

RIDURRE LE PERDITE DI ENERGIA NELLA RETI DI DISTRIBUZIONE E IN QUELLE FERROVIARIE URBANE

DICEMBRE | 2022

INTRODUZIONE

Le reti di distribuzione dell'energia elettrica e le reti ferroviarie urbane europee presentano problemi comuni, essendo state sviluppate come reti indipendenti facendo affidamento sulla resilienza e la robustezza degli esistenti sistemi di fornitura di energia. Tuttavia, la progressiva penetrazione delle fonti di energia rinnovabile (FER) ha determinato un crescente grado di incertezza sulla natura futura dei flussi di energia.

UITP ha preso parte al progetto di ricerca finanziato dall'UE 'E-LOBSTER' (ElectricLosses Balancing through integrated Storage and power Electronics, ovvero bilanciamento delle perdite di energia mediante accumulo integrato dell'energia ed elettronica di potenza per una migliore sinergia tra le reti ferroviarie e le reti di distribuzione dell'energia), coordinato da RINA. Scopo di questo progetto è stato sviluppare un innovativo sistema di gestione dell'energia dalle reti di distribuzione elettrica a quella ferroviaria [R+G (Railway to Grid)] che - combinato con elettronica di potenza avanzata - sarà in grado di ridurre le perdite di energia elettrica sia nella rete di distribuzione che nella rete ferroviaria.

Questo documento presenta i principali risultati e le soluzioni innovative individuate nel corso del progetto. Fornisce inoltre una panoramica della metodologia, dei risultati e dei punti chiave del progetto E-LOBSTER.

OBIETTIVI DEL PROGETTO

E-LOBSTER aveva i seguenti obiettivi:

- Sviluppare e convalidare una nuova gestione energetica ottimizzata in tempo reale dalla rete di distribuzione elettrica a quella ferroviaria [Grid to Railway (R+G)] con l'obiettivo di migliorare l'interazione tra reti di trasporto elettrificate e le reti di distribuzione
- Sviluppare sistemi di accumulo di energia ed elettronica di potenza avanzati come risorse condivise tra le reti di trasporto elettrificate e reti di distribuzione e consentire una gestione unica dell'energia tra le due reti
- Convalidare le soluzioni e le tecnologie innovative di E-LOBSTER in condizioni operative reali nella metropolitana di Madrid a livello TRL 6, precedute da convalida nel laboratorio dell'Università di Newcastle.

Figura 1: il concept di E-LOBSTER



Per raggiungere questi obiettivi, è stato creato un consorzio di nove partner partecipanti al progetto. Essi includevano operatori del trasporto pubblico, produttori di apparecchiature originali (OEM), fornitori di tecnologia e servizi, nonché istituti di ricerca e università. L'elenco completo dei membri è disponibile sul sito Web di E-LOBSTER: <https://www.e-lobster.eu/>.

