



**Interreg**  
CENTRAL EUROPE



European Union  
European Regional  
Development Fund

**EfficienCE**



# MANUALE TRANSNAZIONALE PER L'IMPIEGO DI TECNOLOGIE AD ALTA EFFICIENZA ENERGETICA NELLE INFRASTRUTTURE DI TRASPORTO PUBBLICO

(2) Uso polivalente delle infrastrutture di  
trasporto pubblico

## STAMPA

### **Numero del progetto:**

CE1537 EfficienCE Efficienza energetica per le infrastrutture di trasporto pubblico nell'Europa centrale.

### **Finanziato da:**

Interreg Central Europe (<http://interreg-central.eu/Content.Node/home.html>)

### **Titolo del documento ufficiale:**

D.T2.3.2 Manuali transnazionali per l'impiego di tecnologie ad alta efficienza energetica nelle infrastrutture di trasporto pubblico

### **Editore:**

Consorzio EfficienCE

### **Autori:**

Mitja Klemenčič, Marijan Španer, Matej Moharić, Vlasta Rodošek (Università di Maribor)

### **Grafica e progettazione:**

Levent Saran (Rupprecht Consult GmbH)

### **Data:**

giugno 2022

## Informazioni sul progetto EfficienCE

EfficienCE è un progetto di cooperazione finanziato dal programma Interreg CENTRAL EUROPE che mira a ridurre l'impronta di carbonio nella regione. La maggior parte delle città dell'Europa centrale dispone di ampi sistemi di trasporto pubblico, che possono costituire la base di servizi di mobilità a basse emissioni di carbonio. Poiché oltre il 63% dei pendolari della regione utilizza il trasporto pubblico, le misure per aumentare l'efficienza energetica e la quota di energie rinnovabili in tali infrastrutture possono avere un impatto particolarmente elevato sulla riduzione di CO<sub>2</sub>.

Questo obiettivo è stato raggiunto con il sostegno alle autorità locali, alle autorità di trasporto pubblico e agli operatori attraverso lo sviluppo di strategie di pianificazione e piani d'azione, l'attuazione di azioni pilota, lo sviluppo di strumenti e formazione per la programmazione e la gestione di infrastrutture a basse emissioni di carbonio e il trasferimento di conoscenze e buone pratiche sulle misure di efficienza energetica nelle regioni dell'Europa centrale.

Dodici partner, tra cui sette autorità/aziende di trasporto pubblico di sette Paesi, hanno collaborato per tre anni per sfruttare le potenzialità inesprese di questo settore e per contribuire agli obiettivi del "Libro Bianco" dell'UE per ridurre le emissioni dei trasporti del 60% entro il 2050 e dimezzare l'uso di veicoli "alimentati con carburanti convenzionali" nel trasporto urbano entro il 2030.

## Indice

Sintesi .....	5
1. Uso polivalente delle infrastrutture di trasporto pubblico .....	6
1.1 Sintesi delle tecnologie rilevanti .....	6
1.1.1 Tecnologia A - Uso multimodale delle infrastrutture di TP .....	7
1.1.2 Tecnologia B - Uso multifunzionale dell'infrastruttura di TP .....	10
1.1.3 Tecnologia C - Ricarica in movimento innovativa per il TP .....	14
1.2 Uso polivalente delle infrastrutture di trasporto pubblico in tutto il mondo .....	17
2. Caso d'uso di Maribor - Adattamento della stazione della funivia in un'infrastruttura di TP polivalente .....	23
3. Conclusioni .....	27
Bibliografia .....	28

# Sintesi



Foto della città di Lipsia

In questo momento, i sistemi di trasporto si trovano dinanzi a sfide dovute alla crescente urbanizzazione. L'obsolescenza delle infrastrutture di trasporto fatica a soddisfare le esigenze attuali, mentre le scelte personali in materia di trasporto urbano si sono evolute in maniera tale che le politiche di trasporto precedenti incentrate sulle auto non sono più adeguate.

Questo manuale è un'introduzione all'uso polivalente delle infrastrutture di trasporto pubblico per le città in cui queste ultime non rientrano nelle priorità di pianificazione e per le città con una cultura avanzata in tal senso.

L'uso polivalente delle infrastrutture di trasporto pubblico integra gli aspetti relativi all'energia, alla mobilità e alla logistica per ridurre al minimo le emissioni di CO<sub>2</sub> e rendere le operazioni di trasporto più efficienti dal punto di vista energetico grazie a diverse tecnologie.

Di solito, le tecnologie per le infrastrutture polivalenti ad alta efficienza energetica per il trasporto pubblico si articolano in soluzioni per l'uso multimodale, l'uso multifunzionale e in approcci innovativi alle tecnologie di ricarica in movimento, in fase di sviluppo.

Ciascuna di queste tecnologie presenta diversi vantaggi e benefici di tipo tecnico, finanziario o legati alla sicurezza.

Tuttavia, ognuna delle tecnologie presentate comporta anche ostacoli tecnici e normativi, come ad esempio mancanza di standard tecnici, compatibilità tra diversi produttori, limiti di sicurezza, bassa efficienza energetica, costi aggiuntivi, standardizzazione di infrastrutture e sistemi.

Una panoramica delle pratiche attuali relative a diverse soluzioni per l'uso multimodale delle infrastrutture di trasporto pubblico e un caso di studio del progetto pilota EfficienCE presentano le nuove tecnologie in funzione con i rispettivi benefici, esperienze e possibilità di trasferimento.

# 1. Uso polivalente delle infrastrutture di trasporto pubblico

L'elettromobilità è un tema sempre più importante per il trasporto pubblico (TP) cittadino. L'elettricità è la fonte di energia che consente di alimentare diversi veicoli.

La principale differenza tra le tecnologie per l'utilizzo di infrastrutture di TP polivalenti risiede nel loro utilizzo, che dipende da:

- Le modalità per cui l'uso polivalente è rilevante (in base all'infrastruttura di TP esistente) e
- la funzione di trasferimento energetico tra la fonte di energia, l'infrastruttura di TP e i veicoli elettrici di TP.

## 1.1 Sintesi delle tecnologie rilevanti

La classificazione delle tecnologie per le infrastrutture di TP polivalenti si basa sull'uso multimodale e multifunzionale delle infrastrutture di TP.

**Tecnologia A** - Uso multimodale dell'infrastruttura di TP esistente (come la metropolitana, il tram, la ferrovia o la funivia) in cui viene effettuata una ricarica aggiuntiva per: autobus elettrici, filobus (ibridi) e altri modelli elettrici (auto e biciclette elettriche e E-delivery).

**Tecnologia B** - Uso multifunzionale dell'infrastruttura di TP con l'infrastruttura di TP esistente per un uso più efficiente del recupero in frenata, della ricarica bidirezionale (smart grid) e dell'energia generata localmente dalle FER (fotovoltaico, eolico).

**Tecnologia C** - Ricarica in movimento (IMC) innovativa, multimodale e multifunzionale su strada: Ricarica induttiva a terra, ricarica conduttiva in superficie sulle autostrade e ricarica conduttiva a terra.

### 1.1.1 Tecnologia A - Uso multimodale delle infrastrutture di TP

La tecnologia A si riferisce al concetto di diverse modalità di ricarica dei veicoli elettrici dalla rete di TP esistente, come la metropolitana, il tram, la ferrovia o la funivia.

#### Soluzione 1 - Elettricità dalle reti di TP esistenti per alimentare i punti di ricarica degli autobus elettrici

La tecnologia si riferisce al concetto di ricarica degli autobus elettrici con l'energia delle reti di TP esistenti, come le reti di metropolitana, tram, filobus, ferrovia o funivia.

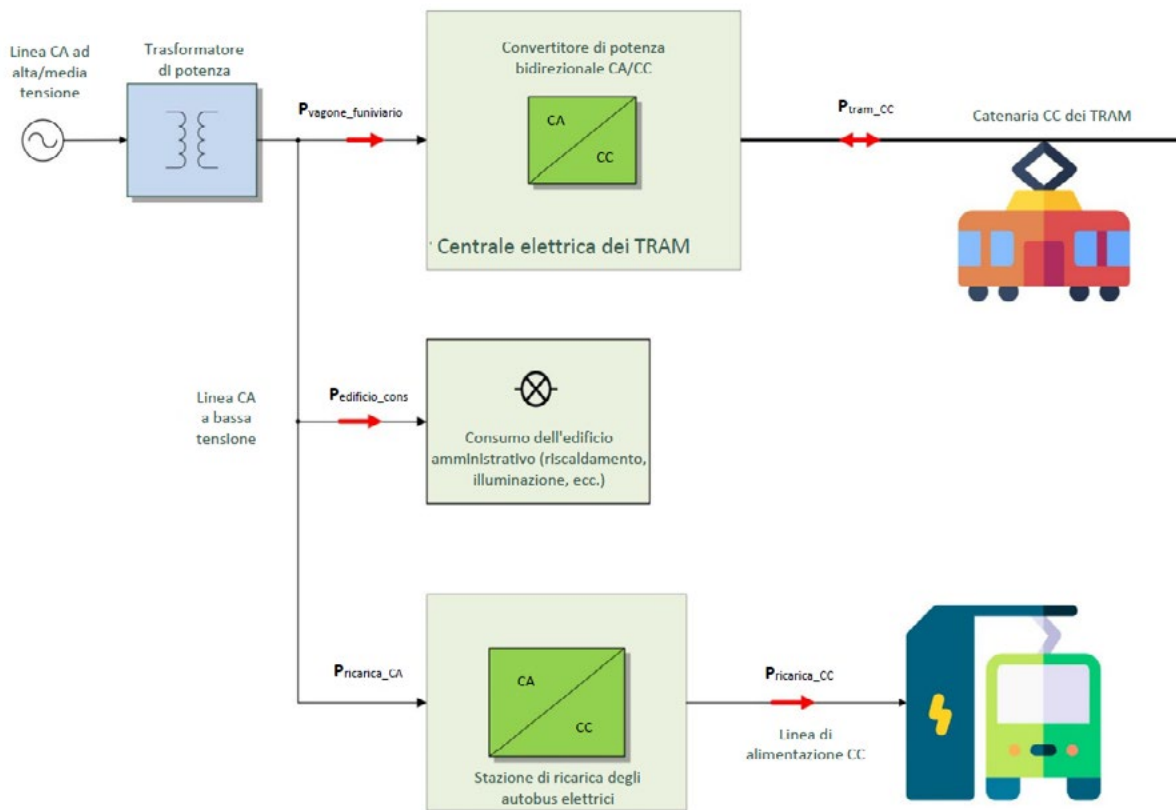


Figura 1: Collegamento delle stazioni di ricarica per veicoli elettrici all'infrastruttura di trasporto pubblico esistente

#### Vantaggi attesi:

Il vantaggio principale di questo concetto tecnologico è sostenere l'elettrificazione rapida, efficiente ed economica del trasporto pubblico mediante autobus, fornendo una base infrastrutturale.

