

# AUTOBUS ELETTRICI NEL TRASPORTO PUBBLICO. UN VADEMECUM



**MOTUS** 

Realizzato e promosso con:



Università  
Bocconi

GREEN  
Centro di ricerca sulla geografia,  
le risorse naturali, l'energia,  
l'ambiente e le reti



UNIVERSITÀ DELLA CALABRIA

# Sommario

---

<b>Perché un vademecum sugli autobus elettrici</b>	<b>5</b>
Cos'è MOTUS-E	5
Introduzione e obiettivi del vademecum	5
Overview del settore	7
Overview sul settore degli autobus 100% elettrici	8
<b>La tecnologia</b>	<b>10</b>
I mezzi	10
L'infrastruttura di ricarica degli autobus elettrici a batteria	15
Smart charging	15
Strategie di ricarica delle batterie	16
La ricarica flash (box)	17
Batterie	18
Bus elettrici, servizi di flessibilità alla rete elettrica	20
Mercato per il Servizio di Dispacciamento (MSD) e Bus-to-Grid (box)	
<b>Vantaggi e svantaggi rispetto ad altre alimentazioni per il TPL</b>	<b>25</b>
L'impatto ambientale di diverse alimentazioni di bus a confronto	25
Il calcolo del Total Cost and Revenues of Ownership (TCRO) degli autobus in Italia	28
<b>Opzioni di acquisto o noleggio e strategie di finanziamento</b>	<b>33</b>
Leasing delle batterie	33
Gruppo di acquisto fra amministrazioni locali (Joint Purchasing Agreement)	33
Leasing finanziario	33
Leasing operativo	33
Partenariato Pubblico Privato (PPP)	35
Come preparare un capitolato di gara	37
<b>La manutenzione dell'autobus elettrico</b>	<b>39</b>
Il sistema di propulsione	39
E-bus e nuove competenze	40
<b>Come sviluppare una rete TPL elettrica, nella pratica</b>	<b>42</b>
<b>Modelli di analisi per pianificare l'elettrificazione della flotta</b>	<b>43</b>
<b>Due key study tra Italia ed Europa</b>	<b>46</b>
<b>Appendice: il quadro normativo</b>	<b>47</b>
PNIEC	47
PNRR	47
Piano nazionale per gli investimenti complementari	48
PSNMS	51



## Perché un vademecum sugli autobus elettrici

---

### **Cos'è MOTUS-E**

MOTUS-E è la prima piattaforma di aggregazione di stakeholder attivi nell'intera catena del valore della mobilità elettrica. Mission di MOTUS-E è accelerare la transizione verso una mobilità sostenibile, con particolare focus sulla mobilità elettrica, che presenta ormai indubbi vantaggi in termini di clima, efficienza energetica e tutela ambientale.

Nata a maggio del 2018, MOTUS-E rappresenta oggi il principale interlocutore e punto di riferimento per tutte le tematiche connesse alla mobilità elettrica in Italia.

Questo vademecum è rivolto principalmente ad Enti territoriali (i.e. Regioni e Comuni) oltre ad operatori del trasporto pubblico locale (TPL), ma, d'altra parte, dato l'interesse sempre maggiore dei cittadini verso le tematiche connesse all'ambiente e alla transizione energetica, il documento è rivolto anche a loro.

Con questo vademecum si vuole trattare "l'ecosistema" connesso all'elettrificazione del TPL, in modo che Enti territoriali e operatori ne abbiano una visione completa. Così facendo forniremo loro preziose informazioni tecniche, economiche e di "contorno", difficilmente reperibili in letteratura in maniera sintetica ma allo stesso tempo completa e unificata.

In questo modo auspichiamo di riuscire a infondere

nel lettore il grado di "awareness" necessario a intraprendere il percorso virtuoso di elettrificazione del TPL.

### **Introduzione e obiettivi del Vademecum**

L'assunzione di politiche più ambiziose ed incisive volte ad una transizione verso un sistema di trasporti e di mobilità sostenibile, promuovendo in particolare l'elettrificazione dei consumi, è riconosciuta non solo a livello italiano (PNIEC) ma anche a livello europeo come leva fondamentale del processo di decarbonizzazione e di lotta ai cambiamenti climatici. La necessità di accelerare l'implementazione di politiche efficaci all'interno degli Stati Membri è infatti emersa in numerosi provvedimenti di natura comunitaria, tra cui la Direttiva UE 2019/1161 (conosciuta come Clean Vehicle Directive), al cui interno sono definiti degli obiettivi minimi per gli appalti pubblici di veicoli green da conseguire in due diversi periodi di riferimento (2025 e 2030). L'adozione di tali obiettivi dovrebbe contribuire a garantire lo sviluppo di politiche certe e stabili in tema di mobilità sostenibile, quali migliori driver di investimento. Sul fronte elettrico, peraltro, si dispone che circa metà dell'obiettivo minimo fissato per gli autobus sia conseguito attraverso

---

**L'assunzione di politiche più ambiziose ed incisive volte ad una transizione verso un sistema di trasporti sostenibile è riconosciuta non solo a livello italiano ma anche a livello europeo come leva fondamentale del processo di decarbonizzazione**

l'acquisizione di autobus a zero emissioni, ovvero elettrici. La Direttiva, tramite una tabella al suo interno (tabella 4), indica infatti come gli obiettivi minimi degli appalti pubblici per la quota di autobus a zero emissioni siano, per l'Italia, del 22,5% al 2025 e del 32,5% al 2030.

La Clean Vehicle Directive, attualmente in vigore, è stata recepita in Italia tramite il Decreto Legislativo 8 novembre 2021, n 187.

Sviluppare una rete di trasporto pubblico locale 100% elettrica vuol dire:

- ridurre le emissioni di CO2 e altri inquinanti locali poiché i mezzi sono a zero emissioni e generano meno polveri sottili grazie alla frenata rigenerativa;
- aumento della domanda di energia elettrica da fonti rinnovabili e attuazione delle strategie ambientali europee, nazionali, regionali e comunali (PUMS, smart city, smart grid);
- riduzione del rumore e delle vibrazioni, rendendo il viaggio più confortevole per l'utenza e per le zone che il bus attraversa;
- mettere a disposizione dell'utenza veicoli più moderni, sicuri, affidabili, efficienti e decorosi rispetto ai vecchi mezzi. Tali veicoli, grazie al modello di gestione in partnership pubblico privato, vengono mantenuti continuamente in condizioni ottimali;
- riduzione dei costi operativi rispetto ai diesel (vantaggio economico rispetto all'utilizzo di combustibili importati e minori costi di manutenzione);
- attivazione di filiere locali di manutenzione dei veicoli elettrici e delle batterie, con ricadute occupazionali positive;
- possibilità di creare punti di ricarica per veicoli elettrici, utilizzati prioritariamente dal TPL ma all'occorrenza disponibili anche per il pubblico;
- far sì che la Pubblica Amministrazione dimostri la fattibilità e la convenienza dell'utilizzo dei veicoli elettrici, dando un esempio positivo e concreto ai cittadini e alle imprese;
- alimentare uno shift modale che scoraggi l'uso del mezzo privato, con conseguente decongestione del traffico, abbattimento dell'impatto inquinante e miglioramento della vivibilità delle nostre città;
- creare un sistema urbano di mobilità sostenibile più capillare e integrato con servizi di sharing e di micromobilità;
- che il TPL elettrico gioca un ruolo di pivot anche per la logistica dell'ultimo miglio;
- creare un'integrazione tra il sistema del trasporto e le reti elettriche, creando sinergie ed economie di scala con il già avviato processo di elettrificazione del trasporto privato.

---

**Sviluppare una rete di trasporto pubblico locale 100% elettrica vuol dire ridurre le emissioni di CO2 e altri inquinanti locali poiché i mezzi sono a zero emissioni e mettere a disposizione dell'utenza veicoli più moderni, sicuri e affidabili**

Al fine di raggiungere gli impegni intrapresi dal nostro paese, attraverso piani e leggi per accelerare lo svecchiamento e la decarbonizzazione del trasporto pubblico, come da Piano Strategico Nazionale della Mobilità Sostenibile e da PNIEC , MOTUS-E ha deciso di scrivere questo vademecum partendo dalle lezioni apprese da esperienze di implementazioni analoghe e dalle risorse provenienti dall'industria di settore e dal contesto.

Il Vademecum, come già menzionato in apertura, mira a essere uno strumento per guidare le Regioni, gli Enti locali e le aziende di trasporto pubblico e altri operatori alle opportunità di implementazione di una rete di trasporto pubblico locale di bus 100% elettrici (Bus Elettrici a Batteria - BEB), in modo da supportare il processo decisionale, aiutare a ottenere il massimo beneficio e mitigare i potenziali rischi. Scorrendo, si vedrà pure che non solo investire in una rete TPL 100% elettrica è desiderabile dal punto di vista ambientale e di confort ma è anche conveniente.

### Overview del settore

In Italia, nello scenario pre-COVID del 2019, il sistema delle aziende di trasporto pubblico locale e regionale impiegava oltre 124.000 addetti. Con oltre 49.000 mezzi, venivano percorsi oltre 1,8 miliardi di vettura-km annui e 228,6 milioni di treni-km, trasportando più di 5,5 miliardi di passeggeri. Il settore, nel suo complesso, produceva un fatturato di circa 12 miliardi di Euro. La Tabella seguente restituisce i principali numeri del settore del trasporto pubblico locale e regionale comprensivi di tutte le modalità di trasporto: autobus, tram, metropolitane, impianti a fune, tutte le ferrovie locali anche quelle appartenenti a Trenitalia S.p.A. nonché le imprese di navigazione lagunare e lacuale.

### Intero settore

Numero aziende	931
Numero addetti	124.000
Passeggeri trasportati	circa 5,5 miliardi
Numero mezzi	oltre 49.000
Chilometri percorsi:	oltre 1,8 miliardi di vetture-km oltre 228,6 milioni di treni-km
Valore della produzione (Fatturato) di €	circa 12 miliardi

**Fonte: Elaborazioni dell'Ufficio Studi ASSTRA su dati Conto Nazionale delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili – anni 2019-2020 e Relazione annuale al Parlamento relativa al settore del trasporto pubblico locale nelle annualità 2019 e 2020.**

## Overview sul settore dei bus 100% elettrici

Il mercato degli autobus elettrici a batteria ha registrato una crescita significativa negli ultimi anni facendone ormai un'alternativa interessante agli autobus diesel. I potenziali vantaggi della tecnologia BEB hanno contribuito ad aumentare l'interesse del mercato, promuovendo l'ingresso di nuovi produttori di BEB e incoraggiando gli OEM tradizionali ad aggiungere i BEB al loro portafoglio di prodotti.

L'aumento dell'interesse del mercato ha anche contribuito a ridurre i prezzi dei mezzi. La batteria, che rappresenta in alcuni casi il 50% del valore dell'intero veicolo, ha progressivamente

ridotto il suo prezzo per kWh di capacità, permettendo agli OEM di ridurre il prezzo dei mezzi oppure di fornire capacità accumulative più elevate (e quindi maggiori autonomie del mezzo) a parità di prezzo.

Il Total Cost of Ownership (TCO) dei bus elettrici, per via della ridotta manutenzione necessaria e del più basso costo dell'elettricità rispetto al gasolio, è inferiore al TCO dei bus diesel (come vedremo più avanti). Tuttavia, i BEB richiedono una nuova infrastruttura di ricarica, e ciò contribuisce a tenere alti i costi di capitale iniziali da affrontare, la più grande barriera alla loro diffusione.

---

**Il Total Cost of Ownership dei bus elettrici, per via della ridotta manutenzione necessaria e del più basso costo dell'elettricità rispetto al gasolio, è inferiore a quello dei bus diesel. Tuttavia, i BEB richiedono una nuova infrastruttura di ricarica**

---





# La tecnologia

## I mezzi

Esistono vari modelli di bus elettrici che vanno dai 5 ai 18 m (fino anche a 24 m), con grande variabilità di prezzo a seconda della soluzione ma anche del costruttore e dei volumi. Le taglie più diffuse per il TPL sono quelle relative ai 12 e 18 m. Per un 12 m solitamente si ritengono sufficienti i circa 190-230 km di autonomia con una sola ricarica e con l'aria condizionata o riscaldamento in funzione. Per quanto riguarda la potenza di ricarica si può scegliere in base a diversi fattori come ad es. il numero di ricariche da effettuare durante l'operatività giornaliera.

I BEB utilizzano i pacchi batteria per alimentare tutti i sistemi interni al bus. Non essendoci alcuna

combustione i bus elettrici non hanno emissioni allo scarico. Questo significa che essi non emettono né anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) né alcun tipo di inquinante locale (NOX, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub> ecc.). Le batterie dei bus elettrici hanno una capacità generalmente compresa nell'intervallo 240-320 kWh, anche se, in futuro, si arriverà a valori ancora più elevati. Solitamente sono costituite da una chimica appartenente alla categoria Nickel-Manganese-Cobalto (in breve NMC), più utilizzata dai costruttori europei, o Litio-Ferro-Fosfato (in breve LFP). Quest'ultima, particolarmente utilizzata dai costruttori cinesi, è quella su cui, ultimamente, si stanno orientando anche molti costruttori europei.

### DIFFERENZA TRA BUS ELETTRICO A BATTERIA (BEB) E FUEL CELL BUS (FCB)

È importante non confondere gli autobus elettrici a celle a combustibile a idrogeno (Fuel Cell Bus - FCB) con quelli elettrici a batteria (BEB). Mentre i secondi si ricaricano con l'elettricità, quelli fuel cell contengono una "pila" a combustibile che combina l'idrogeno e l'ossigeno preso dall'aria per produrre energia elettrica a bordo del bus. Gli unici sottoprodotti che si ottengono dai FCB sono vapore acqueo e calore. Entrambi i sistemi, ovviamente, presentano un motore elettrico.

I sistemi di propulsione a idrogeno, che danno origine a veicoli puramente elettrici e con autonomia paragonabile a quella di un tradizionale veicolo diesel, rappresentano sicuramente una delle tecnologie più interessanti. Attualmente essi sono penalizzati dal costo ancora elevato della produzione dell'idrogeno stesso e delle infrastrutture ad esso collegate. Inoltre, al fine di preservare il sistema chimico di trasformazione (la fuel cell), l'idrogeno deve trovarsi in uno stato di estrema purezza. La produzione di idrogeno richiede nella stragrande maggioranza dei casi l'utilizzo di fonti fossili. La modalità più sostenibile, invece, è tramite elettrolisi dell'acqua, da cui deriva il cosiddetto "green hydrogen".

