dei principi di approvvigionamento circolare nelle procedure di acquisto del materiale rotabile e della catena di fornitura.

Il Piano d'azione promuove inoltre:

- approcci di manutenzione predittiva,
- l'ottimizzazione dell'efficienza energetica,
- la gestione delle risorse orientata al ciclo di vita,
- l'integrazione della produzione e dell'accumulo di energia rinnovabile nelle infrastrutture di trasporto.

3.4.4 Aspetti relativi al monitoraggio e alla valutazione

Il Piano d'azione definisce un quadro strutturato di monitoraggio e valutazione volto a seguire sia i progressi nell'attuazione sia gli impatti a lungo termine delle misure relative all'economia circolare all'interno di ATB Mobilità. Il sistema di monitoraggio si articola attorno a tre dimensioni complementari: l'attuazione delle misure concrete, lo sviluppo dei risultati strategici e organizzativi e l'integrazione delle pratiche di appalto circolare.

Il monitoraggio delle misure fisiche si concentra su aspetti operativi quali la quota di flotta e infrastrutture monitorate, la capacità installata di energia rinnovabile, l'implementazione di sistemi di accumulo di energia e il numero di beni gestiti attraverso approcci di manutenzione predittiva. Parallelamente, gli indicatori strategici vengono utilizzati per valutare lo sviluppo e l'attuazione di piani, strategie e azioni pilota relative alla circolarità, nonché il livello di integrazione dei principi circolari nei processi aziendali e nelle strutture di governance. Il monitoraggio relativo agli appalti valuta la graduale incorporazione dei criteri di circolarità nelle procedure di acquisto, compresa la quota e il valore dei processi di appalto che applicano requisiti di ciclo di vita e sostenibilità.

Il Piano d'Azione prevede inoltre un monitoraggio dell'impatto più ampio legato alla generazione di energia rinnovabile e all'autoconsumo, all'estensione della durata di vita

delle risorse, ai risparmi sulla manutenzione, alla riduzione dei costi del ciclo di vita e agli investimenti di capitale differiti.

La metodologia di valutazione combina la raccolta automatizzata dei dati operativi con processi strutturati di rendicontazione interna. Le fonti dei dati includono sistemi di gestione della flotta, banche dati di manutenzione, sistemi di gestione energetica, registri degli appalti e documentazione di progetto. Gli indicatori operativi dovrebbero essere rivisti trimestralmente, mentre gli indicatori strategici e finanziari vengono valutati a intervalli più lunghi per supportare il processo decisionale a medio e lungo termine.

3.4.5 Coinvolgimento degli stakeholder nel processo di preparazione e attuazione

Il coinvolgimento degli stakeholder ha svolto un ruolo centrale durante l'intero processo di elaborazione del Piano d'azione ed è stato integrato come un processo continuo piuttosto che come un'iniziativa di consultazione una tantum. Le prime attività si sono concentrate sul coinvolgimento dei fornitori e degli stakeholder in ambito tecnico attraverso workshop, sondaggi e discussioni sugli approcci di appalto circolare e sui criteri di appalto verde sia a livello europeo che nazionale. Questi scambi hanno contribuito a identificare opportunità concrete e ostacoli relativi alle catene di approvvigionamento circolari e alle pratiche di appalto. Il processo di preparazione ha comportato un ampio coordinamento interno tra ATB Mobilità e le sue controllate, tra cui TEB e ATB Servizi, garantendo che le prospettive operative, tecniche e strategiche fossero incorporate nella definizione delle misure. Esternamente, il Comune di Bergamo ha svolto un ruolo chiave sia come azionista che come partner istituzionale, sostenendo l'allineamento del Piano d'Azione con gli obiettivi più ampi di mobilità urbana, clima e sostenibilità. Il processo di coinvolgimento degli stakeholder ha inoltre beneficiato dello scambio di conoscenze nell'ambito di progetti di cooperazione europea e di reti internazionali di esperti. In particolare, la collaborazione nell'ambito di progetti quali Interreg Alpine Space Degree4Alps e Interreg Euro-MED E-MED ha sostenuto la valutazione della scalabilità, della trasferibilità e del potenziale di innovazione delle misure proposte. Per l'attuazione, ATB Mobilità dovrebbe coordinare il processo complessivo di realizzazione e monitoraggio, mentre le controllate, i partner tecnici e gli stakeholder esterni contribuiranno all'attuazione operativa, alla fornitura di dati, alle competenze tecniche e alle attività di valutazione

3.4.6 Principali conclusioni tratte dal processo di elaborazione del piano d'azione

Il processo di sviluppo ha dimostrato che i principi dell'economia circolare possono essere integrati in modo sistematico nella pianificazione e nella gestione del trasporto pubblico attraverso una combinazione di misure tecniche, organizzative e di governance.