Integrando la solida infrastruttura (rete) del tram/della metropolitana con l'elettrificazione delle flotte di autobus elettrici, si ha l'opportunità di velocizzare l'elettrificazione di queste flotte. La rete tranviaria/metropolitana rappresenta un'alternativa fattibile alla rete di distribuzione energetica pubblica, senza la necessità di ulteriori sottostazioni per l'alimentazione degli autobus elettrici.

I principali vantaggi tecnici riguardano questi aspetti:

- Responsabilità per quanto riguarda il luogo e il tempo e affidabilità in caso di interruzioni di corrente,
- Distribuzione energetica efficiente ed equilibrata

Il principale vantaggio finanziario è il seguente:

- Raggiungere un prezzo di acquisto dell'energia più basso (volume condiviso di metropolitana/ tram e autobus elettrici).

## Soluzione 2 - Elettricità dalla rete di TP esistente (tram o metropolitana) per alimentare veicoli elettrici e filobus ibridi

I collegamenti tra la rete ferroviaria, tranviaria o metropolitana esistente e la rete filoviaria potrebbero essere migliorati dotando i filobus di una batteria di trazione aggiuntiva, per consentire il funzionamento con la catenaria e anche senza il collegamento a quest'ultima (di tipo autonomo). L'obiettivo principale di questo cluster è estendere le linee di autobus elettrici cittadine e regionali, sostituendo così le attuali linee di autobus diesel senza dover costruire ulteriori infrastrutture aeree. Per ridurre i costi di realizzazione, la rete filoviaria (ibrida) potrebbe essere combinata con un sistema ferroviario.

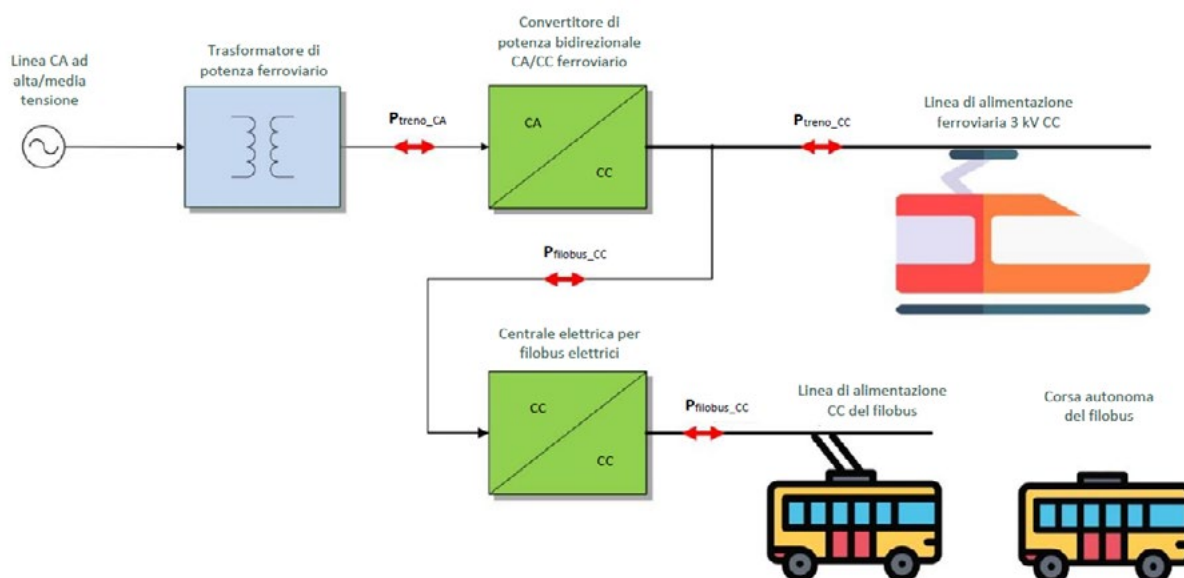


Figura 2: Combinazione dei filobus con ricarica in movimento con un sistema ferroviario

### Vantaggi attesi:

La tecnologia dei filobus ibridi è sufficientemente matura e disponibile in commercio, pronta per essere utilizzata. Inoltre, i veicoli elettrici sono uguali o superiori ai veicoli diesel in termini di disponibilità, efficienza e affidabilità e richiedono meno manutenzione. Sono stati individuati punti deboli secondari nella gestione, nel dimensionamento e nella compatibilità delle batterie agli ioni di litio nei veicoli più vecchi, ma potrebbero essere risolti presto con l'evoluzione della tecnologia delle batterie.

## Soluzione 3 - Elettricità dalla rete di TP esistente (tram o metropolitana) per alimentare l'hub di ricarica multimodale

Si riferisce a un concetto tecnologico che consente l'uso polivalente delle reti di elettriche di TP (metropolitana, tram o filobus) per alimentare altri tipi di veicoli elettrici, come quelli commerciali, autovetture e taxi. I veicoli elettrici considerati in questa soluzione variano in base al caso d'uso e comprendono auto elettriche, biciclette e furgoni.



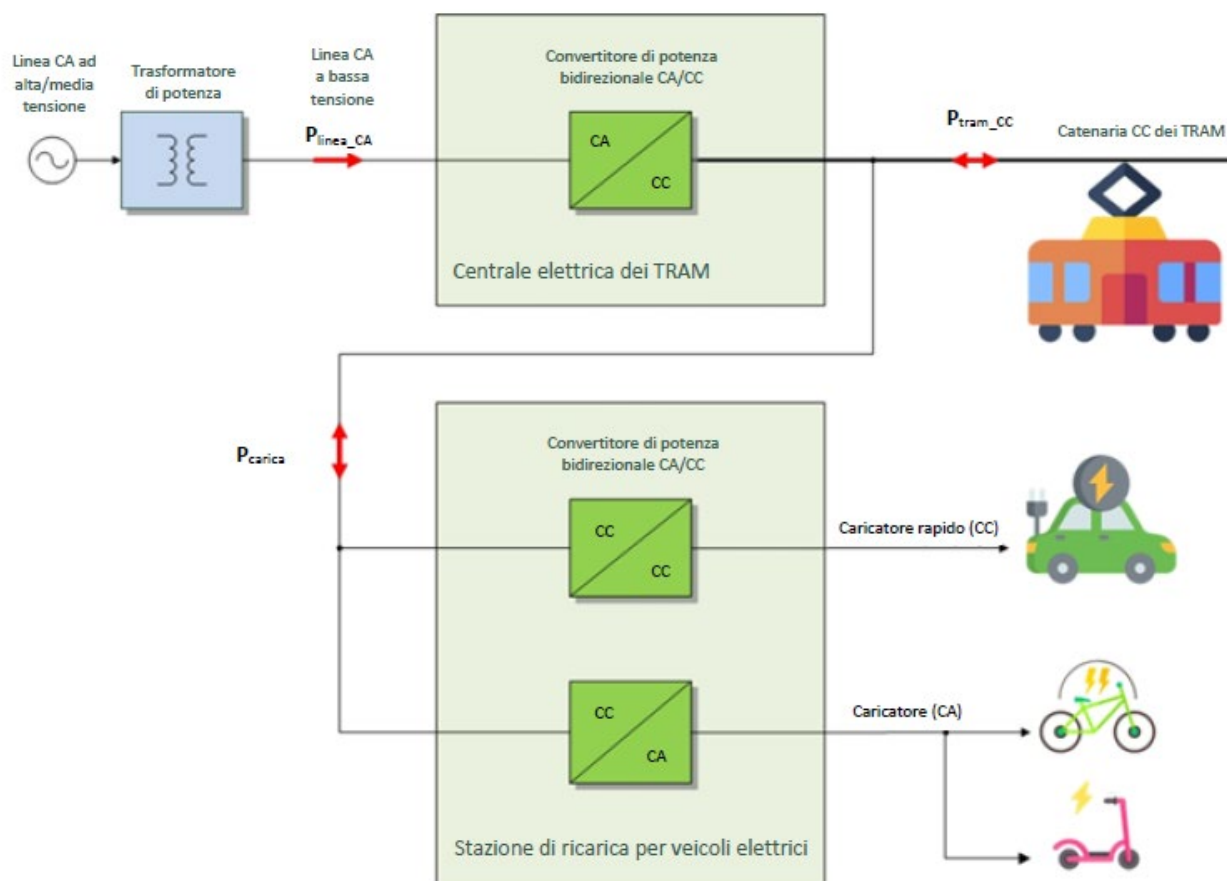


Figura 3: Ricarica rapida dei veicoli elettrici dalla catenaria del tram

#### Vantaggi attesi:

In primo luogo, è necessario chiarire se è possibile utilizzare la rete elettrica per soddisfare il fabbisogno di elettricità dell'infrastruttura di ricarica, soprattutto nei luoghi collegati alla normale rete elettrica.

Tecnologia A	Ostacoli tecnici	Ostacoli legali
Uso multimodale	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mancanza di standard tecnici per l'opportunity charging.</li> <li>▪ Compatibilità tra diversi produttori.</li> <li>▪ Modifiche necessarie al calendario attuale.</li> <li>▪ Carico sulla rete, limitate possibilità di ricarica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vendita o distribuzione di energia a operatori (di autobus) di terze parti.</li> <li>▪ Utilizzo dei benefici ambientali per l'estensione delle linee catenarie (difficoltoso).</li> </ul>

### 1.1.2 Tecnologia B – Uso multifunzionale dell'infrastruttura di TP

La tecnologia si riferisce all'uso più efficiente dell'infrastruttura di ricarica della rete di TP esistente, come la metropolitana, il tram, il filobus, la ferrovia o la funivia.

#### Soluzione 4 - Integrazione dell'energia di frenata recuperata

La tecnologia raggruppa le diverse misure e sistemi tecnici che aumentano l'utilizzo dell'energia di frenata recuperata nei veicoli ferroviari (metropolitana, tram) e negli autobus (filobus). L'obiettivo principale di questo cluster è aumentare l'efficienza energetica del sistema di trasporto pubblico utilizzando l'energia di frenata recuperata dai veicoli in modo più efficiente.

Esistono tre tipi di applicazioni:

- Applicazioni di stoccaggio mobile
- Applicazioni di stoccaggio stazionario
- Applicazioni stazionarie "back-to-the-grid".