SOLUZIONI TECNOLOGICHE INNOVATIVE DI E-LOBSTER

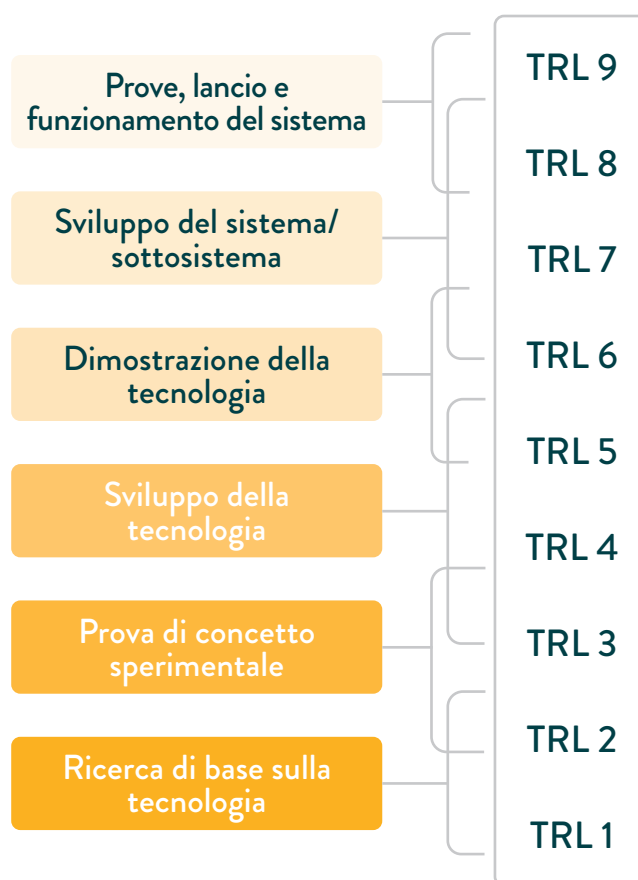
A livello globale, esiste la necessità di aumentare la penetrazione delle tecnologie a basse emissioni di carbonio (LCT). Allo stesso tempo, cresce l'esigenza di fornire alle persone forme di trasporto sostenibili come veicoli elettrici (VE) e treni, in particolare nei centri urbani.

E-LOBSTER propone, per la prima volta, una sostanziale integrazione di fonti rinnovabili, trasporto elettrificato su gomma e su rotaia con tecnologie avanzate di elettronica di potenza e accumulo di energia. Il tutto sarà gestito da un unico sistema di gestione (vale a dire il sistema di gestione R+G), che opererà tenendo conto del vantaggio reciproco derivante dalla riduzione delle perdite di distribuzione sulla rete di trasporto e sulla rete di distribuzione, consentendo inoltre il recupero dell'energia elettrica dal sistema frenante dei treni.

In generale, il progetto E-LOBSTER ha cercato di creare **sinergie tra i diversi attori del settore energetico**. Concretamente, il progetto ha sviluppato e dimostrato fino al livello TRL 6, in un ambiente rilevante (una vera ferrovia della metropolitana a Madrid, collegata a una rete di distribuzione di energia locale) un sistema elettrico di interconnessione trasporto-rete innovativo, economicamente sostenibile e facilmente replicabile. Correttamente gestito, il sistema è stato in grado di stabilire sinergie tra reti di distribuzione di energia, le reti di trasporto urbano elettrificate (come metropolitane, tram e ferrovie leggere) e le stazioni di ricarica per veicoli elettrici.

“L'obiettivo generale del progetto E-LOBSTER è stato creare sinergie tra i diversi attori che operano nel settore dell'energia”

Figura 2: livelli di maturità tecnologica (TRL)



Il progetto ha sviluppato soluzioni e tecnologie innovative, che sono state convalidate e testate in condizioni reali per:

- Valutare la fonte delle perdite di energia
- Minimizzare le perdite di energia elettrica
- Massimizzare il consumo di FER attraverso lo stoccaggio di energia elettrica
- Recuperare l'energia dal sistema frenante.

Il progetto E-LOBSTER poggia le basi sulle seguenti soluzioni tecnologiche innovative:

- Smart Soft Open Point (sSOP)¹
- Sistema di accumulo dell'energia della batteria (BESS)
- Gestione energetica Railway to Grid/Grid to Railway (R+G).

¹ Soft Open Point (SOP) sono dispositivi elettronici di potenza posizionati in punti aperti sulle reti di distribuzione dell'elettricità per fornire un controllo flessibile dell'alimentazione alla rete.

SOLUZIONI TECNOLOGICHE INNOVATIVE

Smart Soft Open Point

Il progetto ha sviluppato e convalidato uno smart Soft Open Point (sSOP) basato su convertitori di potenza back-to-back. Il progetto ha proposto un nuovo sSOP a tre vie in grado di interfacciarsi con la rete di distribuzione di energia e il sistema di elettrificazione ferroviario (un convertitore di potenza DC/AC a due stadi con collegamento DC accessibile intermedio e regolato). Ciò consente la gestione unica del flusso di energia tra la sottostazione di trazione e la rete di distribuzione.