Il processo ha inoltre rafforzato l'importanza di integrare appalti circolari, manutenzione predittiva, sistemi di energia rinnovabile e gestione del ciclo di vita nella pianificazione a lungo termine del trasporto pubblico. Nel complesso, il Piano d'Azione fornisce un quadro pratico per sostenere la transizione di ATB verso un sistema di trasporto pubblico più sostenibile, resiliente e circolare.



PUNTI CHIAVE

Approccio olistico e strategicamente allineato: l'integrazione della circolarità nei sistemi di trasporto pubblico funziona al meglio quando viene affrontata a livello interdepartimentale e allineata con strategie più ampie di mobilità e clima, in particolare il Piano di Mobilità Urbana Sostenibile (SUMP).

Coordinamento interno: una collaborazione tempestiva e continua all'interno dell'organizzazione contribuisce a garantire che le misure proposte siano fattibili, pratiche e sostenute dai team responsabili dell'attuazione.

Coinvolgimento esterno: la collaborazione con le parti interessate esterne aiuta a collegare le misure di circolarità con obiettivi politici più ampi, priorità di finanziamento e aspettative normative.

Le azioni pilota supportano un processo decisionale informato: i progetti pilota sono preziosi per testare soluzioni innovative, identificare le sfide e trarre insegnamenti prima di procedere alla scalabilità.

Flessibilità per gestire l'incertezza: la pianificazione della circolarità deve rimanere adattabile alle mutevoli condizioni relative a finanziamenti, tecnologia e regolamentazione.

Dati e monitoraggio per una pianificazione basata su dati concreti: sono necessari dati affidabili e sistemi di monitoraggio per seguire i progressi, valutare i risultati e supportare decisioni strategiche migliori.

Figura 20. Principali punti chiave di Bergamo

4. Lezioni apprese e raccomandazioni

Lo sviluppo delle strategie e dei piani d'azione CE4CE ha dimostrato che i principi dell'economia circolare possono aiutare le autorità e gli operatori del trasporto pubblico a passare da misure circolari isolate ad approcci sistemici basati sul ciclo di vita. Le strategie hanno evidenziato l'importanza di ridurre i rifiuti, ottimizzare le risorse e creare valore a lungo termine nei sistemi energetici, nelle infrastrutture e nel materiale rotabile..

4.1. Lezioni apprese dal processo di sviluppo delle strategie e dei piani d'azione

-Una delle principali lezioni apprese è che la circolarità richiede una prospettiva basata sul ciclo di vita che abbracci la pianificazione, l'esercizio, la manutenzione e la gestione a fine vita. Il documento sottolinea che il riciclo da solo è insufficiente se applicato solo alla fine del ciclo di vita e che il valore deve invece essere preservato e rigenerato durante l'intera vita delle risorse attraverso la riduzione della domanda di materiali, l'estensione della durata delle risorse, il riutilizzo, la ristrutturazione e il riciclo.

Un'altra lezione importante riguarda il ruolo della digitalizzazione e della gestione dei dati. Le strategie identificano la digitalizzazione come una condizione abilitante fondamentale per la circolarità, compreso l'uso di sistemi di gestione dell'energia, monitoraggio in tempo reale, analisi dei dati, modelli digitali e simulazioni a supporto della pianificazione, della manutenzione e dell'ottimizzazione operativa.

I piani d'azione e le strategie CE4CE hanno inoltre dimostrato l'importanza della cooperazione tra gli stakeholder. L'attuazione dell'economia circolare dipende dalla collaborazione tra autorità dei trasporti pubblici, operatori del trasporto pubblico, comuni, fornitori, istituti di ricerca, fornitori di energia e altri attori lungo la catena del valore. Le strategie sottolineano ripetutamente il coordinamento, lo scambio di conoscenze e il coinvolgimento degli stakeholder come condizioni abilitanti importanti per l'attuazione.