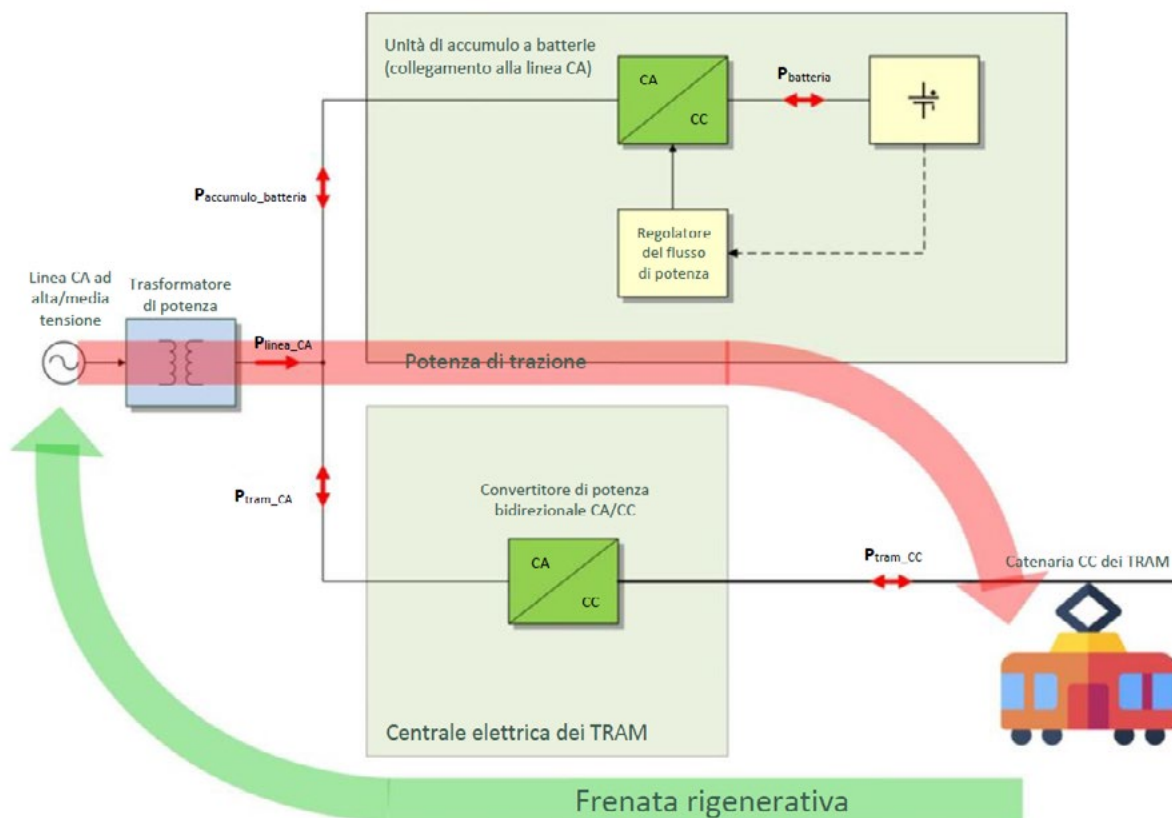


Figura 4: Applicazioni di stoccaggio stazionario

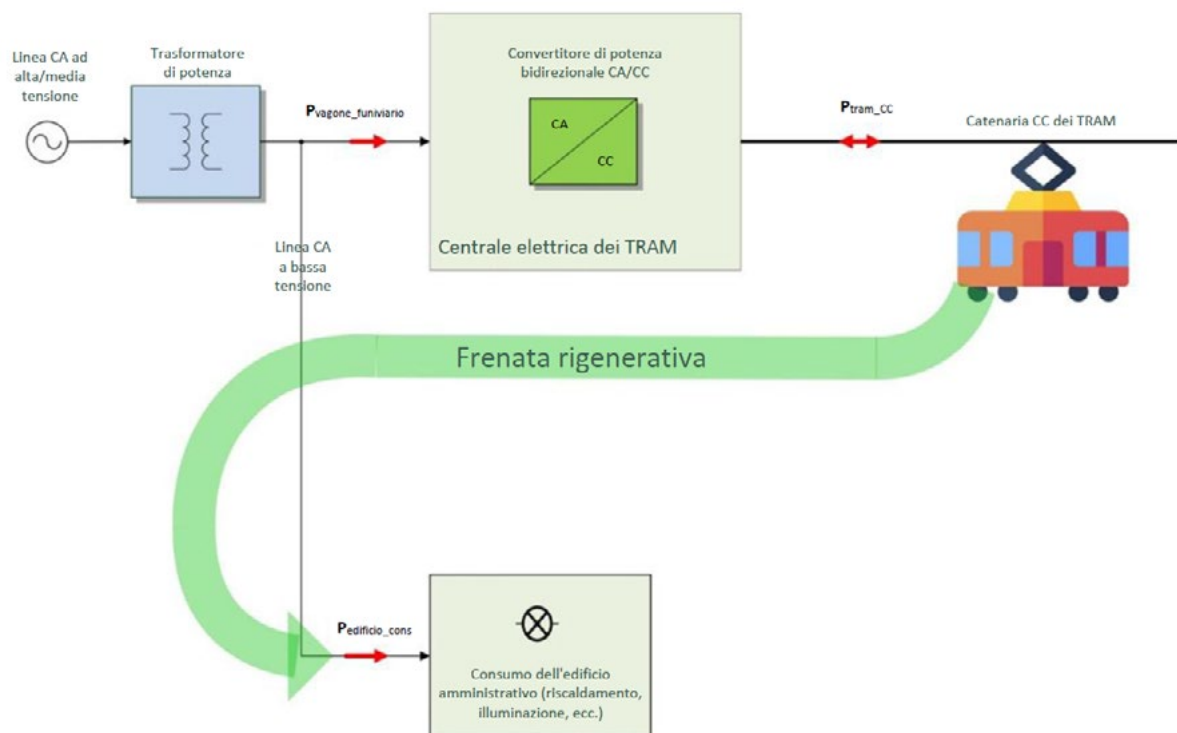


Figura 5: Applicazioni stazionarie "back-to-the-grid"

### **Vantaggi attesi:**

I benefici attesi dalle applicazioni possono essere evidenziati nei seguenti punti (François-Olivier Devaux [STIB] marzo 2011):

#### **Stoccaggio mobile:**

- Elevata efficienza grazie alla riduzione delle perdite di carico, in quanto lo stoccaggio avviene a bordo del veicolo.
- Possibilità di utilizzare il veicolo senza linee aeree su alcuni tratti della linea.
- Stabilizzazione della tensione mediante l'attenuazione dei cali di tensione.
- Riduzione della domanda energetica di picco con il calcolo della media dei carichi in un determinato periodo.
- Possibile riduzione delle resistenze in frenata del veicolo.

#### **Applicazioni di stoccaggio stazionario:**

- Utilizzabili da tutti i veicoli che operano sulla linea, stabilizzazione della tensione tramite l'attenuazione dei cali di tensione.
- Riduzione della domanda energetica di picco con il calcolo della media dei carichi in un determinato periodo.
- Riduzione del numero di sottostazioni a trazione o consentire l'aggiunta di veicoli senza aggiornare il sistema elettrico.
- Riduzione del calore residuo, evitando il riscaldamento di gallerie e stazioni.
- Possibile riduzione delle resistenze in frenata a terra.
- Riduzione dei vincoli di sicurezza rispetto ai sistemi di bordo.
- Implementazione, manutenzione e riparazione non influiscono sul funzionamento (modalità di arresto).

#### **Applicazioni stazionarie "back-to-the-grid":**

- Possono essere utilizzate da tutti i veicoli nella linea.
- Molto efficienti dal punto di vista energetico grazie alle minori perdite di trasformazione rispetto alle applicazioni di stoccaggio.
- Riduzione del calore di scarto rispetto alle applicazioni di stoccaggio (evitare i tunnel di calore).
- Possibile riduzione delle resistenze in frenata a terra.
- Meno requisiti di sicurezza rispetto ai sistemi di bordo.
- Implementazione, manutenzione e riparazione non influiscono sul funzionamento (modalità di arresto).

### **Soluzione 5 - Smart Grid (fotovoltaico, FER, mobility 2 grid, vehicle 2 grid)**

Energie rinnovabili e mobilità elettrica per un ambiente urbano intelligente. La crescita della mobilità elettrica rappresenta un'opportunità di sviluppo di un sistema integrato di energia e trasporti. Sviluppare e implementare soluzioni innovative per garantire un approvvigionamento economico e sicuro di elettricità, calore e trasporto basato interamente sulle energie rinnovabili.

#### **Vantaggi attesi (Massink, 14 gennaio 2019):**

- Riduzione del costo totale per la proprietà di flotte, batterie, impianti fotovoltaici, ecc.
- Gli OEM (produttori) potranno vendere veicoli con un valore aggiunto.
- I settori del mercato energetico possono effettuare scambi e ottimizzare il proprio bilancio.
- Gli operatori di rete possono ottimizzare gli investimenti e stabilizzare la rete.