L'idrogeno, al pari del metano, è poi generalmente immagazzinato come gas compresso e conservato sui mezzi attraverso bombole di notevoli dimensioni a causa della bassa densità dell'elemento. Ciò rende entrambe le opzioni molto meno competitive in termini di manutenzione rispetto ai BEB. Gli autobus a fuel cell attualmente sul mercato adottano da 5 a 8 bombole contenenti complessivamente fino a 1.600 litri di idrogeno per un'autonomia di circa 350 – 400 km, di poco superiore a quella dei BEB comuni.

I tempi di rifornimento dei FCB risultano maggiori rispetto ai bus diesel, data la necessità di controllare in modo continuativo questa delicata fase (temperatura, pressione e stato di carica delle bombole). Il costo per kg dell'idrogeno è oggi molto elevato e varia a seconda di come è stato prodotto questo vettore (idrogeno blu, verde, grigio).

La soluzione elettrica a batteria rimane dunque la soluzione più competitiva in termini di spesa per l'alimentazione del mezzo.



In generale, si distinguono due macro tipi di BEB: quelli a lungo o esteso raggio e quelli a ricarica fast.

I BEB a lungo o esteso raggio hanno pacchi batteria più grandi per massimizzare l'autonomia tra le ricariche e possono utilizzare batterie che favoriscono ricariche a bassa potenza. Questi autobus vengono generalmente ricaricati una o due volte al giorno. La ricarica completa di una batteria può richiedere fino a 8 ore o più, a seconda delle dimensioni della batteria del bus e della potenza erogata dal caricabatterie.

Esempio di caratteristiche di un BEB a lungo raggio:

- Capacità della batteria: 250-660 kWh
- Autonomia in servizio: >150 km con una singola carica
- IdR richiesta: 50-150 kW (generalmente caricati durante la notte o a metà giornata).

I BEB a ricarica rapida hanno pacchi batteria più piccoli in grado di ricaricare frequentemente e ad alta potenza. In genere si ricaricano

durante il percorso più volte al giorno, e, se l'infrastruttura di ricarica è capillare ed efficace, potrebbero anche funzionare a tempo indeterminato, senza doversi fermare per una ricarica completa.

Esempio di caratteristiche BEB a ricarica rapida:

- Capacità della batteria: 50-250 kWh
- Autonomia in servizio: autonomia indefinita se l'IdR è ben progettata
- IdR richiesta: 150-600 KW (pantografo o caricabatterie wireless durante il percorso).

Il maggior costo di acquisto di un BEB, che si aggira oggi intorno ai 500 k€, rispetto ad un bus diesel (210 k€) o a metano (250 k€), non deve scoraggiare l'intento ad elettrificare una linea. Va infatti considerato che i costi operativi, di manutenzione, uniti alle esternalità ambientali positive, ripagano, in tempi non prolungati, l'investimento effettuato. Come sottolineato nel seguito, il ragionamento ed il confronto va fatto in termini di TCO.

Tipologia di infrastruttura	Descrizione	Vantaggi	Svantaggi
<p><b>Ricarica in deposito (Depot charging)</b></p> 	<p>L'autobus viene ricaricato in deposito durante la notte.</p> <p>La ricarica del BEB può avvenire sia mediante cavo solidamente collegato all'infrastruttura di ricarica, dotato di connettore plug-in CCS 2, sia per mezzo di un pantografo solitamente montato sul bus.</p> <p>Potenza IdR tra i 25 kW e i 150 kW.</p> <p>Tempo medio di ricarica tra le 5 e le 8 ore.</p> <p>Il veicolo è equipaggiato con sistemi di accumulo dell'energia elettrica di grandi dimensioni, idonei ad effettuare l'intero servizio programmato.</p> <p>Da 1 a 3 autobus per ogni caricatore, con possibilità di ricarica sequenziale e modulabile.</p> <p>Può essere associato a ricariche occasionali lungo le fermate o presso i capolinea per aumentare la disponibilità del BEB.</p>	<p>Minori costi per unità poiché i caricatori sono tutti concentrati in un'unica location e manutenzione più semplice.</p> <p>Soluzione scalabile per ampi parchi di veicoli.</p> <p>Design flessibile.</p> <p>I bus non sono limitati a seguire un particolare tragitto.</p> <p>I bus possono essere ricaricati durante il tempo di non utilizzo.</p> <p>Usando tariffe di ricarica notturne, non nelle ore di punta, i risparmi sul costo dell'elettricità possono essere significativi.</p>	<p>Ricarica lenta.</p> <p>È richiesto molto spazio al crescere della numerosità della flotta.</p> <p>Richiedono staff per attaccare e staccare i cavi se plug-in.</p> <p>La ricarica di più mezzi in una singola location può creare picchi eccessivi della domanda, quindi sono richiesti sistemi di gestione e ottimizzazione delle ricariche per garantire che gli autobus siano pronti al servizio e per ridurre al minimo i costi dell'elettricità.</p>



Tipologia di infrastruttura	Descrizione	Vantaggi	Svantaggi
<p><b>Ricarica con pantografo ai capolinea e/o ad alcune fermate (Opportunity charging)</b></p> 	<p>L'autobus è ricaricato ai capolinea e/o ad alcune fermate lungo il percorso.</p> <p>Ricarica ad alta potenza con connessione automatica al tetto del veicolo, tramite pantografo.</p> <p>Un caricatore può servire più bus alternativamente.</p> <p>Tempo di ricarica tipico tra i 5 e i 6 minuti, compatibile con i tempi di fermo dei bus al capolinea.</p> <p>Potenza di ricarica tra i 150 e i 600 kW.</p> <p>Solitamente il pacco batterie del bus è contenuto e viene generalmente utilizzata la formula indicata in breve con LTO (Lithium-Titanate-Oxide), in grado di assorbire potenze elevate, al posto di quella NMC, più idonea, quest'ultima, per sistemi di ricarica overnight;</p> <p>Non è necessario dover ricaricare al 100% ma ad ogni passaggio ("ricarica opportunità").</p>	<p>I costi totali dell'infrastruttura possono incidere meno se pochi caricatori sono utilizzati da molti mezzi.</p> <p>Integrabili a linee bus esistenti senza particolari problematiche e con eventuali modifiche sui percorsi dei bus che si rendono necessarie per questioni di disponibilità di potenza;</p> <p>Nessuna connessione manuale richiesta: il procedimento è automatico.</p> <p>Permette una durata del servizio illimitato.</p> <p>Il bus non deve restare spento per essere ricaricato.</p> <p>Gli standard UE e USA stanno puntando su questa modalità.</p> <p>Questa modalità riduce i costi dei sistemi di accumulo all'interno del veicolo, il peso, la grandezza e la complessità tecnologica del bus.</p> <p>Maggior portata di passeggeri dovuta ad un peso delle batterie più contenuto.</p>	<p>Le ricariche ad altissima potenza possono creare picchi della domanda di energia elettrica.</p> <p>Il pantografo deve essere allineato durante la ricarica.</p> <p>Il pantografo e i caricatori distribuiti nel territorio possono incrementare difficoltà di manutenzione.</p>



Tipologia di infrastruttura	Descrizione	Vantaggi	Svantaggi
<b>Ricarica con pantografo ai capolinea e lungo il percorso (Flash charging)</b> 	<p>L'autobus è ricaricato ad alcune fermate e ai capolinea.</p> <p>Ricarica ad alta potenza con connessione automatica al tetto del veicolo, tramite pantografo.</p> <p>Un charger può servire più bus che passano sulla linea.</p> <p>Tempo di ricarica tipico tra 5 e 6 minuti ai capolinea e tra 20 e 30 secondi alle fermate attrezzate.</p> <p>Potenza di ricarica tra i 150 e 300 kW ai capolinea e tra 500 e 600 kW alle fermate attrezzate.</p> <p>Solitamente il pacco batterie del bus (composto da batterie di tipo "tradizionale" e da supercapacitori) è molto più contenuto e non è necessario dover ricaricare al 100% ma ad ogni passaggio, specie alle fermate.</p>	<p>I costi totali dell'infrastruttura possono incidere meno se pochi caricatori sono utilizzati da molti mezzi.</p> <p>Facilmente integrabili a linee bus esistenti.</p> <p>Nessuna connessione manuale richiesta ma automatica.</p> <p>Permette una durata del servizio illimitato.</p> <p>Il bus non deve restare spento per essere ricaricato.</p> <p>Gli standard UE e USA stanno puntando su questa modalità.</p> <p>La maggior parte degli OEMs preferiscono questa modalità perché riducono i costi dei sistemi di accumulo all'interno del veicolo, il peso, la grandezza e la complessità tecnologica del bus.</p>	<p>Il pantografo e i caricatori distribuiti nel territorio possono incrementare difficoltà di manutenzione.</p> <p>Le ricariche ad altissima potenza possono creare picchi della domanda di energia elettrica.</p> <p>Il pantografo deve essere allineato durante la ricarica.</p>

Tipologia di infrastruttura	Descrizione	Vantaggi	Svantaggi
<b>Ricarica induttiva wireless</b> 	<p>Sistema ad alimentazione discontinua nel quale l'energia, fornita da opportune stazioni fisse (punti di ricarica posizionati lungo le fermate e al capolinea), è trasferita al veicolo mediante accoppiamento induttivo (tramite piastre).</p> <p>Un charger serve più bus alternativamente.</p> <p>Potenza di ricarica tra i 50 e i 250 kW.</p>	<p>I costi totali dell'infrastruttura possono incidere meno se pochi caricatori sono utilizzati da molti mezzi.</p> <p>Nessuna connessione manuale o parti mobili: il procedimento è automatico</p> <p>Miglior impatto visivo ed estetico.</p> <p>Permette una durata del servizio illimitato anche in condizioni metereologiche proibitive.</p> <p>Il bus non deve restare spento per essere ricaricato ma lo fa mentre è in servizio.</p>	<p>Costo del capitale e di costruzione più alto per ogni charger.</p> <p>L'efficienza di ricarica può essere differente a seconda di come il bus è allineato.</p> <p>azioni manutentive possono richiedere intervento sul manto stradale.</p> <p>- Soluzione ad oggi poco utilizzata con rarissime applicazioni in Italia.</p>

## **L'infrastruttura di ricarica degli autobus elettrici a batteria**

In primis si sottolinea un concetto fondamentale: un sistema di ricarica efficiente riduce i costi di esercizio di un bus elettrico. Inoltre, mentre gli autobus, qualunque sia la loro fonte di energia, sono più o meno costosi da mantenere; le infrastrutture, al contrario, una volta installate, hanno costi di manutenzione notevolmente inferiori e una vita operativa più lunga.

Si distinguono quattro macro tipologie per la ricarica dei bus elettrici:

- Depot Charging (ricarica veloce o lenta in deposito);
- Opportunity Charging tramite pantografo (ai capolinea e/o ad alcune fermate);
- Flash Charging;
- Induttiva wireless tramite sistemi interrati.

La scelta del sistema di ricarica dipende da diversi fattori:

- Dimensioni della flotta;
- Caratteristiche del percorso (velocità, pendenza, numero di fermate);
- Tabelle orarie di servizio;
- Capacità elettrica disponibile al deposito, lungo il percorso e alle fermate/capolinea e costi tariffari per il servizio;
- Lunghezza e durata del viaggio;
- Carico dei passeggeri;
- Temperature stagionali;
- Spazio disponibile al deposito, ai capolinea e alle fermate.

## **Smart charging**

La ricarica contemporanea di mezzi in deposito tende a causare picchi di assorbimento di potenza. Per evitare un sovradimensionamento dell'infrastruttura di ricarica, e quindi dei costi della stessa, la ricarica in deposito deve essere opportunamente gestita mediante sistemi di Smart Charging che evitino situazioni di overload. Al fine di contenere i picchi di assorbimento garantendo al contempo un'elevata qualità del servizio, tali sistemi di Smart Charging devono essere in grado di modulare la ricarica dei mezzi tenendo conto sia della potenza disponibile in deposito, che del tempo di carica a disposizione di ciascun mezzo sulla base della tabella di servizio.

Nell'effettuare la modulazione della potenza, occorre tenere anche in considerazione l'efficienza della ricarica. Infatti, il profilo di potenza di ricarica può generalmente avere un forte impatto sull'efficienza energetica, a causa di perdite di energia sia sulle stazioni di ricarica che sulle batterie degli autobus, perdite che a loro volta causano anche surriscaldamento e quindi riduzione della vita utile dei componenti. Nell'ottica della minimizzazione del TCO per l'utente finale, risulta quindi di particolare importanza la definizione di strategie intelligenti di modulazione dinamica ad hoc basate sulle specifiche esigenze e caratteristiche dei mezzi della flotta, superando le limitazioni di strategie di modulazione standard che effettuano i processi di carica "alla cieca", come avviene ad esempio nel caso di semplici modulazioni sequenziali di tipo "ON-OFF" che prevedono la ricarica a turno dei mezzi alla

---

**Un sistema di ricarica efficiente riduce i costi di esercizio di un bus elettrico. Inoltre le infrastrutture, una volta installate, hanno costi di manutenzione notevolmente inferiori e una vita operativa più lunga rispetto agli autobus**

massima potenza sulla base delle priorità dei veicoli. Ciò è garantito da piattaforme di Smart Charging in grado di adattare in tempo reale la potenza di carica di ciascun autobus della flotta tenendo conto non solo della potenza massima contrattuale e del tempo di carica a disposizione, ma anche delle specifiche prestazioni in termini di efficienza di ciascuna accoppiata “stazione di carica - batteria”, le quali variano sia a seconda delle caratteristiche costruttive dei dispositivi che nel corso del processo di carica stessa, a causa delle continue variazioni dei parametri operativi della ricarica, in primis dello stato di carica della batteria. Grazie a piattaforme di Smart Charging in grado di caratterizzare dinamicamente in tempo reale anche la relazione tra efficienza energetica e parametri della ricarica (tensione, corrente, stato di carica ecc.), è possibile ottenere realmente ogni giorno profili di carica “su misura” per ciascun autobus della flotta che consentano di rispettare i vincoli in termini di assorbimenti di potenza ed operatività dei veicoli minimizzando anche i costi associati alla ricarica.