Sistema di accumulo dell'energia della batteria

In una seconda fase, il progetto ha sviluppato e convalidato tecnologie di stoccaggio idonee a creare sinergie tra le reti di trasporto elettrificate e le reti di distribuzione dell'energia aumentando la penetrazione delle fonti energetiche rinnovabili. Insieme al sSOP, tali tecnologie rappresentano le risorse condivise tra la rete di distribuzione di energia e la rete di trasporto.

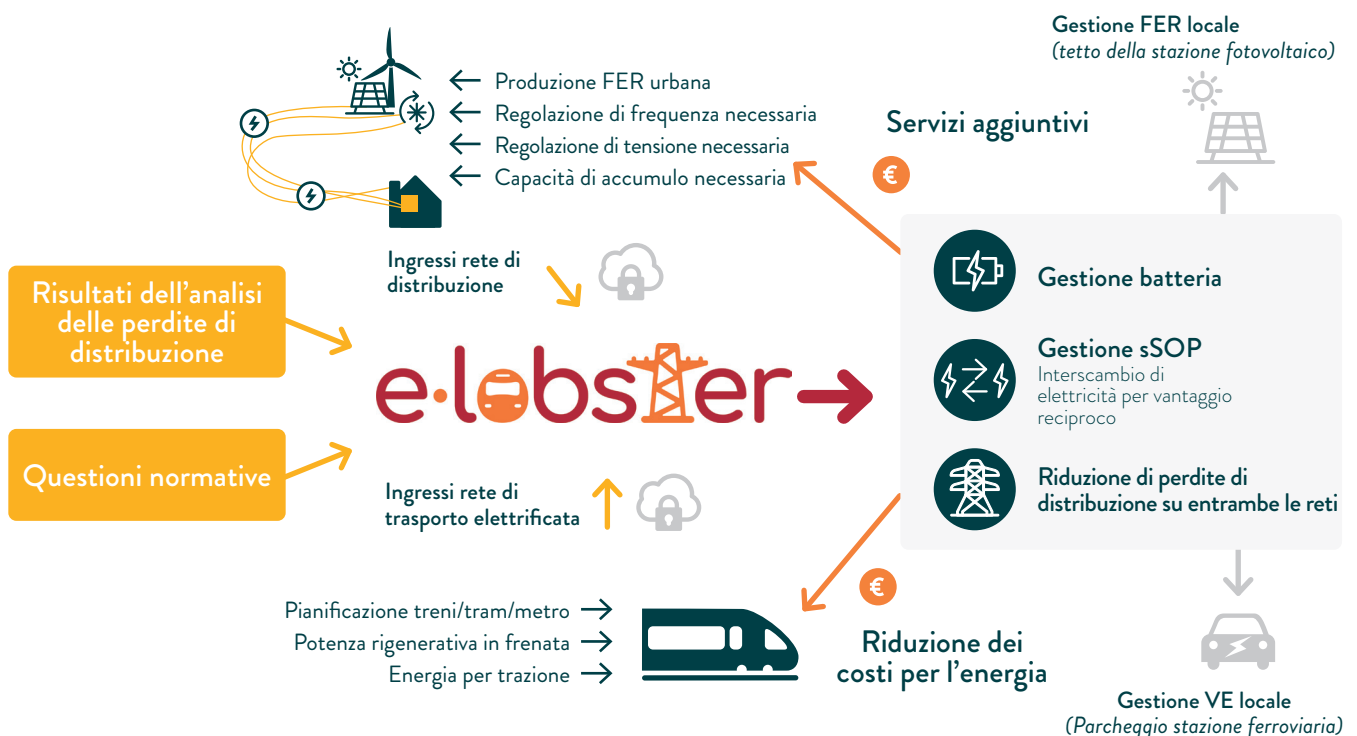
Sistema di gestione R+G di E-LOBSTER

E-LOBSTER ha sviluppato e validato un nuovo e innovativo sistema di gestione R+G in tempo reale in grado di ottimizzare l'interazione tra le due reti. Il sistema di gestione di E-LOBSTER fornisce una piattaforma unica per la gestione in tempo reale del flusso di energia tra ferrovia, rete distribuzione e sistema di stoccaggio dell'energia.