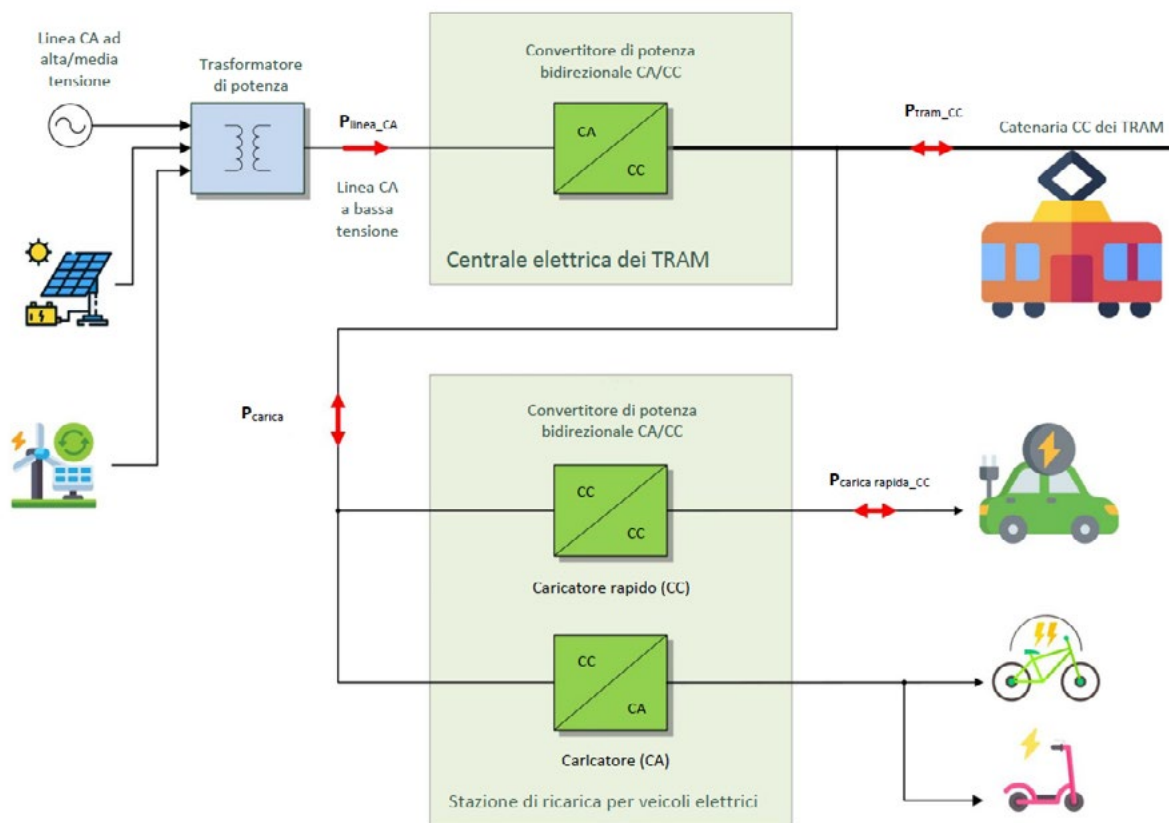


Figura 6: Collegamento delle stazioni di ricarica per veicoli elettrici all'infrastruttura di trasporto pubblico esistente



Tecnologia B	Ostacoli tecnici	Ostacoli legali
Uso multimodale	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevati vincoli di sicurezza per l'applicazione dello stoccaggio mobile (passeggeri a bordo);</li> <li>▪ Perdite di linea aerea (dovute a grandi distanze tra veicoli/stazioni);</li> <li>▪ Nessuna stabilizzazione della tensione per i sistemi back to grid.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Le norme più severe e la loro applicazione possono comportare costi più elevati o l'abbandono del progetto;</li> <li>▪ Standard di trasferimento di potenza bidirezionale tra diverse modalità con lo standard ISO 15118-20.</li> </ul>

### 1.1.3 Tecnologia C – Ricarica in movimento innovativa per il TP

La tecnologia si riferisce al concetto di ricarica dei veicoli di TP durante la guida su strada (in movimento), con la possibilità di nuove soluzioni innovative che consentono un uso multimodale e versatile del TP del futuro.

#### Soluzione 6 - Ricarica in movimento induttiva a terra (OLEV)

Esistono diversi metodi per costruire strade elettrificate. Nella tecnologia induttiva si verifica la trasmissione di energia magnetica.

Si noti che tutti i concetti OLEV sviluppati sembrano funzionare a una frequenza di 20 kHz.

Occorre sottolineare che attualmente è in fase di sviluppo la sesta generazione della tecnologia. L'obiettivo principale è garantire la conformità con il nuovo standard SAE J2954 per la ricarica induttiva stazionaria dei veicoli elettrici. Pertanto, si precisa che la tecnologia OLEV di sesta generazione si baserà su rotaie senza nucleo e senza struttura magnetica rigida nella strada.

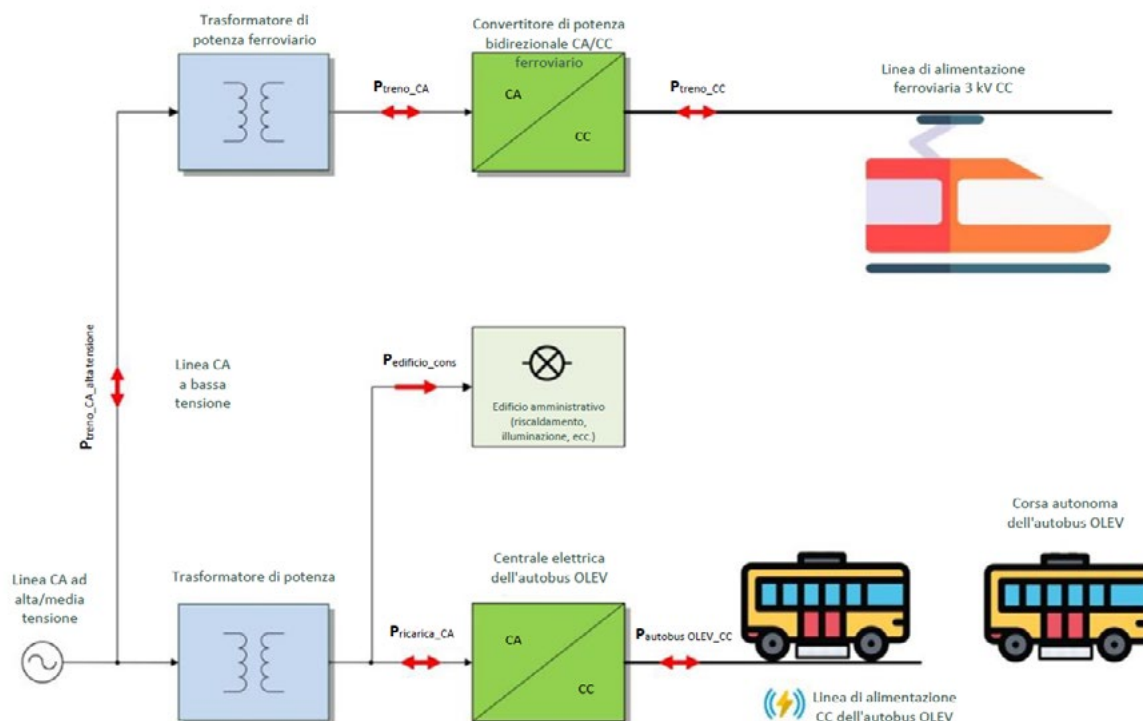


Figura 7: Ricarica in movimento induttiva a terra

### Vantaggi attesi:

Si prevede la compatibilità dei sistemi per il trasferimento di energia induttiva stazionaria e dinamica ai veicoli stradali elettrici. Lo standard per la ricarica induttiva stazionaria richiede una frequenza operativa di 85 kHz, che prevede inoltre considerazioni e compromessi diversi rispetto ai sistemi OLEV esistenti che funzionano a 20 kHz.

### Soluzione 7 - Ricarica in movimento delle linee aeree conduttive sulle autostrade (autostrade elettriche)

La tecnologia basata sulle linee aeree può essere considerata la più matura, in quanto si fonda sull'esperienza acquisita durante il funzionamento delle linee aeree per l'alimentazione di treni, tram o filobus.

La differenza principale tra l'infrastruttura dei veicoli stradali e quella dei treni o dei tram risiede nel fatto che i sistemi ferroviari richiedono un solo conduttore con contatto strisciante, poiché di solito le rotaie sono il percorso di ritorno della corrente, mentre per il trasferimento dinamico di potenza conduttiva ai veicoli stradali sono necessari due conduttori separati. Il componente fondamentale del sistema è il pantografo sviluppato di recente che garantisce la sicurezza durante l'accoppiamento e il disaccoppiamento con la linea aerea di contatto nell'intervallo di velocità da 0 a 90 km/h (Akerman, 2015).

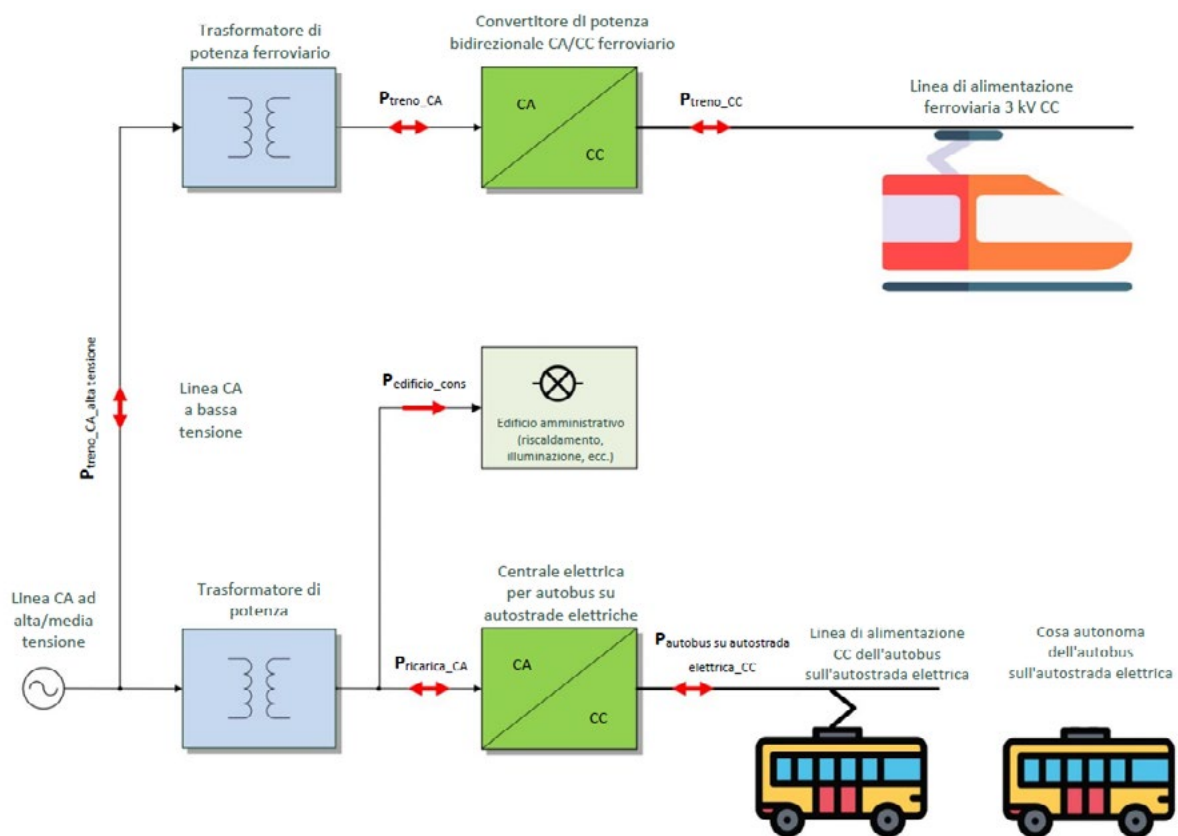


Figura 8: Ricarica in movimento delle linee aeree conduttive sulle autostrade

### Vantaggi attesi:

Si prevede che gli autocarri ed eventualmente gli autobus che utilizzano linee aeree avranno interfacce molto simili, a metà tra il sistema a pantografo e il sistema di propulsione di bordo, anche se con alcuni adeguamenti che dipendono dal produttore. Ci si attende che a bordo i veicoli saranno dotati di uno stoccaggio a batteria con una tensione nominale compresa tra 400 e 900 V. Molto probabilmente, l'interfaccia del sistema di propulsione sarà costituita da un convertitore CC-CC che regolerà la tensione e controllerà la corrente proveniente dalle linee aeree.