Infine le infrastrutture per la ricarica dei bus elettrici, quando non vengono utilizzate per la ricarica degli stessi, possono essere utilizzate da altri utenti, come ad esempio un EV driver. Ovviamente tale servizio viene erogato dietro opportuna remunerazione, consentendo al proprietario dell’infrastruttura di ottenerne un profitto. Questa apertura alle utenze terze (qualora tecnicamente possibile) costituisce ovviamente un fattore abilitante la diffusione della mobilità

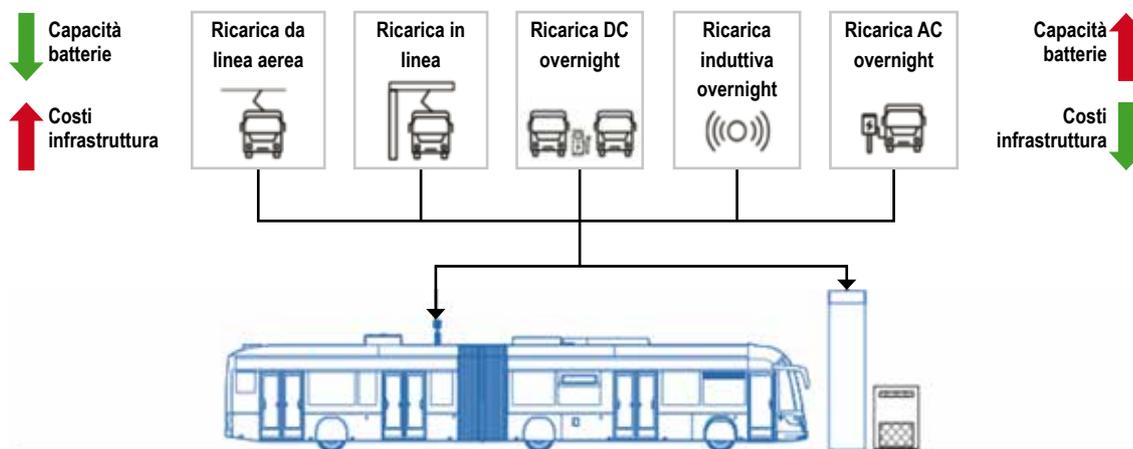
elettrica. Sarà però fondamentale valutare la compatibilità del proprio mezzo con l’infrastruttura di ricarica adibita al TPL elettrificato.

### Strategie di ricarica delle batterie

Le attuali strategie di ricarica delle batterie sono influenzate dal tempo necessario per ricaricare il veicolo e dai vincoli imposti dalla tabella oraria. Nel caso della ricarica a deposito, gli operatori di trasporto pubblico si affidano a batterie con una capacità sufficiente a garantire l’autonomia per completare il servizio. Le dimensioni della batteria, tuttavia, influiscono negativamente sulla capacità di trasporto dei passeggeri, aumentando il costo e il peso del veicolo. La batteria di un autobus elettrico che utilizzi la strategia di ricarica a deposito può costare fino al 45% del costo totale del veicolo. Nel caso della strategia di ricarica opportunity, con stazioni di ricarica ai soli capolinea, il veicolo deve caricare in un periodo più breve del tempo di sosta ai capolinea. I tempi di sosta ai capolinea sono programmati per fornire una pausa agli autisti, ma anche per compensare eventuali ritardi nel servizio. Durante i periodi di punta, quando i tempi di sosta sono più brevi, gli operatori di trasporto pubblico si trovano spesso di fronte a un dilemma: ricaricare solo parzialmente la batteria per mantenere la tabella oraria e spingere la batteria verso una scarica profonda, o abbandonare la tabella oraria per consentire una carica completa? In altre parole, se la ricarica non è abbastanza veloce o ne risente il servizio o si incrementano i costi.

In molti casi si può adottare la seguente strategia:

#### Strategie di ricarica per la gestione delle flotte e-bus



## La ricarica flash

La ricarica flash indica una modalità di ricarica che oltre a presentare ricariche rapide ai capolinea presenta anche ricariche ultrarapide (flash appunto) della durata di 20 s ad alcune delle fermate lungo la linea. Con tale tecnologia si riesce a mantenere lo status di carica delle batterie (SOC) costantemente oltre il 50%, permettendo così una ricarica completa ai capolinea in soli 3 – 4 min. Con questo sistema si ottiene quindi un'autonomia virtualmente infinita, senza alcun impatto sul livello di servizio rispetto ad un equivalente bus diesel o a metano. Infatti:

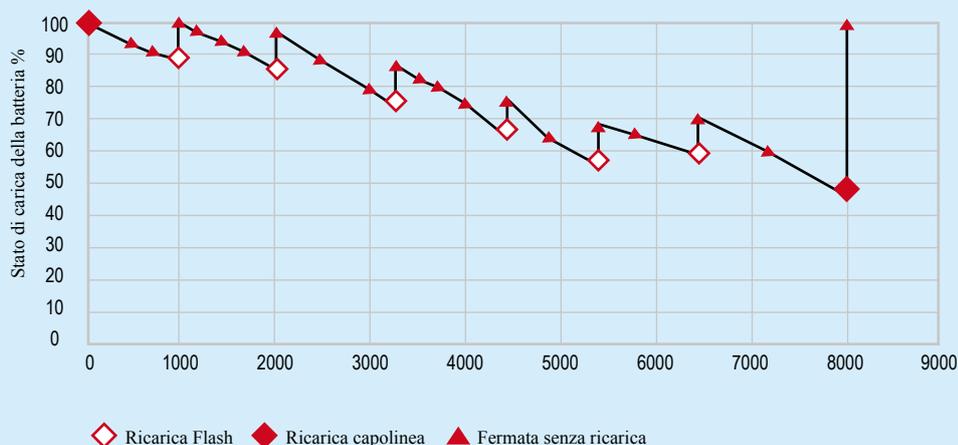
- 3 – 4 min di ricarica ai capolinea sono inferiori al tempo di attesa tipico concesso per il riposo dell'autista (almeno 5 min);
- 20 s di ricarica alle fermate sono "in ombra" rispetto al tempo di salita/discesa dei passeggeri.

Dato che l'energia elettrica necessaria per l'esercizio è distribuita lungo la linea, la capacità e quindi il peso delle batterie imbarcate sono contenuti, a tutto vantaggio della capacità di trasporto dei passeggeri che è dunque equivalente a quella di un bus ICE (Internal Combustion Engine) della medesima taglia.

La ricarica flash prevede un sistema di connessione ai punti di ricarica tramite "pantografo intelligente" (una sorta di "braccio" robotizzato) in grado di connettersi in meno di 1s, in modo totalmente automatico ed autonomo, al punto di ricarica. Si tratta pertanto di una modalità di connessione conduttiva. Invece, la tecnologia di ricarica induttiva (senza contatto) è generalmente associata ad altre modalità di ricarica (es. ricarica rapida), diverse dalla ricarica flash.

A seguire, un'immagine che aiuta a comprendere le performance di un e-bus con ricarica flash.

### Ricarica flash e stato di carica dell'e-bus



la ricarica presso i capolinea e a deposito, ma anche lungo il percorso, ad alcune fermate, sfruttando il tempo di salita e discesa dei passeggeri. La ricarica lungo il percorso a fermate selezionate:

- assicura che le batterie siano sempre mantenute ad un elevato stato di carica
- riduce la necessità di lunghi periodi di ricarica
- prolunga la durata della batteria evitando scariche profonde.

Nei periodi di punta e/o con traffico congestionato, il veicolo riceve la maggior parte dell'energia necessaria per il servizio alle fermate lungo il percorso, mentre durante il funzionamento nei periodi "di morbida" il veicolo si ricarica soprattutto al capolinea.

I punti di ricarica presso i capolinea e lungo i percorsi sono, generalmente, da 400 a 600 kW per massimizzare le opportunità di ricarica. Una tale infrastruttura è efficace solo se combinata con una batteria in grado di assorbire una carica ad alta potenza. Per questo motivo i veicoli sono equipaggiati con batterie al Litio-Titanato (LTO) che si caricano rapidamente e possono funzionare fino a "10C". 10C si riferisce al C-rate, una misura standard di quanto velocemente una batteria può essere caricata o scaricata. Più alto è il C-rate, più veloce è la carica o la scarica.

Quando si tratta di autobus elettrici, quindi, l'attenzione non deve essere rivolta solo al prezzo

di acquisto e all'autonomia, ma anche al rispetto della tabella oraria. Se la ricarica viene effettuata in modo oculato, una linea di autobus elettrici può essere gestita non solo con un basso TCO, ma anche assicurando il vantaggio di un sistema di trasporto con un trascurabile impatto ecologico e super efficiente, il che va a vantaggio di tutti. La scelta corretta del sistema di ricarica della batteria è dunque un elemento fondamentale e da valutare con attenzione.

## Batterie

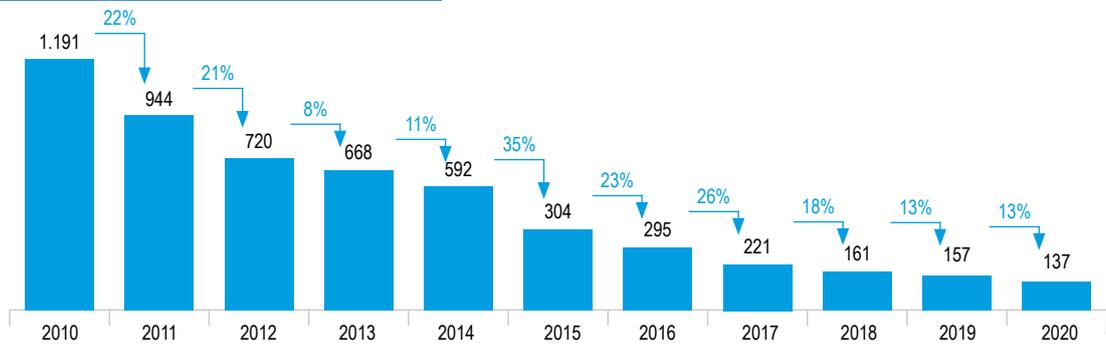
La batteria è un componente fondamentale dei bus elettrici, in grado di influenzare pesantemente le performance del mezzo, e, dunque, anche il suo costo d'acquisto. La capacità di produzione delle batterie è aumentata nel tempo molto più velocemente della domanda, e, di conseguenza, i prezzi al kWh delle batterie sono diminuiti in maniera importante.

Le batterie utilizzate negli e-bus hanno dei prezzi molto differenti in Cina rispetto al resto del mondo, dovuti principalmente alla chimica utilizzata, ai volumi richiesti e al design dei pacchi. Ad esempio, in Cina il prezzo medio ponderato relativo ai pacchi batteria si aggira intorno ai 105 \$/kWh mentre nel resto del mondo si aggirano sui 329 \$/kWh.

In tabella, i dati storici e previsionali dei prezzi delle batterie a litio.

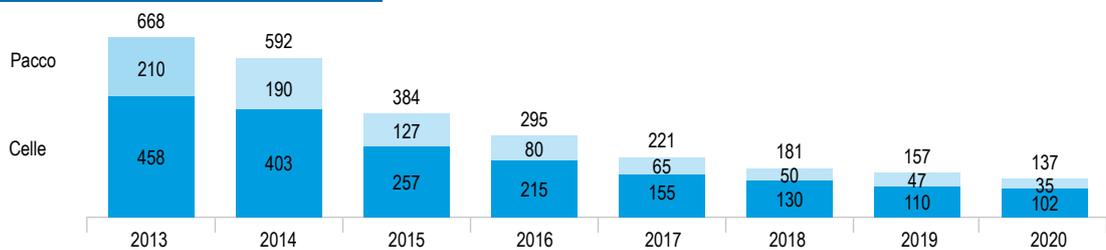


### L'evoluzione del prezzo dei pacchi batteria



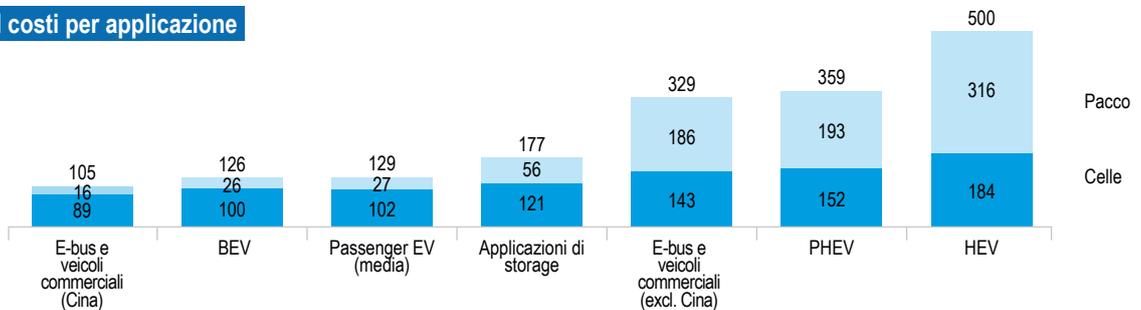
Valori in \$/kWh. Fonte: Bloomberg New Energy Finance

### Il costo del pacco e quello delle celle



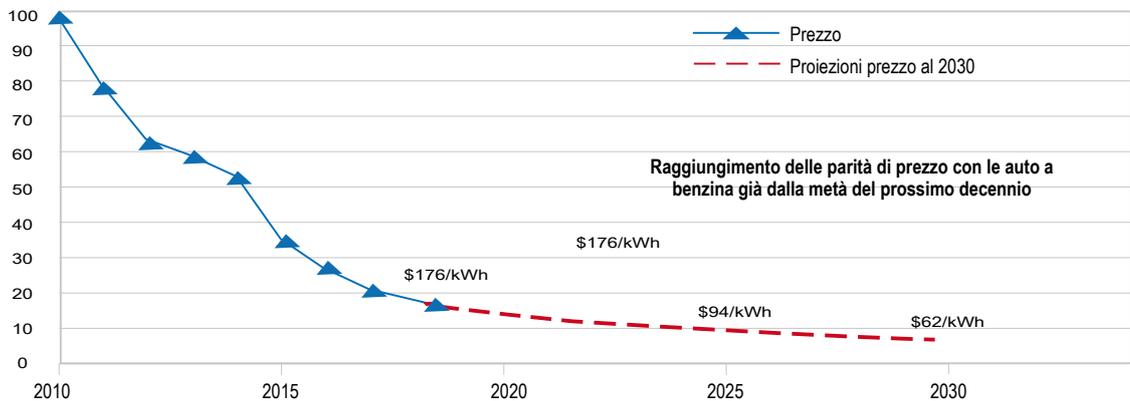
Valori in \$/kWh. Fonte: Bloomberg New Energy Finance

### I costi per applicazione



Valori in \$/kWh. Fonte: Bloomberg New Energy Finance

### L'evoluzione del prezzo dei pacchi batteria



Fonte: Bloomberg New Energy Finance

## Bus elettrici, servizi di flessibilità alla rete elettrica, Mercato per il Servizio di Dispacciamento (MSD) e Bus-to-Grid

Gli autobus elettrici, grazie alle batterie in essi contenuti, possono fornire, per il tramite delle infrastrutture di ricarica, servizi di flessibilità alla rete elettrica. Questa pratica, denominata in gergo "Bus-to-Grid", sarà particolarmente utile in vista della futura crescita (esponenziale) delle fonti di energia rinnovabile non programmabili e della contestuale diminuzione del parco di generazione termoelettrico. Tale pratica si inserisce perfettamente nell'attuale contesto di apertura del Mercato del Servizio di Dispacciamento (MSD) avviato dal gestore della rete di trasmissione nazionale (in Italia Terna), su supervisione dell'Autorità di Regolazione per Energia, Reti e Ambiente (ARERA), e in ottemperanza al D.Lgs. 102/2014.