Il sistema tiene conto anche dei veicoli elettrici stradali, con l'obiettivo di ottimizzare l'interazione tra le tre reti energetiche. Il sistema aumenta il sotto-consumo di energia rinnovabile localmente connesso alla rete di distribuzione e il sotto-consumo di energia dal sistema frenante dei veicoli. Così facendo, il sistema analizza e stabilisce la strategia di ricarica ottimale per i veicoli elettrici.

In definitiva, il sistema di gestione R+G ottimizza l'uso dell'energia disponibile di entrambe le reti. Questo strumento innovativo unico per la valutazione delle perdite e del consumo energetico delle reti di distribuzione di energia e delle reti di elettrificazione ferroviaria è stato convalidato mediante dati reali.

Figura 3: il concept di E-LOBSTER



Oltre ai menzionati obiettivi tecnici, il progetto E-LOBSTER ha incluso le seguenti fasi:

- Studio dello sviluppo su scala industriale del sistema sviluppato da E-LOBSTER (studi di fattibilità) e definizione di una tabella di marcia per la commercializzazione e lo sfruttamento dei risultati di E-LOBSTER attraverso modelli di business adeguati.
- Analisi dell'attuale quadro normativo e politico per identificare le misure da attuare per la replicazione del sistema.
- Predisposizione di un manuale di "migliori prassi" per garantire l'adeguata sicurezza informatica necessaria alla protezione dei dati.
- Creazione di una rete unica di stakeholder e sostenitori del progetto per contribuire a promuovere la commerciabilità delle soluzioni di E-LOBSTER.

PRINCIPALI RISULTATI

Il progetto ha sviluppato e convalidato - a livello TRL7 - uno **smart Soft Open Point (sSOP)**. Il sistema è composto principalmente dai seguenti componenti:

- Convertitore DC-DC su rotaia 200kW nominali
- Convertitore DC-DC Energy Storage System (ESS), 200kW nominali
- Rete a bassa tensione (LV), convertitore DC-AC, 80kVA nominali
- Trasformatore isolante a bassa tensione (LV) AC-AC, 80kVA nominali.

Il secondo elemento hardware sviluppato è il **sistema di accumulo dell'energia della batteria (BESS)**, con una potenza massima totale di 200 kW. Il sistema ha le seguenti specifiche:

- Tecnologia: NMC agli ioni di litio
- Numero di rack: tre
- Potenza massima totale: 200 kW
- Energia massima teorica: 237 kWh.

XOLTA (il reparto di sistemi di batterie di Lithium Balance) ha sviluppato un sistema di accumulo a batteria unico, efficiente in termini di costi ed energia e in grado di funzionare all'aperto senza la necessità di installare involucri ingombranti, climatizzati e costosi.

Il sistema è stato sviluppato per condizioni ambientali difficili (alte o basse temperature). Il sistema di batterie è stato integrato con sSOP ed è governato dal sistema di gestione R+G.

Inoltre, XOLTA ha sviluppato un metodo intelligente di gestione dell'energia della batteria, che non solo soddisfa le esigenze del progetto E-LOBSTER, ma estende anche la durata del sistema di batterie.

Il **sistema di gestione R+G** può essere suddiviso in un componente hardware basato su un PC industriale e un componente software che consente il controllo di E-LOBSTER e il monitoraggio dei parametri attraverso un'interfaccia utente grafica dedicata.