## Soluzione 8 - Ricarica in movimento conduttiva a terra (multimodale)

La seconda tecnologia conduttiva consente di fornire energia dal basso con i cavi in strada. Tali sistemi sono già stati implementati per i tram urbani, per evitare l'impatto visivo dei pali e dei cavi aerei necessari per i sistemi a catenaria. Uno dei concetti in fase di sviluppo consiste nell'adeguamento della tecnologia per i tram, mentre altri sistemi vengono sviluppati specificamente per i veicoli su strada.

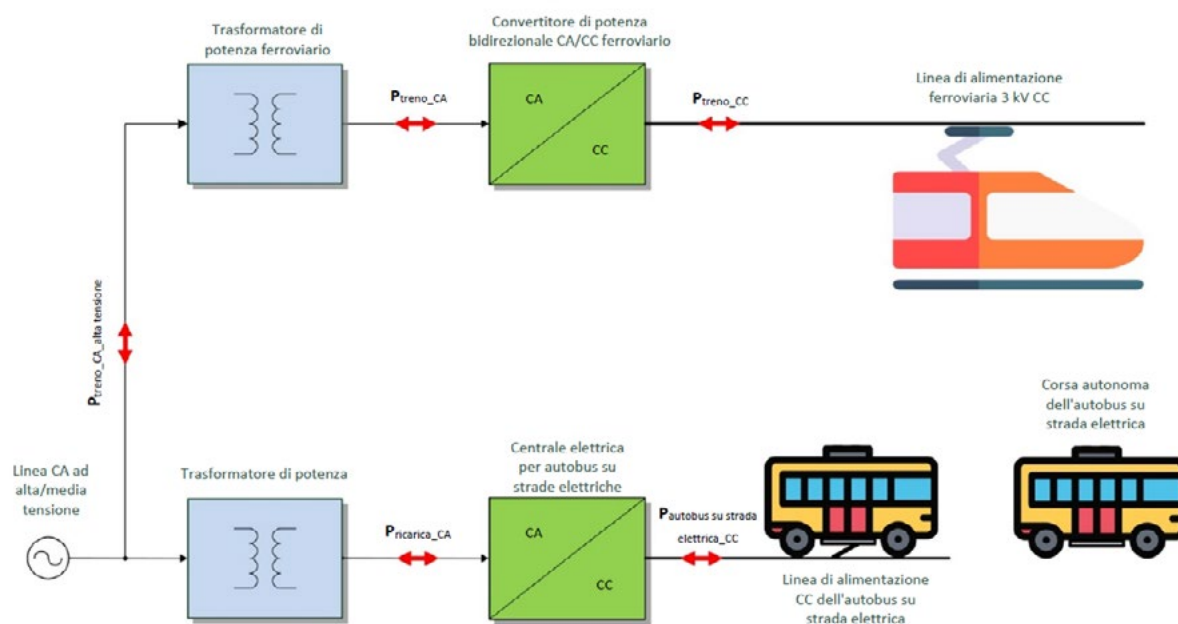


Figura 9: Ricarica in movimento conduttiva a terra

### Vantaggi attesi:

- Possibilità di utilizzare l'infrastruttura per veicoli di varie dimensioni.
- Evitare la posa di linee elettriche aeree e il relativo impatto visivo.

Tecnologia C	Ostacoli tecnici	Ostacoli legali
Ricarica in movimento innovativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Scarsa efficienza di trasferimento della potenza in condizioni reali;</li> <li>▪ La ricarica wireless richiede l'integrazione di un caricatore supplementare nel veicolo (costo aggiuntivo);</li> <li>▪ Progettazione, funzionamento e costi del sistema di distribuzione dell'energia;</li> <li>▪ Nessuna concezione chiara della multimodalità.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Standardizzazione dell'infrastruttura e dei sistemi di bordo;</li> <li>▪ Interoperabilità tra concetti diversi.</li> </ul>



## 1.2 Uso polivalente delle infrastrutture di trasporto pubblico in tutto il mondo

### Oberhausen: Tecnologia A (Soluzione 1) - Utilizzo del tram per la ricarica rapida degli autobus elettrici

I veicoli diesel venivano utilizzati principalmente nei sistemi di autobus urbani. Gli autobus elettrici sono stati introdotti in città per ridurre la dipendenza dai combustibili fossili e l'inquinamento acustico da ossido di azoto e particolato nell'area urbana. L'energia di ricarica viene convertita dalla linea aerea del tram o prelevata dalla sottostazione alla fermata, per evitare di ricaricare gli autobus elettrici in deposito durante il normale funzionamento.

### Lipsia: Tecnologia A (Soluzione 1) - Utilizzo del tram per la ricarica degli autobus elettrici in tutta la città

Alimentazione dalle reti di TP esistenti (tram o metropolitana) per alimentare l'hub di ricarica multimodale. Utilizzo della rete tranviaria per la (ri)carica dei veicoli elettrici. L'obiettivo principale era identificare gli ostacoli legali e il contesto giuridico relativo all'uso polivalente dell'infrastruttura tranviaria esistente per la vendita di energia a terzi proveniente dalla rete tranviaria.

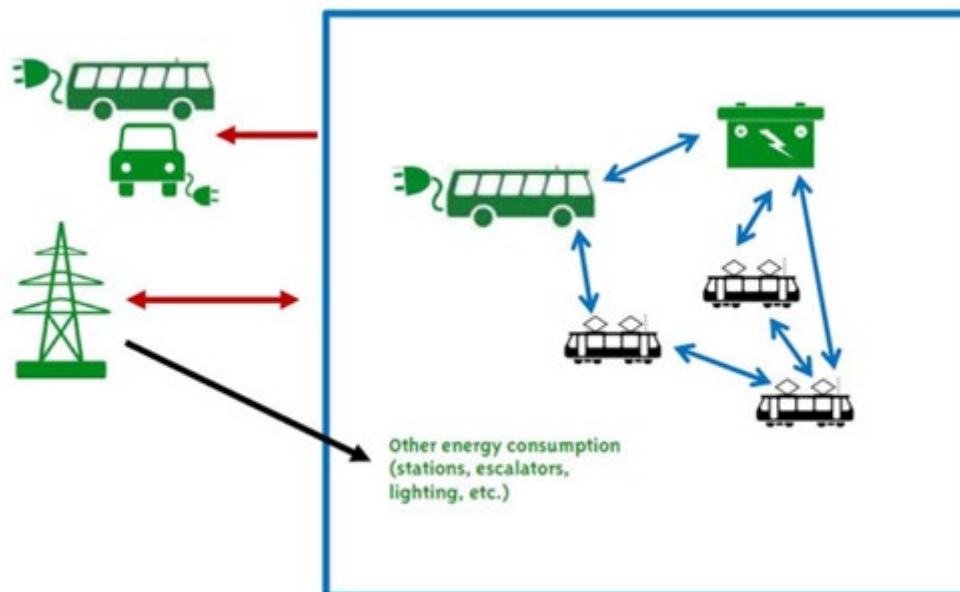


Figura 10: Pilastro A, opportunity (re)charging degli autobus elettrici con l'infrastruttura tranviaria

### **Barcellona: Tecnologia A (Soluzione 1) - Utilizzo della metropolitana per la ricarica rapida di autobus elettrici di 18 m**

Stazione di opportunity charging di tipo rapido a Barcellona: due autobus elettrici funzionano con questo modello operativo. Questi veicoli hanno una batteria con 125 kWh di capacità e sono lunghi 18 metri. Dato fondamentale: una capacità inferiore comporta meno tempo ed energia per ogni ricarica, ma un maggior numero di ricariche.



Figura 11: Ricarica del pantografo di Barcellona come parte dell'ambizioso piano di elettrificazione.  
Fonte: TMB.

### **Seghedino: Tecnologia A (Soluzione 2) - Elettricità dalla rete di TP esistente per alimentare i filobus ibridi**

- Ricarica degli autobus elettrici "in viaggio".
- Potenziamento della rete filoviaria con autobus a batteria.
- Cablaggio/de-cablaggio automatico.
- Vantaggi anche per i cittadini.
- Fattibilità finanziaria e legale.
- Tecnologia non rilevante per il traffico periferico/a bassa densità (autobus elettrici articolati).

### **Eberswalde: Tecnologia A (Soluzione 2) - Utilizzo di filobus ibridi**

Ricarica dell'accumulatore di energia mentre gli autobus viaggiano sotto i cavi aerei. Una volta che gli autobus lasciano la rete aerea, tutta l'energia elettrica e l'alimentazione vengono fornite solo dai dispositivi di accumulo di energia dei veicoli. Ciò comporta la necessità di ridurre al minimo l'accumulo di energia e di evitare perdite nella capacità di trasporto passeggeri.

### **Oberhausen: Tecnologia A (Soluzione 3) - Hub multimodali**

Elettricità dalle reti di TP esistenti (tram o metropolitana) per alimentare l'hub di ricarica multimodale. L'infrastruttura tranviaria a CC esistente può essere utilizzata anche per la ricarica rapida di altri veicoli elettrici, come le auto elettriche e i veicoli a basse emissioni.

- Elettricità dalle reti di TP esistenti per alimentare gli hub di ricarica multimodali.
- Catenaria del tram utilizzata per la ricarica rapida degli autobus elettrici e delle auto elettriche (Oberhausen).
- L'energia elettrica proveniente dalla catenaria del tram a 750 V a CC viene trasformata in una stazione di ricarica rapida da 50 kW utilizzabile da auto e veicoli a basse emissioni.

- Con sistema di protezione da sovratensione.
- Quadro giuridico poco chiaro e rischi per il business case.

### **Barcellona: Tecnologia A (Soluzione 3) - Utilizzo della ferrovia per la ricarica multimodale**

L'energia fornita dalla rete elettrica degli impianti ferroviari non consumata dalla trazione elettrica può essere utilizzata per ricaricare la flotta di veicoli elettrici di Barcellona.