Un'altra lezione appresa è che l'estensione della durata di vita delle risorse rappresenta un'importante opportunità per ridurre il consumo di risorse e preservare il valore incorporato. Le strategie evidenziano la manutenzione preventiva e predittiva, la ristrutturazione, le applicazioni di seconda vita e il riutilizzo di componenti e materiali infrastrutturali come approcci importanti per il raggiungimento degli obiettivi di circolarità.

Le strategie sottolineano inoltre l'importanza di integrare i principi dell'economia circolare nei processi di appalto e di governance. Esse evidenziano che le procedure di appalto, i contratti e i requisiti di prestazione possono influenzare il comportamento dei fornitori e sostenere l'innovazione lungo la catena del valore.

Infine, le strategie e i piani d'azione hanno dimostrato che le attività pilota e la sperimentazione pratica sono importanti per ridurre i rischi di attuazione, testare soluzioni innovative e favorire la replicabilità in altri contesti di trasporto pubblico.

4.2. Raccomandazioni per l'attuazione delle misure

I seguenti aspetti chiave sono stati identificati nelle strategie e nei piani d'azione CE4CE come raccomandazioni e condizioni importanti a sostegno dell'attuazione di approcci di economia circolare nei sistemi di trasporto pubblico.

Aspetti strategici e di pianificazione

- Applicare il concetto di ciclo di vita alla pianificazione, al funzionamento, alla manutenzione e alla gestione del fine vita.
- Integrare gli obiettivi dell'economia circolare nelle strategie relative ai trasporti, all'energia e alla sostenibilità.
- Allineare l'attuazione locale agli obiettivi europei e nazionali in materia di economia circolare e clima.
- Utilizzare strumenti quali la valutazione del ciclo di vita (LCA), il calcolo dei costi del ciclo di vita (LCC) e i modelli digitali a supporto del processo decisionale.

Digitalizzazione e monitoraggio

- Implementare sistemi di gestione energetica per monitorare e ottimizzare i flussi energetici.
- Applicare il monitoraggio in tempo reale e l'analisi dei dati per migliorare l'efficienza energetica e individuare le perdite.
- Utilizzare strumenti digitali per monitorare le prestazioni e il degrado delle batterie.
- Sviluppare modelli digitali e simulazioni per supportare la pianificazione delle infrastrutture di ricarica, dello stoccaggio di energia e dell'integrazione delle fonti rinnovabili.
- Integrare i dati energetici in sistemi più ampi di gestione della flotta e delle operazioni.

Governance e cooperazione tra gli stakeholder

- Stabilire partnership a lungo termine con le utility, gli operatori di rete e altre parti interessate.

Definire ruoli e responsabilità chiari per la gestione dell'energia e delle risorse.

Promuovere la cooperazione tra autorità dei trasporti pubblici, operatori, fornitori e istituti di ricerca.

Sostenere la partecipazione a iniziative di settore e piattaforme di scambio di conoscenze.

Garantire il coinvolgimento degli stakeholder durante i processi di preparazione e implementazione.

Aspetti tecnici e operativi

- Dare priorità agli approcci di manutenzione preventiva e predittiva.
- Promuovere il riutilizzo, la ristrutturazione e le applicazioni di seconda vita per le infrastrutture e il materiale rotabile.
- Implementare sistemi di frenata rigenerativa e di recupero di energia, ove opportuno.
- Implementare tecnologie di energia rinnovabile e sistemi di accumulo di energia.
- Utilizzare soluzioni di approvvigionamento energetico mature ed efficienti, ove opportuno.

Aspetti finanziari e organizzativi

- Sostenere l'accesso a strumenti di finanziamento per gli investimenti nelle energie

rinnovabili e nell'accumulo.

- Promuovere lo sviluppo di capacità all'interno delle autorità e degli operatori del trasporto pubblico.
- Utilizzare le attività pilota come ambienti di apprendimento a sostegno della replicabilità e dell'attuazione.
- Monitorare le prestazioni energetiche e i risultati in materia di circolarità utilizzando indicatori e quadri di riferimento definiti.