Fondamentale per mettere in piedi e applicare questa tecnologia risulta l'infrastruttura di ricarica. Se quest'ultima è di tipo unidirezionale, intendendo con ciò la sua caratteristica di consentire iniezioni di potenza in una sola direzione, dalla rete elettrica verso il bus, si parla più precisamente di Vehicle-one-Grid (V1G). Se, invece, l'infrastruttura di ricarica è di tipo bidirezionale, consentendo quindi anche iniezioni di potenza dal bus verso la rete elettrica, si parla di Vehicle-to-Grid o (V2G).

La tecnologia Bus-to-Grid è ancora ai primi stadi e le applicazioni pratiche a livello europeo non sono numerose. Progetti in fase di sperimentazione sono stati avviati soprattutto in Inghilterra.

Nella maggior parte dei casi l'architettura di un sistema B2G o B1G prevede la presenza di:

Un deposito dei bus;

Le infrastrutture di ricarica dei bus;

I bus elettrici;

Un aggregatore (figura che sempre più emergerà nel sistema elettrico del futuro e che si occupa di "mettere insieme" e "coordinare" le batterie dei bus per meglio interfacciarsi con le richieste del distributore elettrico);

Una piattaforma digitale per la gestione delle infrastrutture di ricarica presenti nel deposito;

Una interfaccia digitale che metta in comunicazione l'aggregatore con il distributore elettrico.

Data la maggior capacità (kWh) delle batterie dei bus rispetto ai veicoli passeggeri (parliamo di circa 250-320 kWh contro 50-70 kWh), il B2G necessita di un numero inferiore di mezzi per arrivare ad avere a disposizione una potenza modulante sufficientemente grande da poter essere utile al distributore di energia elettrica.

Generalmente i depositi di bus dotati di infrastrutture di ricarica possono rendere utile alla rete elettrica una capacità che va dai 2 ai 10 MW (valore che dipende ovviamente dal numero di bus elettrici a disposizione). L'aggregato di bus elettrici va dunque a costituire una "virtual power station" in grado di fornire servizi locali al distributore.

Il B2G, dal punto di vista della gestione delle ricariche, possiede la positiva caratteristica di avere a disposizione orari ben programmati delle ricariche e quindi una conoscenza ben precisa dei profili orari di prelievo ed immissione di energia elettrica. L'alta predicibilità delle ricariche dei bus facilita notevolmente il lavoro dell'aggregatore (o, in gergo, Balancing Service Provider) e del distributore di energia elettrica.

Dal punto di vista economico, data la natura ancora sperimentale della tecnologia B2G, poco si sa sui business plan che ruotano attorno a questa pratica. In futuro essa costituirà sicuramente una revenue stream addizionale per le società del TPL, contribuendo inoltre a stabilizzare la rete elettrica, facilitando l'integrazione delle energie rinnovabili per un sistema energetico decarbonizzato e più sostenibile.

L'applicazione di strategie di smart charging può arrecare potenziali benefici economici per gli operatori del TPL elettrico su gomma legati alla partecipazione al Mercato dei Servizi di Dispacciamento (MSD), parte del Mercato Elettrico, tramite la modulazione sistematica della potenza di ricarica in deposito del veicolo, a fronte di una richiesta da parte dell'operatore del Sistema Elettrico Nazionale (ossia Terna S.p.A.). In tal senso ogni valutazione si deve necessariamente basare su ipotesi circa il grado di flessibilità ottenibile, tenendo perciò conto dei seguenti parametri:

- a. Energia necessaria alla ricarica per ciascun autobus;
- b. Quantità di autobus in deposito nell'arco della giornata;
- c. Tempo massimo a disposizione per la ricarica;
- d. Potenza massima di ricarica e possibili livelli di modulazione.

La delibera ARERA 300/2017/R/eel ha definito i criteri per consentire ai carichi, alle fonti di generazione fino ad allora escluse e ai sistemi di accumulo (in particolare elettrochimico, ed inclusi quelli nei veicoli elettrici) di partecipare a MSD. Il documento prevede che buona parte delle unità di produzione e di consumo (tra cui è possibile annoverare le infrastrutture di ricarica presso i depositi) possano essere abilitate a MSD su base aggregata (ovvero Unità Virtuali Abilitate Miste – UVAM), secondo opportuni criteri di localizzazione geografica ("perimetri di aggregazione").

I servizi di flessibilità verso il sistema elettrico, erogabili dai bus elettrici, sono:

- a. Risoluzione delle congestioni;
- b. Riserva terziaria rotante, nella modalità "a salire" e/o "a scendere";
- a. Riserva terziaria di sostituzione, nella modalità "a salire" e/o "a scendere";
- b. Bilanciamento, nella modalità "a salire" e/o "a scendere".

La "potenza minima di regolazione" deve essere al momento non inferiore a 1 MW (ma secondo il decreto del Ministero dello Sviluppo Economico 30 gennaio 2020 tale soglia potrà essere ridotta, con progressione decimale, a 0,2 MW in caso di aggregati di sole infrastrutture di ricarica) e deve poter essere sostenuta per periodi differenti secondo quanto esposto nella seguente tabella.

Servizi	Modalità 'a salire'	Modalità 'a scendere'	Tempo di avvio modulazione dall'ordine di dispacciamento (sia 'a salire' che 'a scendere')	Tempo minimo di durata della modulazione (sia 'a salire' che 'a scendere')
Risoluzione delle congestioni	✓	✓	Entro 15 min dalla ricezione ordine dispacciamento	120 min
Riserva terziaria rotante	✓	✓	Entro 15 min dalla ricezione ordine dispacciamento	120 min
Riserva terziaria di sostituzione	✓	✓	Entro 120 min dalla ricezione ordine dispacciamento	480 min
Bilanciamento	✓	✓	Entro 15 min dalla ricezione ordine dispacciamento	120 min

Fonte: Servizi UVAM - modalità e tempistiche (Terna)

I servizi resi possono essere remunerati andando così a costituire una revenue aggiuntiva per gli operatori del TPL, in grado di abbassare il TCO dei bus elettrici. Data la complessità del tema (oggetto anche di revisione) non si ritiene utile approfondire le modalità di remunerazione dei servizi di flessibilità di cui sopra.

# La batteria di un autobus elettrico che utilizzi la strategia di ricarica a deposito può costare fino al 50% del costo totale del veicolo. Punti di ricarica rapida presso capolinea o alle fermate permettono di massimizzare le opportunità di ricarica

---

La rapida discesa dei prezzi delle batterie, unita alle sempre maggiori performance delle stesse, avrà importanti conseguenze sul TCO dei bus elettrici.

La durata di vita di una batteria è influenzata sia dalla chimica della stessa sia da come viene “trattata”. Ogni chimica ha i suoi vantaggi e svantaggi, e, in generale, le chimiche sono scelte anche in base alle prestazioni del caso d’uso specifico.

Il Litio Ferro Fosfato (LFP) è sicuro e ha un ciclo di vita elevato, ma, d’altra parte, ha una bassa densità di energia volumetrica (Wh/l).

La NCA (Litio- Nickel - Cobalto - ossido di Alluminio) può essere scelta per via della maggiore densità di energia, che richiede quindi meno spazio per una data dimensione del pacco (kWh), ma ha un ciclo di vita più breve. Infine le NMC (Nickel -Manganese -Cobalto) sono molto utilizzate dai player europei nei bus elettrici.

Negli e-bus, lo spazio per localizzare un pacco batterie non è così limitato come per le auto elettriche ed è importante avere un ciclo di vita lungo, in modo da massimizzare il ritorno sul costo dell’autobus.

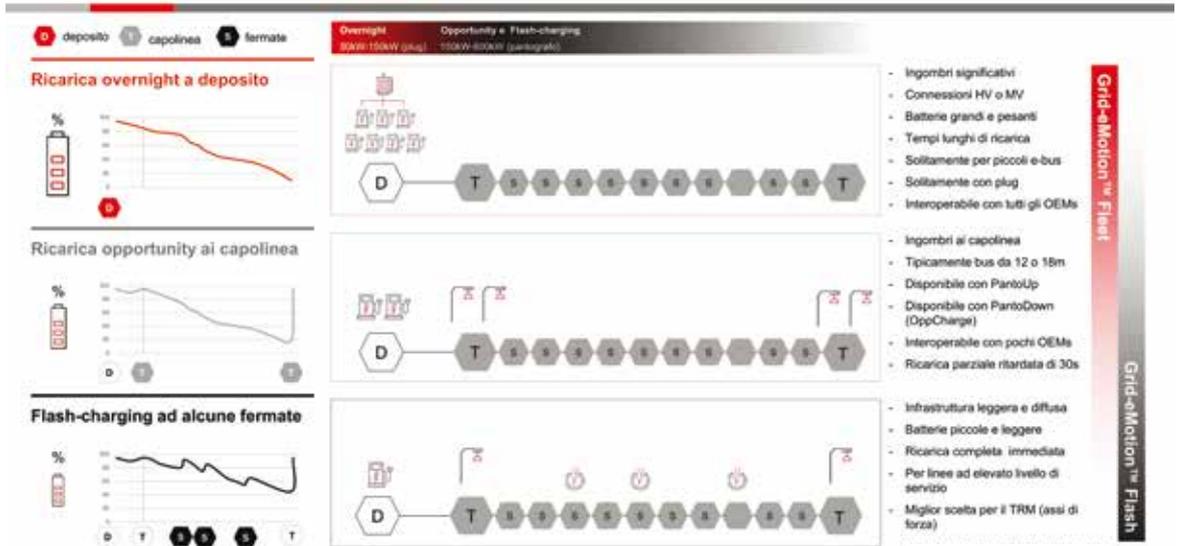
Tipicamente la durata di vita di una batteria corrisponde al numero di cicli (e quindi di anni) in cui una batteria conserva l’80% della sua capacità iniziale. Il degrado della batteria dipende principalmente dalle continue reazioni chimiche che si verificano all’interno della stessa, sia indipendenti che dipendenti dall’uso, ma, ovviamente, possono essere aggravate dall’esposizione della batteria a condizioni sfavorevoli, come le alte temperature o il freddo eccessivo. Se utilizzate regolarmente, le batterie possono avere una durata di vita utile superiore a 10 anni.

Sulla base delle informazioni raccolte sulle garanzie delle batterie degli e-bus, la vita media attesa di una batteria è di circa sette anni.

Il problema di cosa fare con le batterie a fine vita degli e-bus è una questione chiave per il settore, che può impattare sui costi e anche sull’immagine dell’azienda TPL, oltre a fornire ulteriori opportunità di business per i player industriali. In genere, in base al loro stato, o si riciclano o vengono utilizzate per finalità second-life, come ad esempio lo storage stazionario di impianti rinnovabili (non rappresentando quindi un costo ma una vera e propria risorsa) o comunità energetiche.



## Strategie di ricarica per la gestione delle flotte e-bus



Fonte: Hitachi ABB Power Grids





## Vantaggi e svantaggi rispetto ad altre alimentazioni per il TPL

Il bus elettrici presentano diversi vantaggi rispetto ad altre alimentazioni. Di seguito verranno analizzati gli impatti del bus elettrico a confronto con altre tipologie di alimentazione sia in termini ambientali che economici.

A livello ambientale, infatti, i bus elettrici non emettono dallo scarico alcun tipo di inquinante né climalterante, con importanti benefici a livello di qualità dell'aria e riscaldamento globale. Questi vantaggi, come vedremo, aumentano all'aumentare della "rinnovabilità" dell'energia elettrica con cui vengono ricaricati.

Inoltre importanti benefici dall'utilizzo di bus elettrici derivano dalla silenziosità di tali mezzi rispetto agli altri modelli. Il rumore eccessivo, con i gravi danni che questo comporta, è un problema molto sentito nelle città, e dotarsi di una flotta elettrica contribuisce a renderle più vivibili.

Dal punto di vista economico, a fronte di un prezzo d'acquisto generalmente più elevato dei bus elettrici rispetto ad altre ipotesi di alimentazioni (che può comunque essere abbassato con strumenti come il "battery leasing"), si evidenzia come i bus elettrici si dimostrano già competitivi rispetto alle altre alimentazioni. Gli e-bus hanno già oggi, in alcuni casi, un Total Cost of Ownership (TCO) inferiore rispetto agli analoghi mezzi a diesel o metano (CNG) e in questo il risparmio sui costi operativi è un potente driver a favore dei bus elettrici. Oltre a questo, i bus elettrici consentono di ottenere nuovi potenziali ricavi derivanti dalla valorizzazione delle logiche di economia circolare (grazie alla possibilità di riutilizzare le batterie giunte a fine) e di integrazione fra sistemi di trasporto e reti elettriche (fornendo, ad esempio, servizi di flessibilità alla rete elettrica che possono essere remunerati economicamente).

Molto spesso, oltre ai vantaggi di tipo economico ed ambientale, vi sono anche altre tipologie di vantaggi, derivanti dall'utilizzo di bus elettrici, difficilmente quantificabili (come il maggior confort dei passeggeri a bordo di un mezzo silenzioso).

### L'impatto ambientale di diverse alimentazioni di bus a confronto. Analisi sull'intero ciclo di vita (LCA).

A livello italiano, non sono tuttora noti altri studi che puntino a valutare quale via possa essere la

migliore da un punto di vista della riduzione delle emissioni climalteranti nel settore del trasporto pubblico urbano su gomma e quanto le diverse possibilità possano effettivamente contribuire, anche sinergicamente, alla decarbonizzazione di questo settore.

Questo lavoro, curato dal CNR-IIA e disponibile nel formato integrale sul sito di **Motus-E**, è stato, quindi, incentrato sulla comparazione degli **impatti ambientali di diversi scenari legati all'alimentazione di autobus per il trasporto pubblico locale**. In particolare, sono state analizzate e confrontate diverse categorie di alimentazione sintetizzate nella tabella seguente<sup>1</sup>.