- Identificazione delle fasce orarie, dei parcheggi disponibili e della rete elettrica delle infrastrutture ferroviarie (tram, metropolitana) per l'installazione di punti di ricarica.
- L'energia non consumata viene inviata alla rete elettrica, che la utilizza.
- Stakeholder coinvolti: operatore di TP e di parcheggio e utente finale.
- Diversi schemi di gestione della ricarica per veicoli privati e flotte pubbliche:
- Dall'operatore di trasporto pubblico (OTP) alla flotta pubblica dell'operatore di parcheggio (OP), dall'OTP a utente privato del veicolo elettrico, dall'OTP all'OP alla flotta pubblica/privata.
- Ostacoli legali.

### **Rotterdam: Tecnologia B (Soluzione 4) - Infrastruttura di TP con integrazione dell'energia di frenata recuperata**

Tutti i treni della metropolitana utilizzati sulla rete di Rotterdam erano in grado di frenare elettricamente con tecniche di frenata rigenerativa. Il recupero dell'energia di frenata può essere una grande opportunità per ridurre l'energia utilizzata dalla rete metropolitana.

- L'energia cinetica recuperata dalla frenata alimenta i dispositivi ausiliari del veicolo, mentre l'energia rimanente viene inviata alla rete elettrica per l'accelerazione dei treni vicini.
- In caso contrario, la tensione di rete aumenta a causa dell'eccedenza di energia, che viene dissipata nelle resistenze dei freni.
- Soluzioni testate: sistemi di accumulo con supercondensatori lungo la rete tranviaria ma nessun beneficio significativo; utilizzare i volani?
- Lo stoccaggio non è necessario, ma servono gli invertitori.
- Simulazione della posizione ottimale (in due sottostazioni).

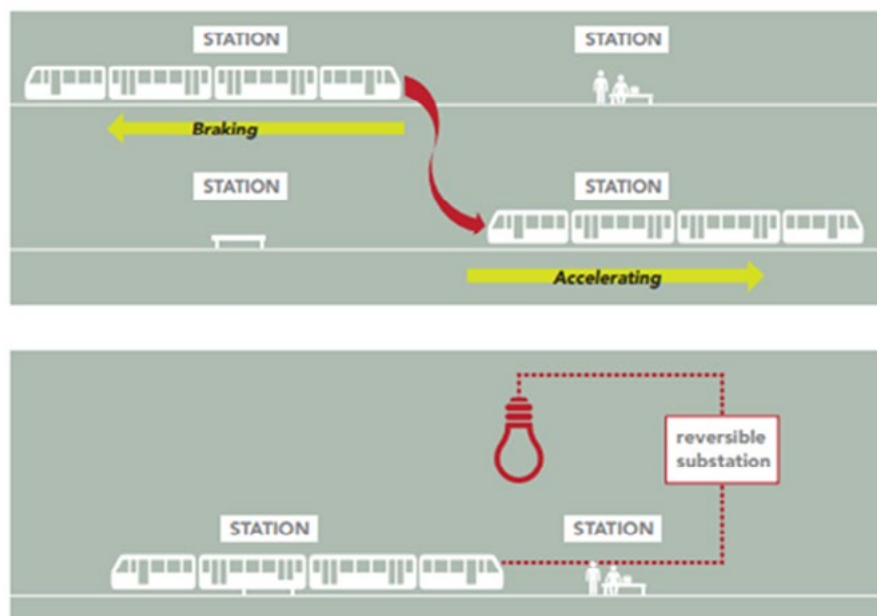


Figura 12: Sistema di recupero della frenata nella rete metropolitana di Rotterdam (Fonte: Virgil Grot, Regie & Ontwikkeling, 2014)

### Torino: Tecnologia B (Soluzione 5) - Tecnologia "vehicle 2 grid" con FER integrate

Tecnologia bidirezionale che ricarica l'auto e restituisce l'energia alla rete.

- Industria automobilistica (FCA) insieme a fornitori di tecnologie per la mobilità elettrica (ENGIE EPS) e operatori di rete (TERNA).
- Tecnologia bidirezionale che ricarica l'auto e restituisce l'energia alla rete.
- Utilizzo delle batterie per la stabilizzazione della rete: ottimizzazione dei costi operativi degli automobilisti.
- Installazione di 32 colonnine V2G in grado di collegare 64 veicoli (obiettivo: 700 veicoli).
- Pannelli solari con capacità di 5 MW (per 8500 abitazioni).

### Arnhem: Tecnologia B (Soluzione 5) - Uso polivalente delle smart grid per filobus

La ricarica polivalente di altri veicoli elettrici dalla rete dei filobus:

- L'infrastruttura delle reti di trazione dei filobus potrebbe fornire una soluzione a basso costo.
- Un servizio flessibile su richiesta per integrare ed estendere i servizi di trasporto pubblico regolari.
- Il caricatore rapido per veicoli installato è gestito tramite la rete filoviaria a CC. Poiché il sistema è di tipo CC-CC, la perdita di energia è minore rispetto ai sistemi di ricarica convenzionali.
- La stazione di ricarica non richiede il collegamento alla rete elettrica convenzionale quando è collegata alla rete filoviaria.
- La rete di filobus può avere un impatto positivo sull'uso delle FER mediante la creazione di un carico di base per la fonte di energia rinnovabile, senza immetterla nella rete.

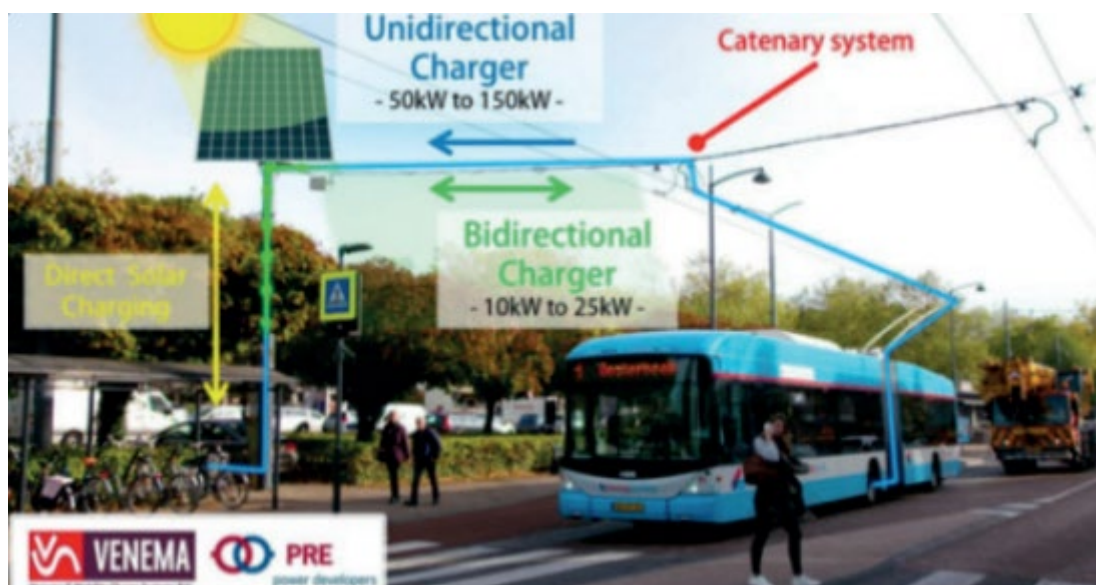


Figura 14: Disegno concettuale di un caricatore polivalente (Fonte: VENEMA/PRE Power; trolley:2.0)

### Soluzione industriale: Tecnologia C (Soluzione 6)

Le applicazioni principali hanno riguardato l'opportunity charging stazionaria di sistemi di trasporto pubblico come tram, autobus e camion (pista di 800 m di Bombardier ad Augsburg).

- Trasferimento di 200 kW al veicolo.
- Traferro di 6 cm (tram), 10 cm per i camion.
- Possibile integrazione con l'opportunity charging stazionaria degli autobus.



Figura 15: Autobus elettrici con ricarica induttiva a Braunschweig. Fonte: Rupprecht Consult.

#### **Assia, Germania: Tecnologia C (Soluzione 7) - Approccio innovativo dell'infrastruttura di TP per alimentare le autostrade elettriche**

Il progetto ELISA mira a sostenere in modo proattivo la visione di un impulso climaticamente neutrale come parte delle catene di valore logistico, mantenendo al contempo la capacità di trasporto. L'obiettivo dei partner del progetto è realizzare un sistema di traffico elettrico con infrastrutture dotate di linee aeree.

- L'autostrada elettrica dell'Assia è stata realizzata su circa dieci chilometri dell'autostrada A5.
- È stata approvata e costruita in soli due anni, il che dimostra che questo tipo di strada elettrica può essere realizzata in breve tempo, anche su percorsi trafficati.
- Interoperabilità con il TP?



Figura 16: Percorso di prova dell'autostrada elettrica nell'ambito del progetto ELISA del 2020. Fonte: M. Werner (TU Dresden)

### **Svezia: Tecnologia C (Soluzione 8) - Strada elettrica ARLANDA-SE**

Ricarica in movimento innovativa per il TP; contatti striscianti conduttivi a terra. Le tecniche innovative si basano su una tecnologia conduttiva che utilizza un binario elettrico installato nelle strade per alimentare e ricaricare i veicoli in viaggio. Il sistema è stato progettato con la capacità di alimentare il traffico più pesante, come quello dei camion, ma funziona anche per le auto e gli autobus. Può anche fornire un aiuto per la guida in salita.

- Tecnologia conduttiva che utilizza binari elettrici installati nelle strade per alimentare e ricaricare i veicoli in viaggio.
- Ricarica con "braccio mobile".
- Obiettivo della Svezia per il 2030 per i trasporti senza combustibili fossili.
- Costruita originariamente per i camion, ma importante anche per auto e autobus.
- 10 km di pista di prova - camion da 18 t, 2 km elettrificati.



## 2. Caso d'uso di Maribor - Adattamento della stazione della funivia in un'infrastruttura di TP polivalente

La tecnologia A è stata utilizzata nell'ambito del progetto pilota, che si concentra sulla ricarica rapida di autobus elettrici polivalenti, mentre la sottostazione funge attualmente da stazione di ricarica per funivie e car sharing elettrico. Poiché è prevista l'elettificazione della linea 6, il caricatore rapido per autobus elettrici si trova presso la stazione di Vzpenjača, dove si trova anche quella della funivia. La sfida principale del progetto pilota è stata implementare un caricatore rapido per autobus elettrici per uso polivalente e misurare la stabilità della rete in diverse circostanze. Le misurazioni della stabilità della rete prima e dopo l'implementazione del caricabatterie per autobus elettrici hanno indicato il consumo energetico dei consumatori esistenti (stazione della funivia, car sharing elettrico), di altri consumatori occasionali (per i grandi eventi, come i campeggiatori durante il downhill in bici e l'inverno) e del nuovo caricabatterie innovativo per autobus elettrici (in base alla situazione di ricarica diversa a seconda della giornata).