5. Conclusiones

Le strategie e i piani d'azione di CE4CE dimostrano come i principi dell'economia circolare possano sostenere sistemi di trasporto pubblico più efficienti dal punto di vista delle risorse e più sostenibili. Applicando il quadro AVOID-EXTEND-TRANSFORM-ENABLE (AETE) ai sistemi energetici, alle infrastrutture e al materiale rotabile, questi documenti strategici promuovono un approccio basato sul ciclo di vita incentrato sulla riduzione dei rifiuti, sulla conservazione del valore e sull'ottimizzazione dell'uso delle risorse.

Le strategie dimostrano che la circolarità nel trasporto pubblico dipende dalla combinazione di approcci tecnici, organizzativi e di governance. La digitalizzazione, la cooperazione tra gli stakeholder, l'innovazione, le pratiche di appalto e una pianificazione a lungo termine sono presentate come condizioni abilitanti importanti a sostegno dell'implementazione e della scalabilità delle soluzioni circolari.

I piani d'azione CE4CE sottolineano inoltre l'importanza dei progetti pilota, della sperimentazione e dello scambio di conoscenze per favorire l'attuazione, la scalabilità e la trasferibilità. Attraverso test pratici e la cooperazione tra gli stakeholder, nonché sulla base di solide evidenze strategiche, i partner del progetto hanno elaborato piani d'azione che contribuiscono a ridurre gli ostacoli e a sostenere la transizione verso sistemi di trasporto pubblico circolari nei rispettivi contesti locali e regionali.

In prospettiva, le strategie forniscono una base per l'ulteriore sviluppo delle pratiche di economia circolare nel trasporto pubblico. La cooperazione continua, lo sviluppo delle capacità, la digitalizzazione e l'integrazione dei principi circolari nei processi di pianificazione e appalto rimarranno importanti per sostenere l'attuazione a lungo termine e l'allineamento con gli obiettivi europei di sostenibilità.

Per maggiori dettagli sulle strategie e sui piani d'azione, nonché sui progetti pilota e sulle soluzioni sviluppate nell'ambito di CE4CE, vi invitiamo a visitare il sito web del progetto: <https://www.interreg-central.eu/projects/ce4ce/>

6. Riferimenti

Risultati del progetto CE4CE pubblicati sul sito web del progetto

- Risultato D.2.1.1 Relazione sullo sviluppo di una strategia circolare congiunta per un migliore utilizzo dell'energia da rifiuti e delle fonti di energia rinnovabile nelle operazioni di trasporto pubblico
- Risultato D.2.2.1 Relazione sullo sviluppo di una strategia circolare congiunta per preservare il valore e ridurre gli sprechi delle infrastrutture
- Risultato D.2.3.1 Relazione sullo sviluppo di una strategia circolare congiunta per preservare il valore e ridurre gli sprechi dei veicoli/del materiale rotabile del trasporto pubblico
- Risultato D.2.1.2 Piano d'azione Maribor, Slovenia
- Risultato atteso D.2.2.2 - parte 1 Piano d'azione Azienda di trasporti di Lipsia, Germania
- Risultato atteso D.2.2.2 - parte 2 Piano d'azione Gdynia, Polonia
- Risultato atteso D.2.3.2 Piano d'azione ATB Mobility, Bergamo, Italia

Quadro strategico e normativo

- Regolamento sulle infrastrutture per i carburanti alternativi (AFIR): https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/clean-transport/alternative-fuels-sustainable-mobility-europe/alternative-fuels-infrastructure_en
- Regolamento sulle batterie: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj/eng>
- Piano d'azione per l'energia sostenibile e il clima di Bergamo: <https://www.terraria.com/en/case-studies/secap-of-the-municipality-of-bergamo/>
- Piano d'azione per l'economia circolare: https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy_en?prefLang=de
- Direttiva sui veicoli puliti: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2019/1161/oj/eng>
- Direttiva sull'efficienza energetica: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive_en
- Patto verde europeo: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF
- Interreg Spazio Alpino Degree4Alps: <https://www.alpine-space.eu/project/degree4alps/>
- Interreg Euro-MED: <https://interreg-euro-med.eu/en/>
- Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR): https://reforms-investments.ec.europa.eu/recovery-and-resilience-facility-1/country-pages/italys-recovery-and-resilience-plan_en
- Legge polacca sulla mobilità elettrica e i carburanti alternativi: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20180000317>
- Direttiva sulle energie rinnovabili: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en
- Regolamento TENT rivisto: <https://urban-mobility-observatory.transport.ec.europa.eu/news-events/news/revisted-ten-t-regulation-adopted-sustainable-and-resilient->