Denominazione	Breve descrizione della tipologia di alimentazione
Gasolio mix attuale	Gasolio B7, ossia gasolio con una percentuale di biodiesel pari al 7%, come attualmente commercializzato in Italia
CNG fossile	Metano fossile compresso
CNG mix attuale	Scenario che considera un mix di utilizzo di CNG nei trasporti, assimilabile a quello attuale: 81% di gas fossile, 16% di biometano da letame e 3% di biogas da FORSU
Fuel cell renewable	Fuel cell alimentate a idrogeno verde (ovvero idrogeno prodotto con energia 100% rinnovabile)
Fuel cell mix attuale	Fuel cell alimentate a idrogeno prodotto con il mix elettrico attuale in Italia (ovvero 33,9% rinnovabile come per l'anno 2018) <sup>2</sup>
Batteria renewable	Batteria full-electric alimentata da energia 100% rinnovabile
Batteria mix attuale	Batteria full-electric alimentata da mix elettrico attuale in Italia (ovvero 33,9% rinnovabile come per l'anno 2018)

1 Nel Report esteso sono analizzate 12 differenti tipologie di alimentazione, per maggiori dettagli si rimanda allo stesso.

2 Fonte GSE (2018)

La **metodologia** utilizzata si basa sul **Life Cycle Assessment (LCA)**. Questo tipo di analisi valuta i potenziali impatti ambientali lungo l'intero ciclo di vita di un prodotto (fasi di produzione, distribuzione, utilizzo e fine vita) o servizio. Ciò include anche i processi a monte (es. fornitori) e a valle (es. gestione dei rifiuti) associati a tutte le fasi considerate. Inoltre, copre tutti gli input rilevanti provenienti dall'ambiente (ad es. minerali e petrolio greggio, acqua) nonché le emissioni nell'aria, nell'acqua e nel suolo (ad es. anidride carbonica e ossidi di azoto). La scelta dell'analisi di tipo LCA, piuttosto che della simile ed altrettanto comune analisi tank-to-wheels (TTW) serve a prendere in considerazione anche la componente più strutturale degli scenari, sia per quanto riguarda i mezzi stessi, sia per quanto riguarda la componente infrastrutturale per la distribuzione del carburante.

Per quanto riguarda le analisi per valutare l'impatto delle diverse alimentazioni, e conseguentemente delle diverse configurazioni strutturali, sono stati fissati alcuni assunti, riportati nella tabella seguente.

Assunto	Valore
Unità analizzata	Vita utile bus da 12 m in servizio urbano
Vita utile del bus	800.000 km
Vita utile di una batteria da 400 kWh	160.000 km
Vita utile fuel cell PEMS (Proton exchange membrane) (2 x 60 kWh)	265.000 km
Efficienza bus a batteria	1,27 kWh/km
Efficienza finale bus a fuel cell	7,04 kWh/km
Efficienza bus a fuel cell	0,1 kgH <sub>2</sub> /km
Efficienza produzione H <sub>2</sub>	70,4 kWh/kg

Per tutti gli scenari, la struttura del bus (chassis, pneumatici, sistemi di frenata, arredo interno e così

via) è considerata identica, e dunque invariante nel modello.

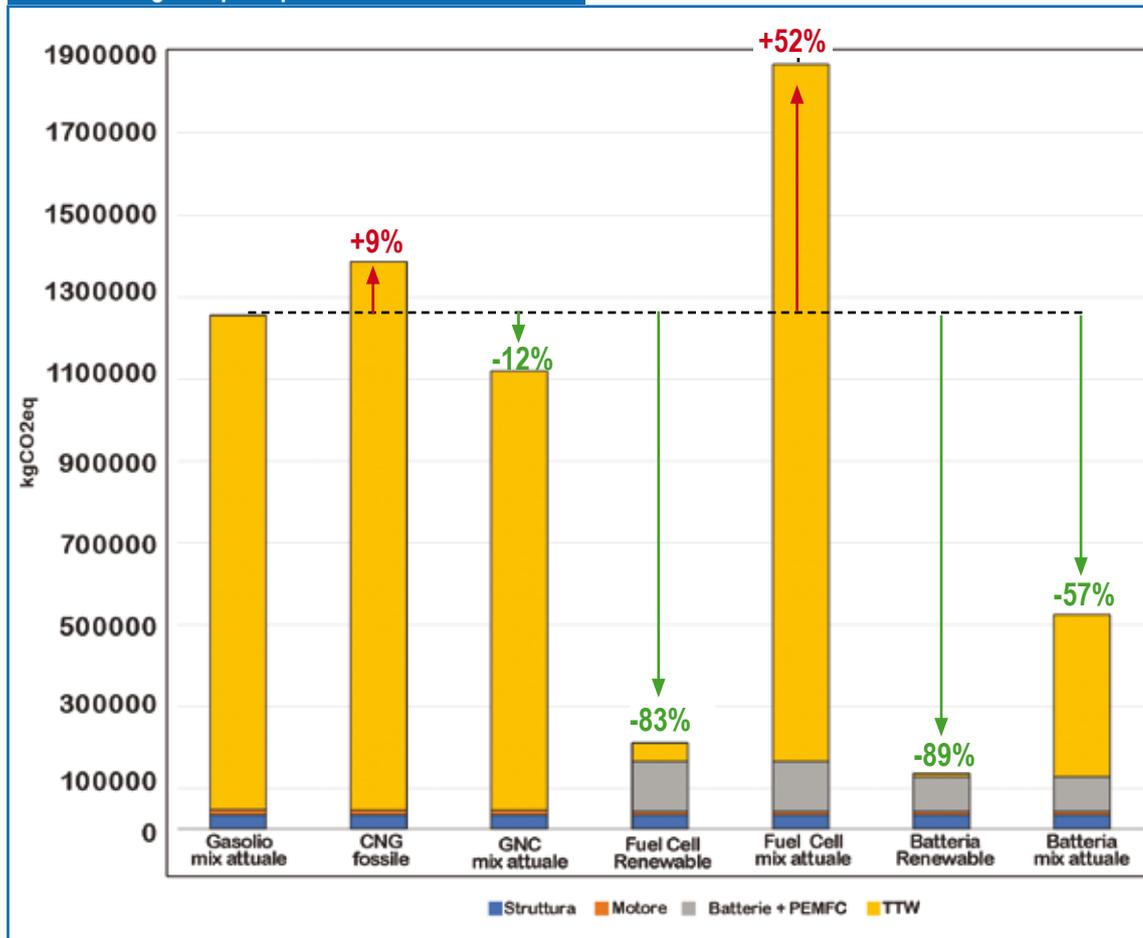
Relativamente agli **indicatori selezionati per valutare l'impatto dei diversi scenari**, il report esteso ne analizza diversi, tra questi il parametro "**climate change**" è stato considerato come quello più rilevante e più rappresentativo dei risultati. Questo indicatore, molto comunemente impiegato, utilizza i kg di CO<sub>2</sub> equivalenti per esprimere gli effetti delle diverse specie chimiche sul riscaldamento globale. In figura è riportato il risultato per i principali scenari per l'indicatore del cambiamento climatico. L'impatto è stato suddiviso in alcune macro-componenti, ovvero:

- Struttura, uguale per tutti gli scenari, fa riferimento allo chassis, arredo interno, pneumatici e così via del bus;
- Motore, riferito al sistema di propulsione del bus;
- Batterie e PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, ossia le pile che nelle alimentazioni fuel cell trasformano in energia elettrica l'energia chimica che viene liberata nella reazione elettrochimica tra idrogeno e ossigeno) riferito a queste componenti e ovviamente presenti solo negli scenari full electric (Batteria renewable e Batteria mix attuale) o con alimentazione a fuel cell (Fuel cell renewable e Fuel cell mix attuale)
- TTW (Tank to Wheel), che si riferisce sinteticamente a tutti i processi di produzione del carburante o dell'energia necessaria per muovere il veicolo, insieme alla parte di emissioni dato dal movimento del veicolo.

I risultati sono riassunti tramite il grafico di seguito. All'interno del grafico sono riportate le percentuali di variazione dell'impatto sul climate change dei diversi scenari rispetto al caso più comune, considerato pertanto come caso base, ossia lo scenario *Gasolio mix attuale*.

È evidente dal grafico come gli scenari con una componente maggioritaria derivante da carburanti fossili (*Gasolio mix attuale*, *CNG fossile*, *CNG mix attuale*) abbiano un impatto significativamente più alto rispetto a quello degli scenari dove l'alimentazione viene, in

## Climate change nei principali scenari analizzati



ultima analisi, da fonti rinnovabili. Infatti, lo stesso si può evidenziare per lo scenario più energivoro, ossia *Fuel cell mix attuale*, dove la produzione energetica risente grandemente dalla componente termoelettrica. Questo scenario, infatti, ha un impatto sul cambiamento climatico anche più alto dello scenario *Gasolio mix attuale*, mentre quando si passa allo scenario *Fuel Cell Renewable* si verifica una riduzione dell'impatto così rilevante che lo porta ad essere uno degli scenari maggiormente vantaggiosi, secondo solo allo scenario *Batteria Renewable*. Questo può essere spiegato in particolare dalla scarsa efficienza del sistema e dalle grandi quantità di energia richieste per la produzione di idrogeno per elettrolisi che se non provengono da energia 100% rinnovabile incidono in modo rilevante sul

cambiamento climatico.

Il minor impatto dello scenario a *Gasolio mix attuale* rispetto a quello a CNG fossile dipende in parte dalle specificità dell'analisi, ma anche dalla componente di biodiesel, pari al 7%, del gasolio comunemente erogato in Italia (come spiegato nella tabella di descrizione). Similmente, lo scenario *CNG mix attuale* può essere considerato quello più adatto come paragone per lo scenario *Gasolio mix attuale*, proprio in virtù della componente rinnovabile al suo interno, pari al 19% di biometano. È interessante anche notare come lo scenario *CNG mix attuale* mostri una riduzione intorno al 20% rispetto allo scenario CNG fossile in virtù della componente rinnovabile, seppur minoritaria all'interno di questo scenario. Infatti, le

emissioni di anidride carbonica del biometano possono essere considerate *carbon neutral* poiché il carbonio emesso è quello fissato da organismi vegetali ed immediatamente riconvertito in biogas (scarti agricoli o alimentari) o entrato nella catena alimentare, i cui scarti sono poi trattati per la produzione di biogas (scarti zootecnici).

**Lo scenario maggiormente vantaggioso tra tutti si dimostra, quindi, lo scenario Batteria Renewable, ovvero bus completamente elettrici alimentati da energia rinnovabile, che consente una riduzione dell'impatto sui cambiamenti climatici pari all'89% rispetto allo scenario base (*Gasolio Mix attuale*). Nonostante l'ingresso di una nuova componente (la produzione della batteria) questo scenario è in grado di ridurre in modo significativo la componente TTW. Anche lo scenario a *Batteria Mix Attuale*, nonostante l'alimentazione da rete elettrica nazionale con il 66,1% di energia da fonti fossili come oggi, si dimostra presenta dei buoni risultati, classificandosi al terzo per minori emissioni di CO<sub>2</sub> equivalenti, subito dopo gli scenari alimentati al 100% da energia rinnovabile.**

## Il calcolo del Total Cost and Revenues of Ownership (TCRO) degli autobus in Italia

Questa sezione del vademecum presenta una sintesi di due fasi di studio condotte da Enel Foundation e GREEN Università Bocconi, che hanno approfondito il tema della valorizzazione dei fattori di costo interni ed esterni lungo il ciclo di operatività di un bus per differenti ipotesi di alimentazione.

### L'approccio TCRO

Il Total Cost and Revenues of Ownership (TCRO) costituisce un'evoluzione del concetto di Total Cost of Ownership (TCO). L'approccio TCRO qui adottato include oltre ai costi anche la valutazione dei potenziali ricavi (revenues) derivanti dalla valorizzazione delle logiche di economia circolare e di integrazione fra sistemi di trasporto e reti elettriche. In particolare, la prima componente è legata ai ricavi derivanti dalla vendita delle batterie del bus a fine vita utile per il ruolo nel settore dei trasporti, ma con ancora circa l'80% di capacità residua, generando un valore contabilizzabile derivante dal valore residuo sul mercato grazie alla possibilità di un riutilizzo o di un recupero importante delle componenti, in logica definita second life. La seconda componente di ricavo

deriva dal possibile ruolo nei momenti in cui i bus sono in deposito delle batterie quali stabilizzatori della rete elettrica, in logica Bus2Grid.

Di seguito si riporta lo schema metodologico di analisi delle principali componenti considerate per il calcolo del TCRO. Per la quantificazione dei parametri e l'indicazione delle fonti si rimanda allo studio completo.<sup>1</sup>

Sulla base di tale approccio è stato condotto nel 2021 uno studio di benchmark per l'Italia, con l'obiettivo di comprendere le condizioni di contesto necessarie per poter giungere ad un'economicità operativa del servizio di TPL in ambito urbano, con caratteristiche di linea standard basate su un chilometraggio di 55.000km annui di bus da 12 metri a tre porte, con diverse motorizzazioni: bus elettrici, bus alimentati con carburanti fossili (diesel e metano), bus ad idrogeno o alimentati da altre fonti energetiche meno inquinanti rispetto ai carburanti fossili. Le esternalità ambientali sono state quantificate e incluse nel TCRO in una seconda fase dello studio.<sup>2</sup>

### Il calcolo del TCO e delle esternalità

Il punto di partenza dell'analisi consiste nel calcolo del TCO tenendo conto delle componenti di costo precedentemente menzionate calcolate in euro per bus al km, al quale viene affiancata la quantificazione delle esternalità ambientali generate dalle differenti tipologie di alimentazione.

La scelta di considerare anche l'opzione di alimentazione elettrica al 100% basata su energie rinnovabili è tutt'altro che marginale, corrisponde anzi alla prassi sempre più diffusa dell'approvvigionamento da fonti certificate, in atto tra i principali operatori, fra cui quelli operanti a Milano, Torino e Genova, ad esempio, che hanno avviato il processo di elettrificazione delle flotte in Italia già da alcuni anni.

1 GREEN Bocconi, Enel Foundation (2021) Scenari e prospettive dell'elettrificazione del trasporto pubblico su strada. Un'innovativa analisi di benchmark: Il TCRO - Total Cost and Revenues of Ownership nel mercato italiano [https://www.enelfoundation.org/content/dam/enel-foundation/topics/2021/11/Paper%20TCRO\\_caso%20Italia.pdf](https://www.enelfoundation.org/content/dam/enel-foundation/topics/2021/11/Paper%20TCRO_caso%20Italia.pdf)

2 GREEN Bocconi, Enel Foundation (2022) Scenari e prospettive dell'elettrificazione del trasporto pubblico su strada. Stima delle esternalità ambientali delle diverse motorizzazioni dei bus analizzati nel modello di calcolo del TCRO <https://www.enelfoundation.org/topics/articles/2021/11/scenarios-and-prospects-of-electrification-of-public-road-transp>

## Schema metodologico di analisi del TCRO dei bus

Componenti di costo aziendale	
<i>Costi di investimento</i>	<i>Costi operativi</i>
Costi di acquisto iniziale dei bus e delle infrastrutture (in deposito e ai capolinea)	Costi energetici per trazione
	Manutenzione ordinaria dei bus
	Manutenzione straordinaria dei bus
	Manutenzione delle infrastrutture
Componenti ricavi aziendali	
Ricavi da vendita assets	Ricavi da servizi alla rete elettrica
Valorizzazione a fine vita delle batterie	Bus2 Grid
Componenti di costo per la collettività	
Esterneità ambientali: inquinamenti locali, gas climalteranti, rumore	

Come si evince dal grafico a pagina 30, il valore del TCO comprensivo delle esternalità risulta per il bus elettrico pari a 1,04 €/km, inferiore sia agli 1,09 del diesel che agli 1,14 del CNG.