È stata preparata (in tre fasi) una selezione del concetto di ricarica. In primo luogo, è stato identificato il percorso in cui l'elettificazione avrebbe avuto l'impatto maggiore sulla riduzione del rumore e delle emissioni per la popolazione, adiacente all'infrastruttura di trasporto pubblico già costruita e che non avrebbe subito variazioni significative in futuro. Sono state quindi analizzate varie opzioni di ricarica per il percorso selezionato e sono state stabilite quelle tecnicamente realizzabili. Sulla base delle soluzioni tecniche, è stato poi selezionato il concetto di ricarica in base all'analisi dei costi del ciclo di vita.

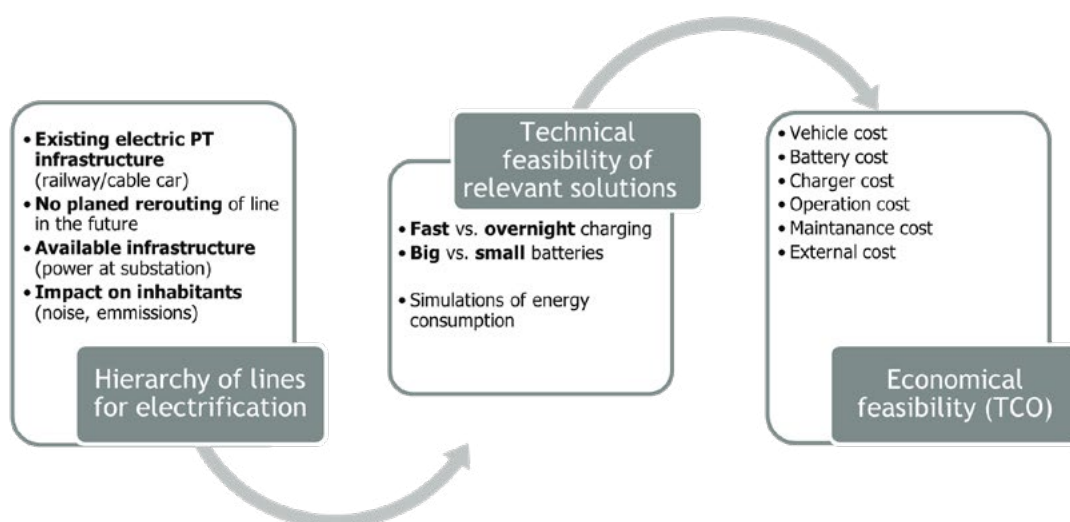


Figura 17: Metodologia per l'elettificazione del TP a Maribor

L'implementazione e l'installazione del dispositivo di misurazione nella sottostazione di Vzpenjača è stata completata alla fine settembre 2020. Il dispositivo viene utilizzato per misurare la potenza, la corrente, la temperatura e altri parametri della sottostazione ed è configurato per monitorare il consumo totale della funivia di Pohorje. Dopo la messa in funzione della stazione di ricarica rapida, ci saranno due contatori: uno per la stazione di ricarica e uno per tutti gli altri consumatori. La somma delle loro potenze rappresenterà il carico totale della sottostazione. La registrazione locale dei dati di consumo sarà trasmessa tramite una rete LTE di un server dell'Università di Maribor. Il grafico seguente mostra il consumo di elettricità in VA tra settembre 2020 e maggio 2022.

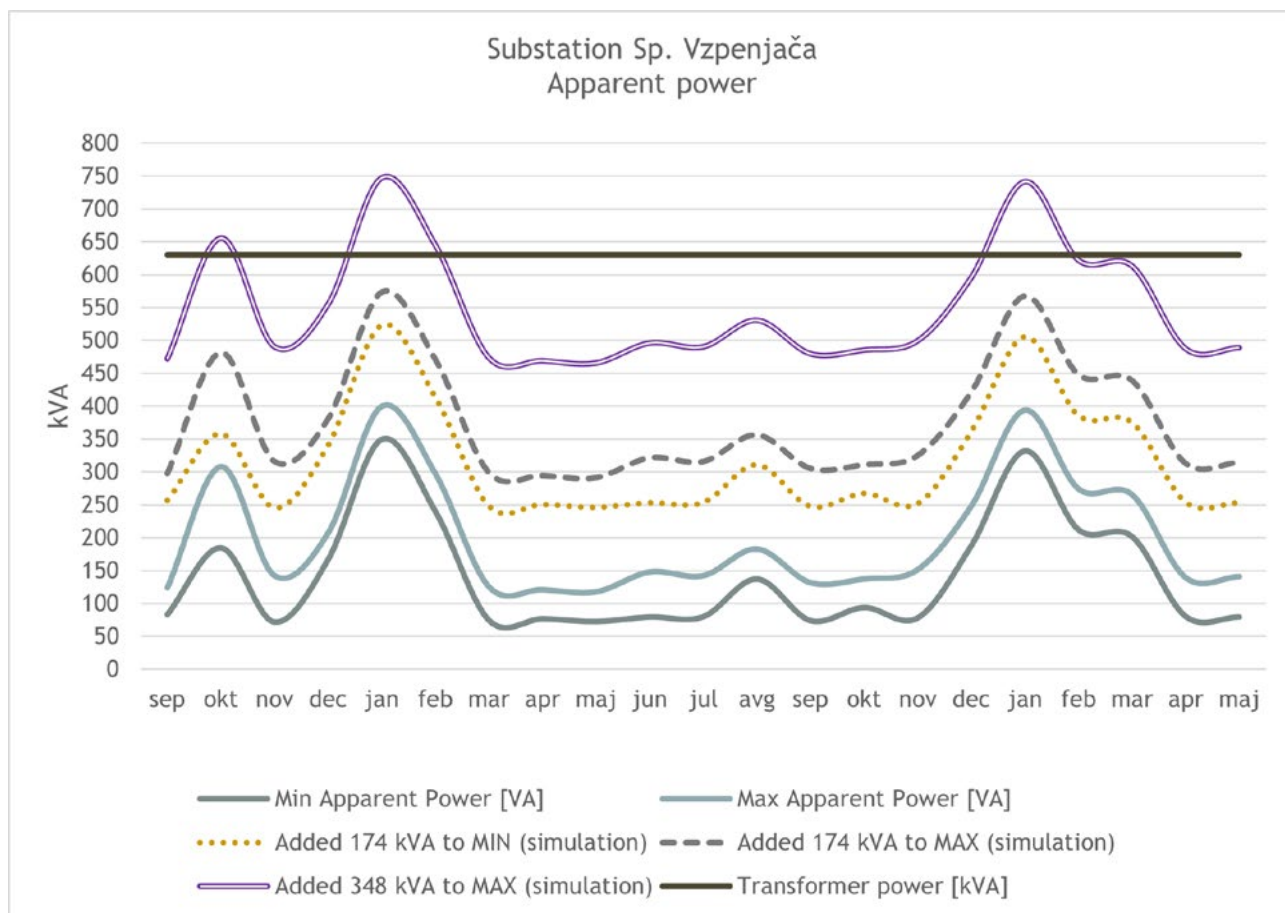


Figura 18: Potenza apparente

Il carico di picco massimo durante questo periodo è stato di 399 kVA a gennaio 2021; a gennaio 2022 il picco era simile. In questo arco di tempo (fine settimana) il centro sciistico di Pohorje aveva messo in funzione i cannoni da neve per la nuova stagione invernale. Considerando il carico di picco massimo in base al diagramma precedente e la stazione di ricarica da 150 kW (174 kVA), la potenza apparente sarebbe di 573 kVA, che corrisponde al trasformatore esistente da 630 kVA. Se la capacità della stazione di ricarica venisse aumentata di 300 kW (ossia alla potenza massima per la capacità della stazione di ricarica di 348 kVA), il carico di picco potrebbe essere di 747 kVA. Il trasformatore esistente da 630 kVA sarebbe inadeguato e dovrebbe essere sostituito con un nuovo trasformatore da 1000 kVA.

Considerando le soluzioni tecniche disponibili sul mercato, la città ha optato per due caricatori rapidi e un set di batterie LTO. Il Comune di Maribor ha indetto una gara d'appalto pubblica per preparare la documentazione del progetto per le stazioni di ricarica rapida presso "Funivia di Pohorje", la stazione principale degli autobus e l'officina Marprom della città. A settembre 2020 si è tenuta una riunione di coordinamento con l'aggiudicatario. I rappresentanti del Comune e dell'Università di Maribor hanno presentato nei dettagli il progetto EfficienCE e le relative condizioni per la preparazione della documentazione professionale.