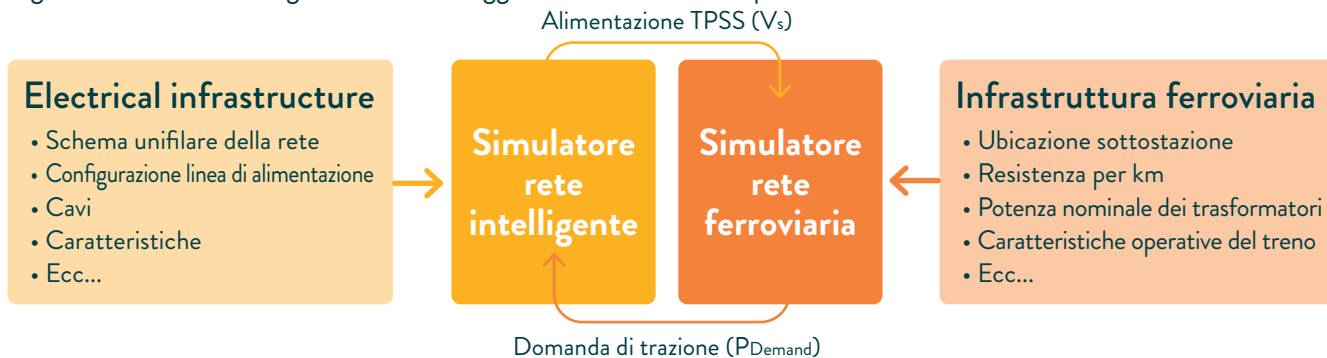
Infine, è stato sviluppato **uno strumento innovativo** per la valutazione delle perdite e dei consumi energetici nella rete di distribuzione dell'energia e nella rete di elettrificazione ferroviaria. Lo strumento è stato convalidato attraverso dati reali forniti dalla dimostrazione eseguita nella metropolitana di Madrid.

Lo **strumento sviluppato** è in grado di identificare la principale fonte di perdite nella rete attraverso i dati forniti dagli utenti, le apparecchiature o l'elettronica installata nella linea e altre caratteristiche. L'idea è quella di estrarre dalla ferrovia l'eventuale eccesso di energia generativa che altrimenti andrebbe sprecata.

Figura 4: sistema di batterie modulari Lithium Balance (XOLTA)



Figura 5: strumento integrato di monitoraggio e simulazione delle perdite di distribuzione



Il sistema E-LOBSTER supporta le seguenti funzionalità:

- Aumento dell'efficienza dell'energia dal sistema frenante. È possibile migliorare del 10% il recupero dell'energia dal sistema frenante.
- A seconda della frequenza dei servizi, l'energia immagazzinata nella batteria può arrivare fino a 4-5 MWh/giorno.
- Questa energia può caricare 40-50 grandi veicoli elettrici scarichi (supponendo una batteria di 100 kWh) o 100-125 veicoli elettrici più piccoli (hatchback) (supponendo una batteria di 40 kWh).

CONVALIDA DEL SISTEMA NEL LABORATORIO DELL'UNIVERSITÀ DI NEWCASTLE E DIMOSTRAZIONE NELLA METROPOLITANA DI MADRID

Lo Smart Energy Lab situato nell'edificio Urban Science a Newcastle Helix è stato utilizzato per convalidare e dimostrare le tecnologie innovative nel progetto E-LOBSTER. Lo Smart Energy Laboratory dell'Università di Newcastle fornisce una connessione alla rete fisica di distribuzione elettrica a bassa tensione (LV). La rete fisica, il sistema di accumulo di energia a batteria e i componenti sSOP sono stati combinati con comportamenti di emulazione per la rete ferroviaria utilizzando dati in tempo reale misurati nella stazione Sacedal della metropolitana di Madrid per dimostrare l'applicabilità della soluzione in diversi casi.

L'obiettivo principale del sistema di gestione integrato R+G è quello di aumentare l'efficienza di rigenerazione in frenata nella rete ferroviaria e di consentire alla rete a bassa tensione di raccogliere l'eccesso di energia prodotto, ad esempio da risorse rinnovabili o dai punti di ricarica per VE. In questo caso, la strategia di gestione dell'energia nel progetto E-LOBSTER mira a distribuire l'energia tra tre sistemi: rete, ferrovia e stoccaggio delle batterie.