Dall'analisi condotta risulta come i bus elettrici siano già al 2021 sostanzialmente competitivi (a differenza di idrogeno e LNG biometano), sebbene scontino ancora – nel caso non vengano considerate le esternalità generate – circa 6 cent €/km di gap rispetto alle alimentazioni diesel e CNG. Questo

avviene grazie alla maggiore incidenza dei costi operativi, e in particolare dei consumi, sul totale dei costi. Come verrà mostrato successivamente (grafici a pag.32), questo gap tende ad esaurirsi rapidamente, tanto che già nel corso del 2022 è stimata la parità del TCO dell'elettrico con quelli di diesel e CNG.

### Il TCRO, il ruolo dei ricavi

Interessante notare come il contributo delle componenti di ricavo - vehicle-to-grid (V2G) e second-life battery - relative al TCRO consenta di ridurre il gap precedentemente citato al netto delle esternalità ambientali a poco più di 1 cent €/km.

La scomposizione del TCRO per voci di costo mette in luce il ruolo dell'investimento iniziale per l'acquisto dei bus, che per l'elettrico pesa ancora per oltre il 60% del TCO (rispetto a incidenze intorno al 35% nei casi diesel e metano).

I costi operativi risultano invece inferiori, in particolare riguardo ai consumi di gestione (16 cent €/km l'elettrico, 34 cent il diesel e 30 il CNG) e alle manutenzioni, essendo rispettivamente inferiori del 54% e del 41% rispetto al diesel.

L'incidenza delle esternalità ambientali sul TCRO dei bus elettrici – a differenza delle altre motorizzazioni – è minima, essendo l'energia generata da fonti rinnovabili (è stato considerato solo il rumore).

La quantificazione dei ricavi contribuisce al mantenimento del TCRO sotto la soglia di 1 €/km.

### TCO, TCRO, TCO + esternalità e TCRO + esternalità, anno 2021

La tabella seguente mette a confronto i valori di TCO e TCRO rispettivamente senza e con la valorizzazione delle esternalità generate.

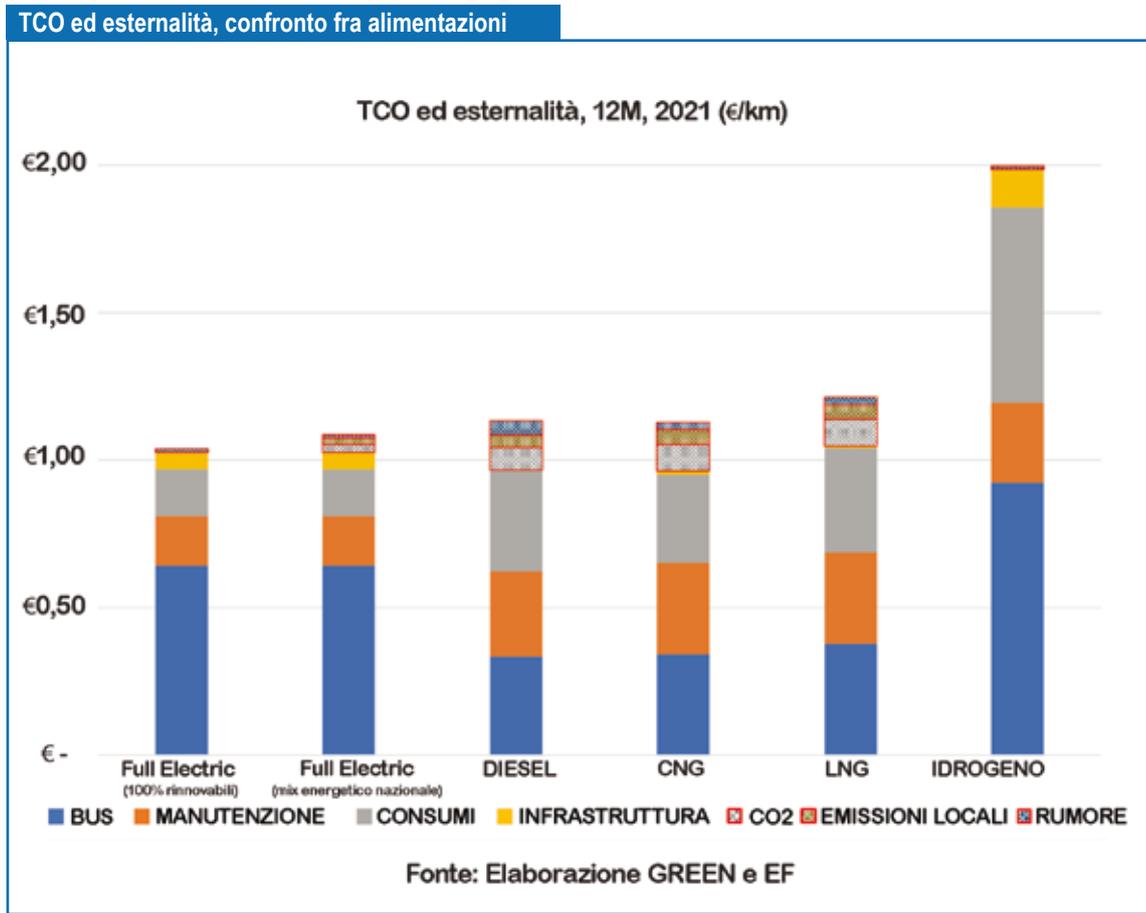
TCO, TCRO, TCO + ESTERNALITÀ E TCRO + ESTERNALITÀ, ANNO 2021						
	full electric (100% rinn.)	full electric (mix naz.)	diesel	CNG	LNG	idrogeno
TCO	1,028 €	1,028 €	0,968 €	0,963 €	1,049 €	1,986 €
TCRO	0,979 €	0,979 €	0,968 €	0,963 €	1,049 €	1,986 €
TCO + EXT	1,040 €	1,088 €	1,136 €	1,129 €	1,215 €	1,999 €
TCRO + EXT	0,992 €	1,040 €	1,136 €	1,129 €	1,215 €	1,999 €

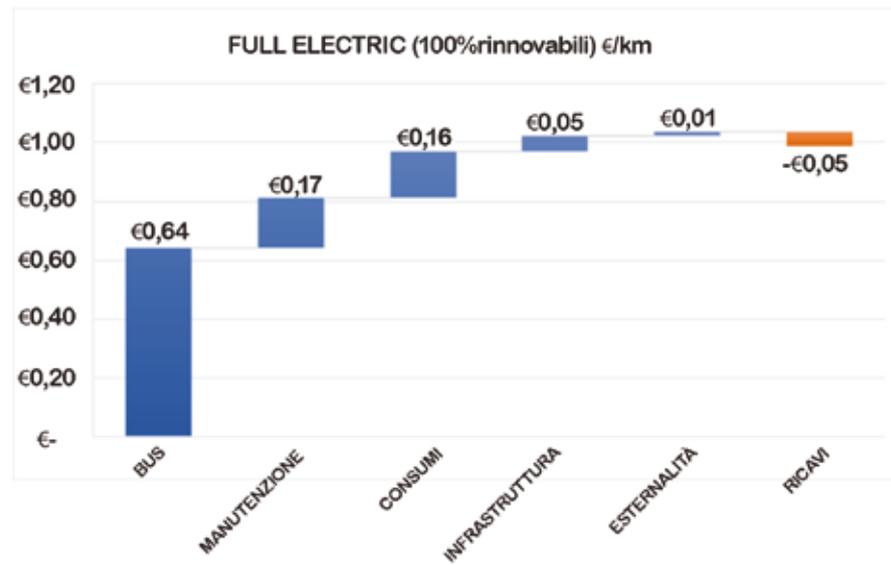
Fonte: Elaborazione GREEN e EF

### Analisi di sensitività e il differenziale di costo nel tempo

Per comprendere a pieno il potenziale del processo di elettrificazione delle flotte autobus è opportuno guardare alle dinamiche temporali. Come mostrano le figure seguenti, già durante il 2022 anche i calcoli del TCO risultano favorevoli

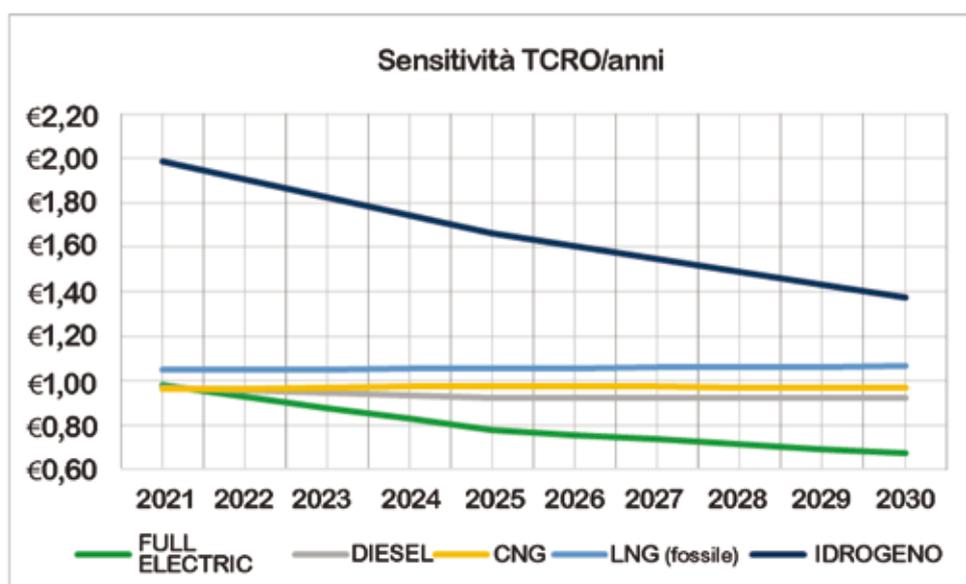
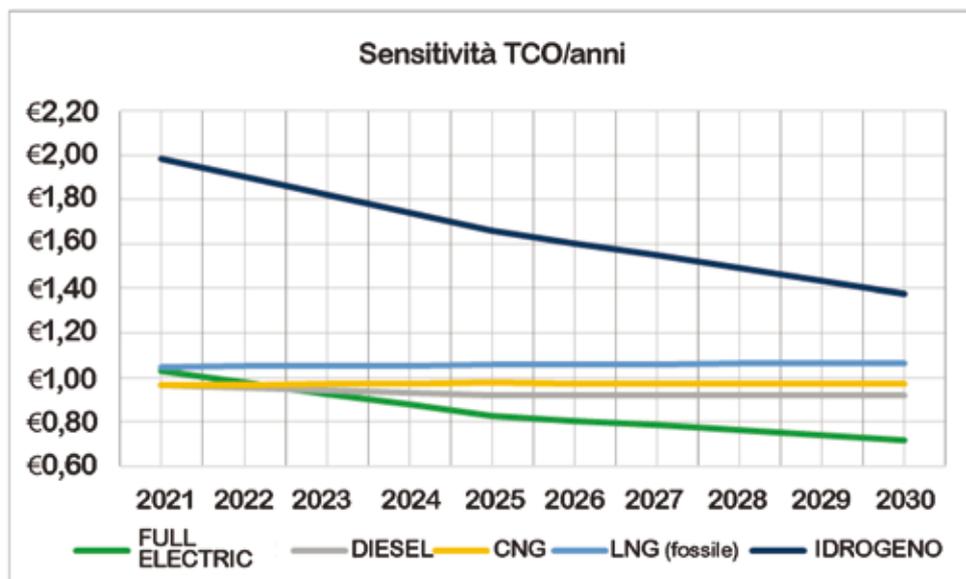
all'opzione elettrica, al netto dei benefici ambientali e degli eventuali ricavi. Risulta evidente quindi come, grazie soprattutto alla progressiva riduzione dei costi di investimento nel tempo (e in particolare del costo degli autobus e delle relative batterie), l'alimentazione elettrica veda aumentare progressivamente nel tempo il differenziale a suo favore.





Fonte: Elaborazione GREEN e EF

**Molto spesso, oltre ai vantaggi di tipo economico ed ambientale, vi sono anche altre tipologie di vantaggi derivanti dall'utilizzo di bus elettrici e difficilmente quantificabili (come il maggior confort dei passeggeri a bordo di un mezzo silenzioso).**



Fonte: Elaborazione GREEN e EF

## Opzioni di acquisto o noleggio e strategie di finanziamento

La quasi totalità degli investimenti in e-bus in Italia è stata coperta da fondi Regionali o da quelli Ministeriali. In alcuni casi, in Italia, l'acquisto di e-bus è stato effettuato anche tramite autofinanziamento delle aziende tpl o grazie a fondi di specifici programmi europei. Centrali, per l'indirizzo della scelta tecnologica, sono i Pums (Piano Urbano della Mobilità Sostenibile) con cui un Comune o una Città Metropolitana indica l'orizzonte del proprio sistema di trasporto pubblico.

Il metodo più diffuso per finanziare i progetti di e-bus in Europa oggi è una combinazione di autofinanziamento e vari livelli di sovvenzioni, comprese le sovvenzioni UE, nazionali, regionali o comunali.

Questo, tuttavia, a volte non è sostenibile. Le sovvenzioni sono generalmente limitate e irregolari e sono sufficienti per acquistare solo pochi autobus alla volta. Si tratta di solito di piccole iniezioni indirizzate più al consenso che a un effettivo cambio di rotta.

Spesso poi, le municipalità prendono ancora decisioni d'investimento solo sulla base del costo iniziale dell'autobus. Poiché questo è più alto rispetto agli autobus diesel equivalenti, ciò rende molto difficile per molti operatori di autobus passare all'elettrico. Inoltre, poiché i prezzi delle batterie stanno diminuendo, alcuni operatori di trasporto pubblico stanno ritardando i loro piani di elettrificazione nella speranza che il calo dei prezzi delle batterie avvicini il costo di un autobus elettrico a quello di un'opzione diesel.

L'elettrificazione del trasporto pubblico, a partire dal rinnovo della flotta autobus, è un progetto complesso che richiede un approccio integrato rispetto ai processi di acquisto tipici della PA in questo settore, non può essere pertanto pensato come una mera sostituzione uno-a-uno di autobus a fine vita con autobus elettrici.