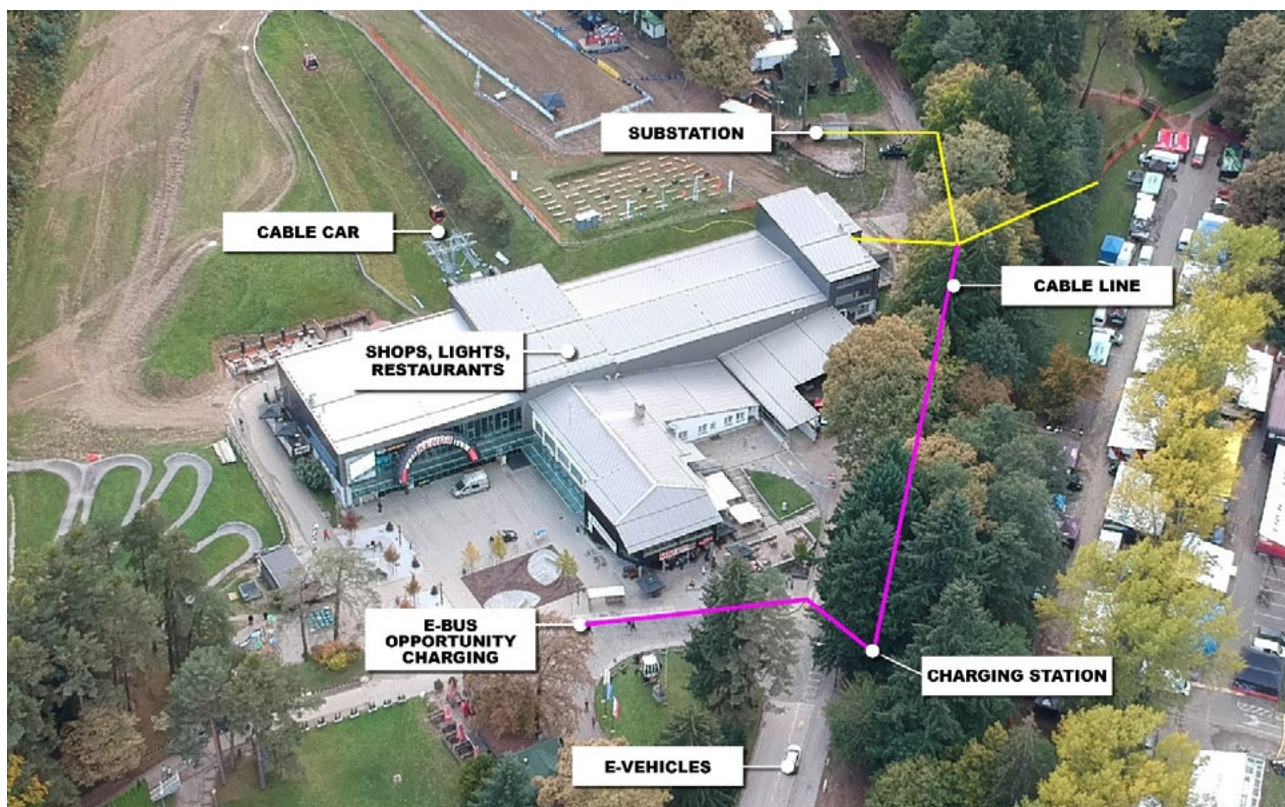


Figura 19: Veduta area di un caricatore rapido presso la stazione di Vzpenjača

Nei primi giorni di febbraio 2022, nella stazione principale degli autobus di Maribor è stato installato correttamente il primo pantografo per la ricarica rapida degli autobus elettrici, con una potenza di 300 kW. Il secondo pantografo con una potenza di 150 kW è stato installato a metà febbraio 2022 presso la stazione della funivia, dove è stata implementata l'integrazione della ricarica per altri veicoli elettrici e funivie.



Figura 20: Installazione di un pantografo con caricatore rapido presso la stazione della funivia di Maribor





Figura 21: Pantografo installato in fase di collaudo con l'autobus acquistato



Figura 22: dimostrazione del funzionamento del pantografo

### 3. Conclusioni

Le tecnologie relative all'uso delle infrastrutture di TP polivalenti offrono un'ampia gamma di opzioni e soluzioni disponibili presso i fornitori e vengono utilizzate in diverse città. Con l'evolversi delle tecnologie, gli impatti sono ancora nelle fasi iniziali (soprattutto per quanto riguarda l'uso polivalente del TP di tipo dinamico/in movimento). In un primo momento sono state presentate le 8 soluzioni tecniche, accompagnate dalla descrizione di ogni tecnologia, a cui sono seguiti benefici chiave, investimenti generali e ostacoli tecnici e legali. In un secondo momento sono state presentate le migliori pratiche per ogni tecnologia e dopo la descrizione dello stato dell'arte è stato illustrato lo stato di implementazione, seguito da una possibilità di espansione dell'uso. Ogni tecnologia presenta svantaggi e vantaggi e l'implementazione deve essere adattata alle condizioni locali. In base al report, si può notare che le città e i fornitori stanno aggiornando le infrastrutture locali di TP esistenti per un uso polivalente, mentre le nuove tecnologie di ricarica mobile (soprattutto) stanno muovendo i primi passi.

Per quanto riguarda l'integrazione di energia, mobilità e logistica nell'uso polivalente delle infrastrutture di TP, è possibile concludere che l'integrazione è legata alla domanda e ai luoghi e all'energia disponibili, mentre di solito gli hub di mobilità e logistica non dispongono di luoghi integrati nelle reti di distribuzione (da un punto di vista spaziale); l'integrazione è pertanto difficile, ma dovrebbe essere presa in considerazione in futuro.

## Bibliografia

- Akerman, P., (2015). Ppmc-transport. Von eHighway - Electrifying Heavy Duty Road Freight Transport: <http://www.ppmc-transport.org/ehighway-electrifying-heavy-duty-road-freight-transport/> abgerufen
- Arriaga D.S., (Siemens), D. G. (1 June 2015). ELIPTIC; Deliverable 3.5 - Technological Viability Evaluation. EU: ELIPTIC Electrification of public transport in cities. Abgerufen am EBRUARY 2021 von <http://www.eliptic-project.eu/>
- Bloomberg, (14. September 2020). Bloomberg - The Vehicle-to-Grid Pilot Project Has Been Inaugurated at Mirafiori. Von [www.bloomberg.com/](http://www.bloomberg.com/): <https://www.bloomberg.com/press-releases/2020-09-14/the-vehicle-to-grid-pilot-project-has-been-inaugurated-at-mirafiori> abgerufen
- Bode, A. (MAY 2014). Ticket to KYOTO Bielefeld. Von INVESTMENT SHEETS Bielefeld: <https://www.stib-mivb.be/irj/go/km/docs/resource/tickettokyoto/en/full-story.html> abgerufen
- CENIT, T. a., & SM/CENIT. (25-11-15). Barcelona Use case set up report. ELIPTIC.
- Devaux F.O., (STIB), X. T. (March 2011). T2K - Overview of braking energy recovery technologies in the public transport field. The "TICKET TO KYOTO" project - [www.tickettokyoto.eu](http://www.tickettokyoto.eu).
- eHighway, (2021). Field trial eHighway Schleswig-Holstein. Von eHighway.SH: <https://www.ehighway-sh.de/de/projektbeschreibung.html> abgerufen
- eRoadArlanda, (February 2021). eRoadArlanda -SE. Von [eroadarlanda.com](http://eroadarlanda.com): <https://eroadarlanda.com/the-technology/> abgerufen
- Freudenberg B., (BBG), T. K., (June 2015). Eberswalde Final Use Case Report. Von [www.eliptic-project.eu](http://www.eliptic-project.eu): <https://www.eliptic-project.eu/results> abgerufen
- Greater, A. L., (May 2012). Ticket to Kyoto - Economic Expertise in the Carbon Market - Optimising policies and regulations for CO2 reduction in the public transport sector.
- Grot V., (May 2014). Regie & Ontwikkeling, R., T2K Rotterdam - Braking energy recovery. Von Ticket to KYOTO Investment sheet: <https://www.stib-mivb.be/irj/go/km/docs/resource/tickettokyoto/en/full-story.html> abgerufen
- Hegazy O., V. C.-O., (June 2015). Brussels Final Use Case Report. Von [eliptic-project.eu](http://www.eliptic-project.eu): <https://www.eliptic-project.eu/results> abgerufen
- House, T. M., (2019). White paper: Smart Charging for Electric Buses. The Mobility House GmbH.
- Hub, V., V2G - A Global Roadtrip. Von Vehicle to grid Hub: <https://www.v2g-hub.com/report> abgerufen
- Klemenčič M., A. I., (2017). Review of electric e-bus technologies. University of Maribor.
- Knote T.(Fraunhofer), E. N., (11/2015). Leipzig Use Case set-up Report. Thoralf Knote, F. A. (15/06/2018). Leipzig Final Use Case Report.
- Mackinger G., L. E., (May 2019). UITP My Library. Von <https://mylibrary.uitp.org/>: <https://mylibrary.uitp.org/> abgerufen
- Massink, R., (January 14, 2019). Integrated and Replicable Solutions for CoCreation in Sustainable Cities, FINAL PROJECT FACT SHEET. EUROPEAN UNION CO-FUNDED PROJECT; IRIS project HORIZION 2020.
- Náday A., S. D., (June 2015). Szeged Final Use Cases Report. Von <http://www.eliptic-project.eu>: <http://www.eliptic-project.eu> abgerufen
- Reh, S., (22. June 2016). Siemens World's first eHighway opens in Sweden. Von SIEMENS Press Release: <https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/worlds-first-ehighway-opens-sweden> abgerufen

Roca J., C. F., (22/06/2018). Barcelona Final Use Case Report. ELIPTIC.

Sue, D. A., (28.10.2020). Decarbonisation of Heavy Goods Vehicles with a Catenary System: The „eHighway“. Von ec.europa.eu: [https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/20201028\\_eu-hgv-workshop\\_sue\\_public.pdf](https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/20201028_eu-hgv-workshop_sue_public.pdf) abgerufen

Suul J.A., G. G., (2018). Technology for dynamic on-road power transfer to electric vehicles. Electric Infrastructure for Goods Transport. Von [www.elingo.no](http://www.elingo.no) abgerufen

T2K, (May 2014). T2K Brussels, Braking energy recovery on the metro network. Von [www.tickettokyoto.eu](http://www.tickettokyoto.eu): <https://www.stib-mivb.be/irj/go/km/docs/resource/tickettokyoto/en/full-story.html> abgerufen

Talbot D., T. D., (1. June 2015). London Final Use Case Report. Von <http://www.eliptic-project.eu/>: <https://www.eliptic-project.eu/results> abgerufen

Thurm S., S. J., (15/06/2018). Oberhausen Final Use Case Report.

Waldeyer, L., (January 2017). Project ELISA - electrified, innovative heavy traffic on highways. Von Interreg Europe: <https://www.interregeurope.eu/policylearning/good-practices/item/3455/project-elisa-electrified-innovative-heavy-traffic-on-highways/> abgerufen



# MAGGIORI INFORMAZIONI SU EfficienCE



Visita il nostro sito web:  
<https://www.interreg-central.eu/efficiency>

## Contatti



+49 341 123 59 10

Partner principale: Città di Lipsia, Germania



Responsabili di progetto:

Sebastian Graetz  
[sebastian.graetz2@leipzig.de](mailto:sebastian.graetz2@leipzig.de)

Marlene Damerau  
[m.damerau@rupprecht-consult.eu](mailto:m.damerau@rupprecht-consult.eu)



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



[www.facebook.com/Interreg.EfficienCE/](https://www.facebook.com/Interreg.EfficienCE/)



[@Int\\_EfficienCE](https://twitter.com/Int_EfficienCE)

TAKING  
COOPERATION  
FORWARD



BUDAPESTI  
KÖZLEKEDÉSI  
KÖZPONT



redmint



GDAŃSK UNIVERSITY  
OF TECHNOLOGY



Leipziger  
Verkehrsbetriebe



WIENER LINIEN

Plzeňské městské  
dopravní podniky

PMDP



City of Leipzig



University of Maribor  
Faculty of Civil Engineering,  
Transportation Engineering  
and Architecture



COMUNE DI BERGAMO