Il sistema di gestione R+G determina se è disponibile potenza frenante sulla rete ferroviaria nonché se è richiesto un consumo in eccesso, ad esempio da veicoli elettrici o dalla rete a bassa tensione, e se le risorse rinnovabili generano un surplus di energia. Ciò significa che il sistema di gestione R+G è stato sviluppato per consentire un passaggio intelligente tra le seguenti due modalità, in base alla disponibilità di energia dal sistema frenante:

- ➊ **Modalità Rail + Grid:** la rete ferroviaria fornisce energia dal sistema frenante al BESS e alla rete a bassa tensione (se questa richiede energia).
- ➋ **Modalità di rete:** l'energia viene scambiata tra il BESS e la rete a bassa tensione, in base ai livelli di consumo e di generazione di potenza lato rete. In questa condizione, non è disponibile energia dal sistema frenante.

L'efficacia della soluzione E-LOBSTER per soddisfare la domanda in eccesso, derivante ad esempio dalle stazioni di ricarica per veicoli elettrici, e in termini di supporto della rete con energia in eccesso derivante da fonti rinnovabili, è stata dimostrata nei test condotti presso il Newcastle Lab. I test hanno convalidato con successo il sistema e fornito buone informazioni sulla soluzione E-LOBSTER per la fase successiva del progetto.

DIMOSTRAZIONE NELLA METROPOLITANA DI MADRID

La dimostrazione della tecnologia innovativa E-LOBSTER si è svolta presso le strutture della Metropolitana di Madrid, dove l'ottimizzazione della rete di distribuzione dell'energia è vitale. Nello specifico, il sistema E-LOBSTER è stato installato nella stazione della metropolitana di Sacedal, dove la potenza di trazione serve due sezioni della Linea 9 e anche il deposito di Sacedal.

Ai fini del test, l'uscita del sistema E-LOBSTER è stata collegata al sistema di rete locale a bassa tensione (LV) della stazione. L'obiettivo principale era quello di utilizzare l'eccesso di energia generato dal treno in fase di frenata per alimentare la rete interna a bassa tensione della metropolitana di Madrid. In pratica, i sistemi E-LOBSTER trasformano una stazione convenzionale in una stazione reversibile.

2 Dati sulla metropolitana di Madrid: più di 300 stazioni, quasi 300 km di rete ferroviaria con una media di 14 milioni di passeggeri all'anno

La dimostrazione consisteva in un Smart Soft Open Point (sSOP) con il convertitore ferroviario collegato alla rete ferroviaria, il convertitore di rete collegato a una rete locale a bassa tensione e il convertitore della batteria ESS collegato al sistema di accumulo della batteria. Durante la dimostrazione, il team del progetto ha effettuato misurazioni per valutare il funzionamento del sistema. Il team ha rilevato la tensione di ingresso al convertitore della rotaia, la corrente DC di ingresso al convertitore di rete (I_g DC) e la corrente di ingresso al convertitore di batteria (I_b DC). Le condizioni per il test sono state impostate con alimentazione di riferimento su rotaia fino a 50 kW, potenza di riferimento della rete fino a 10 kW e con un valore di riferimento della tensione su rotaia di 652 V.

La dimostrazione è poi stata condotta con alimentazione di riferimento su rotaia fino a 100 kW, potenza di riferimento della rete fino a 10 kW e con un valore di riferimento della tensione su rotaia a 655 V.

REPLICA DEL SISTEMA

Durante il progetto, è stato realizzato un design preliminare relativo a un'applicazione su vasta scala di E-LOBSTER. E-LOBSTER può essere adattato a stazioni e linee con caratteristiche diverse, non solo nei casi dimostrati ma anche in molte altre situazioni diverse. Oltre ad essere impiegato nelle linee metropolitane in Europa e non solo, l'intero sistema può essere replicato se vengono applicate le modifiche necessarie ad adattare il sistema alle specificità locali.