Per garantire questo traguardo è fondamentale l'esecuzione ex-ante di un progetto complessivo che integri principi di ingegneria trasportista con considerazioni di natura energetica e infrastrutturale

che tengano in conto le attuali caratteristiche di servizio, la flotta, le tecnologie di ricarica disponibili con l'obiettivo di identificare la migliore soluzione di elettrificazione del trasporto pubblico massimizzando i benefici economici e ambientali. Per alleviare il problema dei costi iniziali, stanno emergendo nuovi modelli di business, come il noleggio di batterie, l'approvvigionamento congiunto e la condivisione di autobus.

### Leasing delle batterie

Questo metodo prevede l'acquisto dell'autobus ma il noleggio della sua batteria. Poiché la batteria è la componente più costosa del mezzo (anche il 50% del prezzo), il mancato acquisto attraverso il leasing permette di ridurre fortemente l'investimento iniziale e avvicinarlo quanto più possibile a quello di un diesel, pagando la batteria come servizio per un contratto di n anni corrispondente più o meno alla vita utile di essa, trasformandolo in un costo operativo.

### Gruppo di acquisto fra amministrazioni locali (Joint Purchasing Agreement)

Un altro modo per ridurre l'investimento iniziale è sfruttare le economie di scala, collaborare con un'altra città o un altro operatore di autobus per spuntare un accordo migliore (prezzi per mezzo più bassi, ad esempio) per un contratto più grande (es. ordinando più autobus).

### Leasing finanziario

Spesso può essere più economico dell'acquisto anticipato di un autobus elettrico, poiché la società di leasing - che rimane proprietaria del bene - può offrire condizioni migliori. L'operatore TPL opera e gestisce gli autobus e dopo n anni ne diventa il proprietario. Il contratto di locazione può essere pagato dai ricavi operativi e richiede un anticipo di gran lunga più basso dell'investimento iniziale richiesto per l'acquisto.

### Leasing operativo

Un'altra possibilità è il leasing operativo. La principale differenza rispetto al leasing finanziario



---

**L'elettrificazione del tpl è un progetto complesso che richiede un approccio integrato rispetto ai processi di acquisto tipici della PA in questo settore, non può essere pertanto pensato come una mera sostituzione uno-a-uno di bus a fine vita con bus elettrici**

risiede nella possibilità conferita all'operatore TPL di usufruire del mezzo senza che il rischio ricada su di lui ma rimane a carico del concedente. Inoltre il canone di leasing operativo, a differenza di quello finanziario, non include il prezzo del bene, ma solo il valore di utilizzazione dello stesso, pertanto, molto spesso i leasing operativi contengono componenti aggiuntivi, come i contratti di manutenzione dei veicoli e i relativi costi di manutenzione e accessori.

Nel leasing operativo l'utilizzatore può richiedere la sostituzione del bene in qualunque momento. Questi contratti spesso possono anche servire come periodi di prova - in cui l'operatore di autobus e il fornitore di autobus firmano un contratto di locazione a breve termine per testare un veicolo specifico alle condizioni specifiche di una città.

Inoltre questa tipologia di contratto non prevede l'opzione di riscatto del bene. Infatti, l'acquisto alla scadenza del contratto di leasing operativo non è previsto. Mentre nel leasing finanziario tale opzione è contemplata: il locatore infatti con il canone periodico paga non solo il prezzo di utilizzazione del bene ma anche parte del prezzo dello stesso.

Nel leasing operativo, inoltre, il conduttore può recedere dal contratto in ogni momento, previo

preavviso. È comunque tenuto a pagare i restanti canoni di noleggio pattuiti al momento della stipula del contratto.

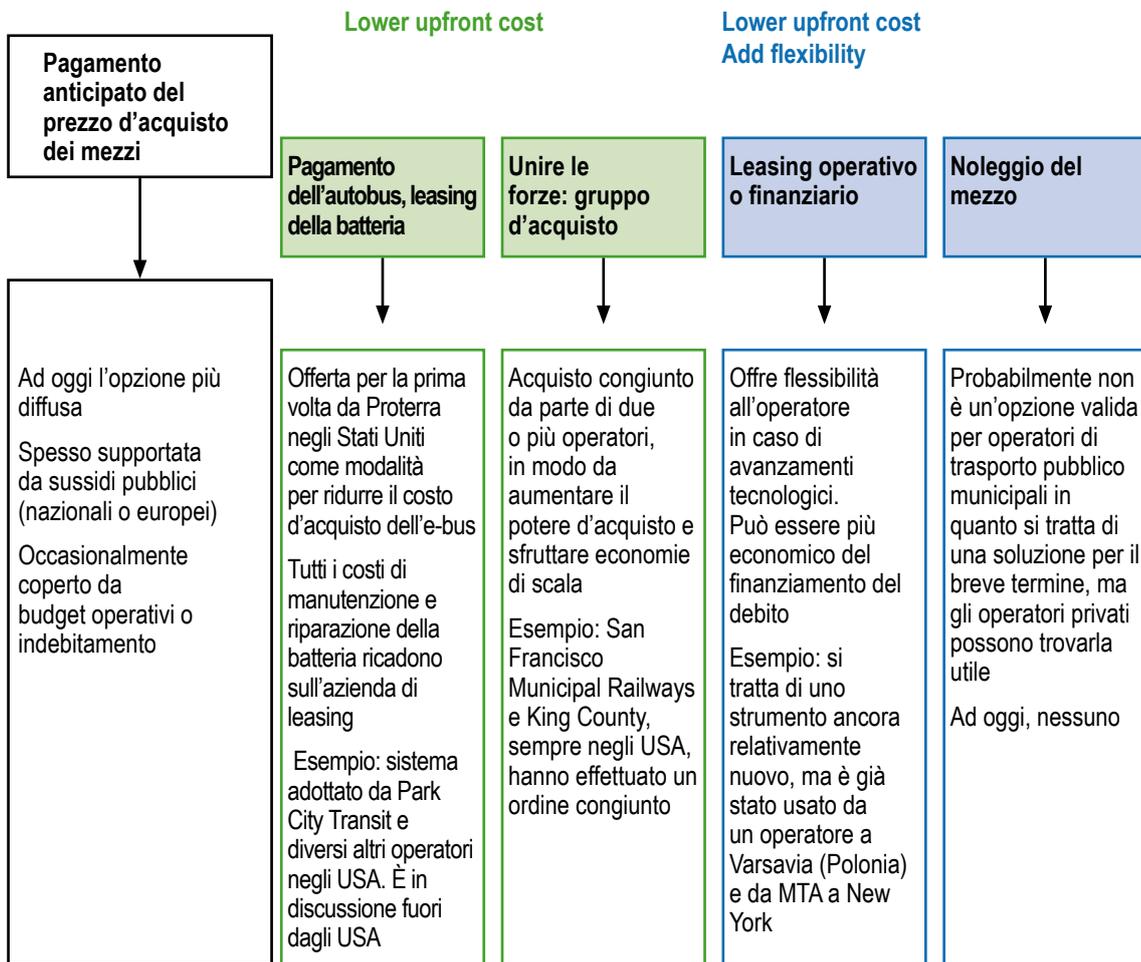
### **Partenariato Pubblico Privato (PPP)**

Il Partenariato Pubblico Privato (PPP) è un istituto di matrice europea con cui si identificano le plurime forme di cooperazione instaurabili tra soggetti pubblici ed operatori economici privati al fine di finanziare, realizzare e gestire opere pubbliche e/o di erogare servizi destinati al soddisfacimento di esigenze di interesse generale. La ratio di siffatta tipologia di collaborazione risiede nell'ormai indifferibile esigenza, da un lato, di procedere al superamento delle crisi finanziarie e di porre rimedio ai vincoli posti alla spesa pubblica e, dall'altro lato, di rinnovare le conoscenze tecniche e scientifiche della pubblica amministrazione. Infatti, l'elettrificazione del trasporto pubblico, se da un lato rappresenta la migliore soluzione per svolgimento del servizio di trasporto grazie al risparmio operativo e benefici ambientali garantiti rispetto alle altre tecnologie, dall'altra rappresenta un processo nuovo, complesso che richiede delle competenze specifiche ad oggi non sempre presenti all'interno della pubblica amministrazione e delle società di trasporto pubblico locale. La mancanza di tali competenze implica difficoltà per municipalità e aziende TPL nella preparazione, emissione

---

**La ratio del partenariato pubblico-privato risiede nell'esigenza, da un lato, di porre rimedio ai vincoli posti alla spesa pubblica e, dall'altro, di rinnovare le conoscenze tecniche e scientifiche della pubblica amministrazione.**

## Modalità di acquisto di bus elettrici



Fonte: Bloomberg New Energy Finance

e valutazione delle gare d'appalto finalizzate all'elettrificazione del trasporto pubblico (che a differenza di tecnologie quali diesel e metano non sono Plug and Play, il mezzo rappresenta solo una parte della catena del valore) con conseguenti ritardi nell'implementazione del processo di elettrificazione.

Allo scopo di dare un impulso reale alla transizione verso i sistemi di mobilità urbana elettrica si rende necessario aprire la possibilità a nuove forme di Partenariato Pubblico Privato, ad iniziativa privata che consentano alle amministrazioni locali e alle società di trasporto pubblico locale di sfruttare al massimo le sinergie con gli operatori privati in grado di proporre e realizzare (anche con proprio

apporto finanziario) sistemi di trasporto pubblico urbano innovativi con livelli di compatibilità ambientali decisamente superiori rispetto a quelli tradizionali.

I contratti di PPP sono contratti a titolo oneroso con i quali una o più stazioni appaltanti conferiscono a uno o più operatori economici per un determinato periodo di tempo un complesso di attività consistenti nella realizzazione, trasformazione, manutenzione e gestione operativa di un'opera in cambio: (a) della sua disponibilità; o (b) del suo sfruttamento economico; o (c) della fornitura di un servizio connesso all'utilizzo dell'opera stessa. Minimo comune denominatore di ciascuna delle suddette ipotesi è l'assunzione di

rischio secondo modalità individuate nel contratto da parte dell'appaltatore.

All'onerosità e al trasferimento dei rischi deve poi aggiungersi il c.d. equilibrio economico-finanziario, vale a dire la contemporanea presenza delle condizioni di convenienza economica e di sostenibilità finanziaria, che congiuntamente rappresentano il presupposto per la corretta allocazione dei rischi.

Alcune tipiche declinazioni di Partenariato Pubblico Privato sono:

- la finanza di progetto (o project financing);
- la concessione di servizi;
- la locazione finanziaria di opere pubbliche;
- il contratto di disponibilità.

Nell'immagine alla pagina precedente alcune forme di acquisto riassunte in blocchi.

### **Come preparare un capitolato di gara**

Gli aspetti relativi ai tender promossi da Aziende TPL, Agenzie della Mobilità, Enti Locali e CONSIP rappresentano un passaggio fondamentale per la concreta e corretta diffusione dell'autobus BEV e trolleybus in Italia.

L'accelerazione alle gare di fornitura di autobus BEV e Trolleybus è stata impressa in particolare dai contenuti del Piano Nazionale Strategico della Mobilità Sostenibile (PNSMS) e dall'applicazione dei Criteri Ambientali Minimi (CAM), in

attuazione della normativa italiana in materia di "Green Public Procurement".

Tuttavia, le stazioni appaltanti italiane tendono a prevedere capitolati di gara aventi come asset primario quello della massimizzazione della fornitura, in termini di numero di autobus da mettere in rete e di attività previste in ambito Full Service. L'effetto di questa impostazione è una evidente ricaduta sul peso specifico che assume il fattore-prezzo nei Capitolati di gara.

In questa fase iniziale di penetrazione nel mercato dell'autobus BEV, il fattore-prezzo iniziale di investimento sta rappresentando quasi sempre il driver fondamentale delle gare di fornitura promosse dalle Aziende TPL e dalle altre stazioni appaltanti (CONSIP inclusa), con una conseguente sottovalutazione dei fattori di qualità del prodotto e di intensità e capillarità della rete di assistenza per le attività di Full Service.

Anche se questa condotta può sembrare finalizzata al risparmio sui costi di investimento, in realtà, si tratta di un elemento foriero di ripercussioni critiche sull'efficienza dell'esercizio nel medio termine (e quindi sui costi operativi finali), che richiede una tempestiva correzione in termini di modalità generale da parte delle stazioni appaltanti nella concezione stessa di un Capitolato



di gara per la fornitura di veicoli BEV (o anche Trolleybus).

In tal senso, uno strumento idoneo potrebbe essere lo schema delle “Raccomandazioni” per le gare di appalto, elaborato periodicamente dall’Associazione ASSTRA, che rappresenta un sicuro riferimento per tutte le stazioni appaltanti competenti in materia di acquisizione di autobus TPL.

Nel merito, si suggeriscono alcune linee di azione generale a cui si dovrebbero attenere le stazioni appaltanti per i Capitolati di gara per fornitura di autobus BEV e Trolleybus:

- Peso ponderato del punteggio inerente al prezzo non superiore al 30-35%;
- valorizzazione nell’allocazione dei punteggi per gli aspetti inerenti all’autonomia di esercizio e all’avanzamento tecnologico del mezzo in tutte le sue componenti funzionali strategiche;
- valorizzazione nell’attribuzione del punteggio per le attività di manutenzione e Full Service alla effettiva e comprovata presenza di una efficiente rete di assistenza sul territorio, in particolare nel bacino in cui è previsto che si sviluppi l’utilizzo della flotta messa a gara;
- soprattutto per i tender aventi per oggetto forniture di sistemi Trolleybus (i quali, secondo le tecnologie In Motion o Opportunity Charging, sono esercitati con mezzi dotati di sistemi di ricarica con pantografo), ricorso a Capitolati di gara opportunamente coordinati che possano prevedere l’elaborazione di offerte che includano sia la fornitura mezzi che la fornitura infrastrutture.

## La manutenzione dell'autobus elettrico

---

Gli autobus elettrici impongono un cambio completo di paradigma in materia di manutenzione ordinaria e straordinaria rispetto agli autobus ad alimentazione convenzionale.

Le Aziende TPL tendono a non acquistare più lotti di veicoli da immettere in circolazione, ma veri e propri "sistemi" nei quali modalità di ricarica (anche peculiari, come quella induttiva al capolinea o quella conduttiva per mezzo di pantografi o aste filoviarie), turni, soste, missioni sono accuratamente studiati prima del servizio.

La natura stessa dell'esercizio dell'autobus elettrico richiede quindi specifiche procedure di manutenzione.