transport-network-bringing-europe-closer-2024-06-25_en

- Fondo ecologico sloveno: <https://www.ekosklad.si/english>
- Città intelligente: Smart City Lab Leipzig - Città di Lipsia
- Strategia di sviluppo della città di Gdynia 2030 : strategia rozwoju miasta gdyni 2030_folder.pdf
- SUMP Bergamo: <https://www.trt.it/en/progetti/sump-of-bergamo/>
- SUMP Gdynia: <https://www.climatehub.si/en/sustainable-mobility-good-practice-1/>
- SUMP Maribor: OCPS-MOM-brosura-05.pdf
- SUMP per la BSR: <https://interreg-baltic.eu/project/sumpsforbsr/>
- Strategia di transizione verso l'economia circolare del Comune di Maribor 2024-2030: https://circularcitiesdeclaration.eu/fileadmin/user_upload/Materials/SKG_MOM_2024%E2%80%932030__1_.pdf
- Il Contratto per una Città Climatica di Bergamo: <https://netzerocities.app/resource-4432>
- Piattaforma di dati urbani: Benvenuti - Connected Urban Twins

Supporto agli attori dell' e e agli esperti

- CEMIT - Centro per il monitoraggio, le tecnologie dell'informazione e i sistemi di trasporto: <https://cemit.com/>
- CI4RAIL - Condition Intelligence for Rail: <https://www.ci4rail.com/>
- IFTEC GmbH & Co. KG: <https://www.iftec.de/index.html>
- ZENIT GmbH - Zentrum für Innovation und Technik in Nordrhein-Westfalen: <https://www.zenit.de/english/>
- PKT Gdynia - Operatore di filobus di Gdynia: <https://pktgdynia.pl/en/firm/>
- ZKM Gdynia - Autorità dei Trasporti Pubblici di Gdynia: <https://zkmgdynia.pl/>
- ICLEI Europe - Governi locali per la sostenibilità: <https://iclei-europe.org/>
- UITP - Associazione Internazionale dei Trasporti Pubblici: <https://www.uitp.org/>
- EIT Urban Mobility - Hub East: <https://www.eiturbanmobility.eu/>
- PantoHealth - PANTOhealth: <https://pantohealth.com/>
- Marprom - Azienda di Trasporti Pubblici Maribor: <https://www.marprom.si/>
- Public Holdings Maribor - Javni holding Maribor: <https://www.jhmb.si/>
- Agenzia per l'energia / ENERGAP - Agenzia per l'energia e il clima di Podravje / Energetska podnebna agencija za Podravje: <https://www.energap.si/homepage>
- Elektro Maribor d.d.: <https://elektro-maribor.si/>
- RRA Podravje-Maribor - Agenzia per lo sviluppo regionale di Podravje-Maribor: <https://rra-podravje.si/>
- Smart City Lab Leipzig - Città di Lipsia: <https://www.leipzig.de/leipzig-strategie/digitale-stadt/smart-city-lab-leipzig>
- Connected Urban Twins - Connected Urban Twins / iniziativa sulla piattaforma di dati urbani: <https://www.connectedurbantwins.de/>

- MR.pro® - MR.pro® Software di gestione dei dati infrastrutturali: <https://www.mr-pro.de/en/indexEN.php>
- ZEDAS - ZEDAS GmbH / zedas®asset: <https://www.zedas.com/en/>
- TEB - Tramvie Elettriche Bergamasche: <https://www.teb.bergamo.it/en>
- NetZeroCities - Piattaforma Climate City Contract: <https://netzerocities.app/>



Scan me for the
project website

Copyright: Szeged Transport Company

The CE4CE project (Public Transport Infrastructure in Central Europe - facilitate transitioning to circular economy) empowers circular economy system thinking for public transport actors in Central Europe to reduce waste and create value along new life cycles of infrastructure and rolling stock.

CONTACT US

Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB) GmbH/ Leipzig Public Transport Company

Project coordinator: Mr. Stefan Röll

Email: CE4CE.Verkehrsbetriebe@L.de

Project website: <https://www.interreg-central.eu/projects/ce4ce/>

LinkedIn: <https://www.linkedin.com/company/interreg-ce4ce/>

YouTube: <https://www.youtube.com/@InterregCE4CE>

Project knowledge platform: <https://circularity4publictransport.eu/>