I progetti preliminari di implementazione di E-LOBSTER su vasta scala sono stati condotti considerando i seguenti casi:

- altre stazioni della metropolitana
- linee di tram
- treni regionali
- ferrovie ad alta velocità

REPLICA IN ALTRE LINEE METROPOLITANE

Il sistema E-LOBSTER può essere replicato su altre linee della metropolitana di Madrid che operano a 600 V senza alcuna modifica importante. Per replicare il sistema E-LOBSTER in altre linee della metropolitana a 600 - 750 V nominali non è necessario apportare alcuna modifica importante. L'operazione può essere eseguita perfezionando il sistema installato sulla linea 9 della metropolitana di Madrid.

Le situazioni in cui potrebbe essere necessario apportare modifiche sono le seguenti:

- quando si modifica il numero di carrozze per treno
- quando varia il flusso di energia verso la rete esterna.

Se il sistema E-LOBSTER deve essere replicato su altre linee della metropolitana di Madrid che operano a 1500 V, saranno necessarie modifiche al sistema originale. La tensione del DC-link nel sSOP può essere mantenuta a 750 V ma è necessario modificare i seguenti aspetti:

- Convertitore ferroviario
- Valori nominali del BESS: la potenza e la capacità del BESS dovrebbero essere modificate in base a due fattori:
 - a. La potenza/energia rigenerativa attesa dal treno
 - b. I requisiti per il flusso di energia tra sSOP e rete locale
- Convertitore di rete: valutato in linea con i delta relativi alle rotaie e al BESS.

TRENI REGIONALI

I treni regionali nella maggior parte dei paesi europei operano a 1,5 kV o 3 kV DC. Pertanto, se il sistema E-LOBSTER deve essere replicato sulle linee ferroviarie regionali, sono necessarie alcune modifiche:

- Convertitore ferroviario
- Valori nominali BESS
- Convertitore di rete (se i delta della rotaia/BESS differiscono)

Da tenere in considerazione anche:

- Numero di carrozze per treno
- Flusso di energia alla rete esterna.

TRAM

I tram di tutto il mondo funzionano a 600 V DC o 750 V DC, con una maggiore diffusione di tram a 750 V nei sistemi moderni. Se il sistema E-LOBSTER deve essere replicato su un tram che opera a 750 V, non saranno necessarie modifiche specifiche.

Figura 6: caso reale di funzionamento del sistema E-LOBSTER



SPECIFICHE E VANTAGGI DIMOSTRABILI DEL SISTEMA:

La linea 9 della metropolitana di Madrid è lunga 39,4 km e ha 29 stazioni da Paco de Lucía a Arganda del Rey. La tensione operativa della linea è 600V DC.

I vantaggi dimostrati dell'uso del sistema E-LOBSTER a Madrid sono stati:

- L'energia elettrica prodotta durante la frenata, che non viene utilizzata da un altro treno, può essere impiegata per alimentare altre apparecchiature.
- Il consumo energetico complessivo è ridotto.
- Le emissioni di gas serra e l'impronta di carbonio sono ridotte.
- L'uso delle resistenze di frenatura è ridotto poiché la temperatura del tunnel e la ventilazione richiesta sono ridotte.
- L'infrastruttura della stazione non deve essere modificata, il normale funzionamento non viene compromesso e il sistema può essere collegato e scollegato come e quando richiesto.
- Il funzionamento del sistema non interferisce con l'impianto né con la capacità di scollegarsi automaticamente se necessario, garantendo l'attuale livello di affidabilità e disponibilità della stazione.

Si noti che E-LOBSTER può essere utilizzato anche per le stazioni di ricarica di VE, poiché la batteria, alimentata dall'energia derivante dal sistema frenante dei treni, supporta la ricarica dei veicoli elettrici.



CONCLUSIONI

Il sistema E-LOBSTER è stato convalidato con successo in condizioni reali a livello TRL6 dimostrando le sue potenzialità complessive. Grazie ad alcune risorse condivise (sSOP e BESS) tra la rete di distribuzione elettrica e la rete di trasporto, il sistema è in grado di ridurre le perdite energetiche sia a livello di rete di distribuzione (attualmente intorno al 5%) che a livello di rete di elettrificazione ferroviaria (attualmente intorno all'8%). Ciò avviene grazie ad un adeguato sistema di gestione R+G in grado di scambiare energia elettrica tra le due reti. Questo comporta vantaggi reciproci in termini di riduzione delle perdite e maggiore stabilità della rete.

Alcuni risultati tecnici e non tecnici dovrebbero essere evidenziati alla conclusione del progetto:

- *Gestione ottimale dell'energia, in grado di generare sinergie tra le reti di distribuzione dell'energia e le reti di trasporto.*
- *Dimostrazione del funzionamento stabile e sicuro delle reti intelligenti che integrano fonti energetiche variabili, con un elevato potenziale di aumento dell'integrazione di energie rinnovabili nel futuro mercato dell'UE.*
- *Riduzione delle perdite dell'energia.*
- *Elevato potenziale di replica in diversi contesti (come metropolitane, tram, ferrovie regionali, ferrovie ad alta velocità).*
- *Sostegno allo sviluppo di normative per lo sviluppo di un mercato interno dell'energia elettrica. Sostegno alle politiche per l'efficienza energetica nei trasporti elettrificati e nuovi schemi che contribuiscono a livello locale e in modo intelligente alla gestione della rete di distribuzione dell'energia.*

Tra i principali risultati del progetto, vale la pena menzionare l'importanza del quadro normativo e la necessità di prestare particolare attenzione al processo di autorizzazione dell'installazione del sistema, in base alle specificità dei contesti locali.

PROPOSTA DI VALORE DEL SISTEMA:

- Migliora la resilienza della rete, la capacità e la qualità dell'alimentazione
- Consente di connettere le infrastrutture di ricarica dei veicoli elettrici
- Consente l'integrazione di fonti di generazione di energia rinnovabile
- Riduce il costo dell'energia consumata per la ricarica dei veicoli elettrici
- Garantisce una gestione ottimale in tempo reale dei flussi energetici attraverso la piattaforma di controllo
- Riduce le perdite di potenza e, quindi, i costi complessivi
- Offre opportunità per la decarbonizzazione della mobilità urbana ed extraurbana.

GRAZIE AI PARTNER DEL PROGETTO

- RINA
- Turbo Power Systems (TPS)
- Rail Safety and Standards Board (RSSB)
- University of Birmingham
- LiTHIUM BALANCE
- Metro de Madrid
- Newcastle University
- Fundación de los Ferrocarriles Españoles (FFE)

GRAZIE AI NOSTRI REDATTORI E AUTORI

- Flavio Grazian, UITP
- Giannicola Loriga, RINA Consulting
- Mansoureh Zangiabadi, Università di Newcastle
- Maciej Swierczynski, Sensata

Il brief è stato esaminato dall'Unità Bus e dall'Unità Rail del Dipartimento K&I.



This is an official Project Brief of UITP, the International Association of Public Transport. UITP has more than 1,900 member companies in 100 countries throughout the world and represents the interests of key players in this sector. Its membership includes transport authorities, operators, both private and public, in all modes of collective passenger transport, and the industry. UITP addresses the economic, technical, organisation and management aspects of passenger transport, as well as the development of policy for mobility and public transport worldwide.

This Project Brief is part of the research project E-LOBSTER which has received funding by the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme, under grant agreement No 774392.

Find out more at <https://www.e-lobster.eu/>



DIGITAL VERSION AVAILABLE ON
MYLIBRARY



DECEMBER | 2022

Rue Sainte-Marie 6, B-1080 Brussels, Belgium | Tel +32 (0)2 673 61 00 | info@uitp.org | www.uitp.org