### Il sistema di propulsione

Volendo esaminare gli elementi costitutivi di un veicolo su gomma, la diffusione della propulsione elettrica cambia le prassi di manutenzione della componente meccatronica, soprattutto per un più complesso approccio alla diagnostica e ricerca guasti che diventa orientata più che sulla logica di bordo, ormai standardizzata, sugli apparati di regolazione della trazione.

La carrozzeria e la parte meccanica, per converso, risultano generalmente meno sollecitate in virtù della diminuzione delle vibrazioni e della maggiore

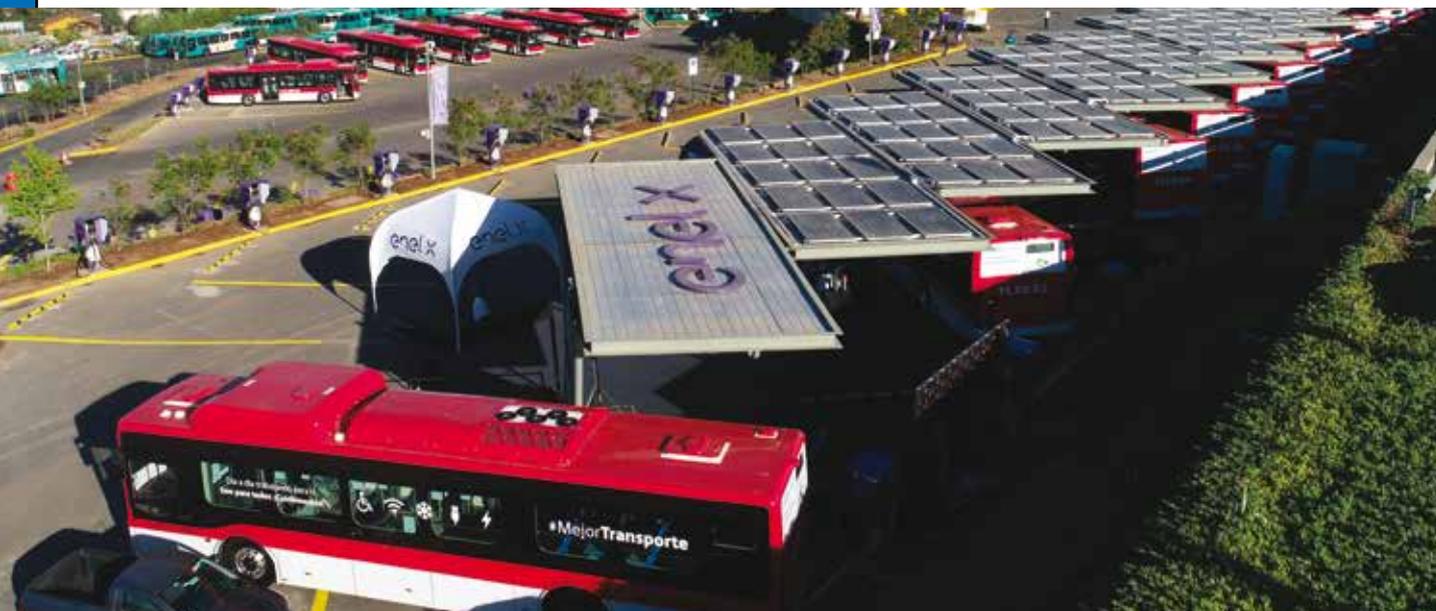
frequenza delle stesse, che poco interferisce con giunzioni e incollaggi; maggiore rigidità, invero, si registra nelle sospensioni, a causa delle masse elevate associate alla presenza di equipaggiamenti di trazione e batterie.

In termini di Ordini di Lavoro aperti, molto meno pesante risulta la manutenzione del sistema di propulsione e trasmissione, tradizionale e indiscusso vantaggio della propulsione elettrica. Ciò può apparire non del tutto vero nel caso delle soluzioni ibride, oggi diffuse, che mantengono a bordo propulsori o generatori diesel; gli stessi lavorano peraltro in condizioni migliori e possono essere di dimensioni generalmente ridotte. Fin qui il sistema manutentivo non richiede significativi cambiamenti, mantenendosi lavorazioni in fossa o su ponti, estendendosi al limite il numero di lavorazioni da effettuare sull'imperiale dei veicoli, che spesso ospitano apparecchiature elettriche, con necessità di adeguate attrezzature di officina e relativi sistemi a presidio della sicurezza (linee vita).

Peculiarità degli autobus elettrici sono però i sistemi di ricarica e la gestione delle batterie e, in conseguenza di questi, i depositi-officina necessitano di locali idonei ad ospitare cabine elettriche dimensionate per un impegno di potenza

---

**L'aspetto cruciale richiesto dal passaggio alla propulsione elettrica è rappresentato da un elemento immateriale quanto essenziale: cambiano, e di molto, le professionalità. I datori di lavoro devono entrare in familiarità con i concetti di PEI PES PAV.**



significativo, il che richiede sovente di ripensare l'intero layout delle stesse.

Le batterie stesse richiedono aree di stoccaggio idonee, anche in considerazione della nota caratteristica delle batterie al litio di provocare auto-inneschi in conseguenza del raggiungimento di temperature elevate, un aspetto da tenere in grande considerazione in sede di definizione del certificato di prevenzione incendi.

### **E-bus e nuove competenze**

In generale, si osserva come le officine di manutenzione di veicoli elettrici appaiono generalmente più pulite e silenziose, altro aspetto importante al fine di un'organizzazione del lavoro orientata alla gestione del fattore umano.

L'aspetto cruciale richiesto dal passaggio alla propulsione elettrica è rappresentato proprio da un elemento immateriale quanto essenziale: cambiano, e di molto, le professionalità.

I datori di lavoro devono entrare in familiarità con i concetti di PEI PES PAV, figure la cui attribuzione è a loro carico previa formazione conforme alla CEI 11-27, e più in generale devono comprendere con il fatto che non solo il dimensionamento del servizio (e quindi la

strategia di rinnovo della flotta) è influenzato dal tipo di propulsione, ma soprattutto che l'intero presidio delle competenze deve essere ripensato alla luce di lavorazioni che richiedono logiche di make or buy completamente differenti rispetto a quelle tipiche del mercato dei veicoli termici.

Specifici moduli di formazione teorico-pratici da 16 ore dedicate sia al personale di manutenzione sia ai loro responsabili basati su specifiche linee guida sono predisposti dalle Aziende più preparate sul tema, con il coinvolgimento dei fornitori di autobus elettrici, così da garantire un prezioso riconoscimento trasversale ad un'attività così delicata.

Considerato il cambio di paradigma sopra enunciato, un ruolo importante in questo contesto è dato dall'influenza dello stile di guida sui consumi energetici e sulle autonomie di esercizio (aspetto delicato del sistema dell'autobus elettrico), che può comportare variazioni fino al 30%: anche la formazione degli autisti risulta in questo caso centrale al fine di garantire il rispetto delle missioni assegnate ai veicoli con sufficiente margine di confidenzialità.

In conclusione il comportamento alla guida di un autista di un veicolo ha notoriamente

un grande impatto sui consumi e sull'usura dello stesso. Questo è ancor più vero nel caso di veicoli elettrici, per i quali diversi studi dimostrano come una guida oculata può ridurre fino al 30% l'uso di energia, con conseguente maggiore autonomia e/o maggiore vita delle batterie e delle altre parti vitali del mezzo. La diffusione sempre più spinta dell'”autobus elettrico come valida soluzione alle esigenze di un trasporto pubblico sostenibile sta generando una richiesta di conducenti qualificati capaci anche di assolvere alle mansioni aggiuntive assegnate ai conducenti delle linee, come la

connessione e la sconnessione delle spine di ricarica, l'eventuale avvio dei processi di ricarica e l'eventuale immissione di parametri relativi allo stato del mezzo appena utilizzato. L'auspicabile rapido aggiornamento degli accordi sindacali che normano l'attribuzione delle nuove mansioni consentirà questa ulteriore valorizzazione della figura del conducente, rendendo ancora più premianti le attività di qualificazione iniziale e formazione periodica dei conducenti, per altro già previste dalle Direttive Europee, e che potrebbero avvenire, come già per molti paesi europei, con l'impiego di simulatori.

**FASE 1.** Assessment degli obiettivi e master-plan. Esaminare le motivazioni a monte per implementare una nuova rete BEB:

- Disponibilità di capitali e opportunità di finanziamento: cercare di capire le disponibilità interne di investimento dell'azienda TPL e l'emergere di nuove opportunità di finanziamento da parte di UE, Stato, regioni, comuni per l'elettrificazione del TPL;
- Riduzione dei costi operativi:
  - l'elettricità per ricaricare BEB può essere più conveniente e meno volatile in termini di prezzo rispetto all'acquisto di carburante per bus diesel;
  - i sistemi di propulsione BEB sono più efficienti e hanno un minor numero di parti in movimento rispetto ai sistemi di trasmissione convenzionali, con una conseguente minore usura;
  - la mancanza di un motore a combustione interna annulla la necessità di cambi d'olio, mentre l'uso della frenata rigenerativa allunga tipicamente la vita delle pastiglie dei freni.
- Per prescrizioni legislative riguardanti al miglioramento dell'efficienza energetica e impatto ambientale dettate da stato, regioni ed enti locali;
- Per ridurre l'impatto dei TPL in termini inquinamento sonoro, ambientale, per dare un esempio sull'elettrificazione.

---

**Per progettare l'elettrificazione di una linea è necessario coinvolgere tutti gli stakeholders chiave interni ed esterni, definire gli obiettivi di lungo termine, condurre una valutazione su tutta la flotta e sviluppare un master plan iniziale che servirà da roadmap.**

## Come sviluppare una rete TPL elettrica, nella pratica

---

Necessario coinvolgere tutti gli stakeholders chiave interni ed esterni (Project Managers, O&M, Logistica, Procurement, Stakeholders esterni), definire gli obiettivi di lungo termine, condurre una valutazione su tutta la flotta e sviluppare un “master plan” iniziale che servirà da roadmap per l’implementazione dei BEB con obiettivi a lungo termine. Il master plan deve essere rivisto ogni due anni per verificare se le assunzioni di partenza siano ancora valide.

Infine, suddividere il master plan in azioni più piccole con obiettivi di breve termine. I risultati delle prime implementazioni forniranno informazioni preziose sulle prestazioni effettive dei BEB nell’area di servizio di riferimento, guidando le decisioni sequenzialmente successive, rivedere tempi e costi ed eventualmente includere progressi derivanti dal settore BEB.

**FASE 2.** Selezione della tecnologia dei mezzi e della IdR appropriata.

**FASE 3.** Scelta del modello di finanziamento: Esaminare le opportunità di finanziamento messe in campo da Europa, Stato, Regioni, Comuni che possono coprire il costo del capitale per l’acquisto

dei BEB e l’installazione dell’infrastruttura di ricarica.

**FASE 4.** Strategie di esercizio e di ricarica: investigare le strutture tariffarie dell’elettricità e come il sistema di gestione della ricarica può ottimizzare le operazioni.

**FASE 5.** Sviluppo dell’infrastruttura di ricarica e acquisto dei mezzi: attività per implementare l’infrastruttura di ricarica, compreso il coinvolgimento delle parti interessate, la selezione del sito, la progettazione, le autorizzazioni necessarie, la costruzione e messa in esercizio.

**FASE 6.** Convalida tecnica della nuova rete BEB ed entrata in esercizio.

**FASE 7.** Staff Training: Formazione dello staff per la gestione della nuova rete.

**FASE 8.** Operation and Maintenance e data monitoring: data collection e valutazione dei KPIs per monitorare le performance dei veicoli, l’efficienza e i costi

**FASE 9.** Opportunità di miglioramento.

## Modelli di analisi per pianificare l'elettrificazione della flotta

### Una fotografia digitale della propria situazione TPL e l'elaborazione di scenari per autobus, ricariche, infrastrutture.

Le domande che si pone chi cerca di immaginare un passaggio graduale della propria flotta all'elettrico sono tante, come per esempio: ci sono autobus elettrici che riescono a soddisfare le nostre esigenze? Distanze e pendenze sono percorribili? Sul mercato vengono offerti modelli con dimensione delle batterie molto diverse, ma noi di quali abbiamo bisogno? La ricarica può essere limitata al deposito o devo fare stop intermedi e sfruttare altre fermate per ricaricare? L'orario delle nostre linee può rimanere invariato o un cambio all'elettrico richiede degli adattamenti? Queste e tante altre sono domande lecite ed importanti per immaginare un futuro elettrico per la propria flotta. Ma dove trovare risposte? Sicuramente è utile guardare agli esempi di altre città, che una parte del percorso di elettrificazione lo hanno già intrapreso, e considerare le loro esperienze positive e negative. Poi però bisogna portare quest'esperienze nel proprio territorio e contesto. Ed ogni situazione è diversa ed unica. Come fare?

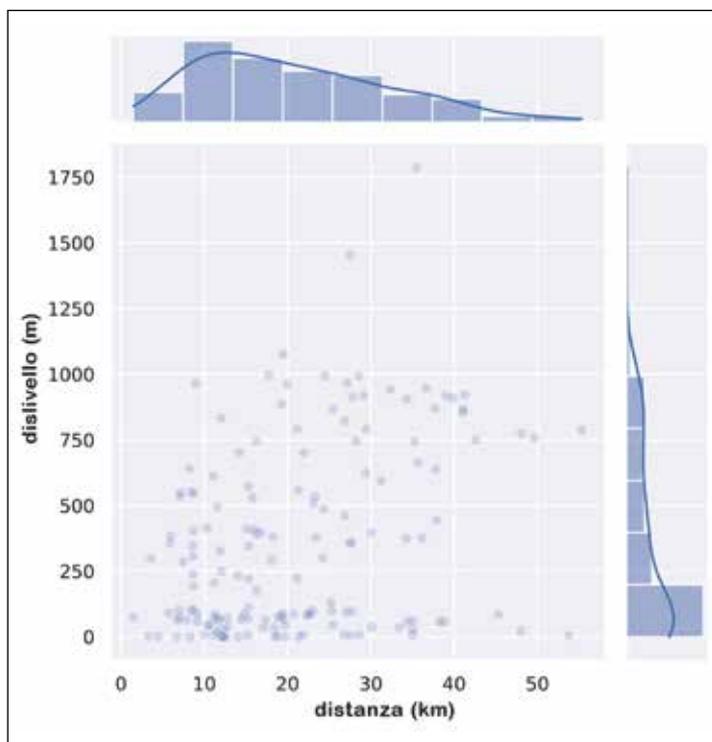
Un aiuto può venire dall'elaborazione di un modello digitale della propria realtà. Un modello che consideri tutte le distanze delle tratte che vengono percorse, la somma delle tratte da percorrere ogni giorno con il singolo autobus, il dislivello delle varie tratte e i punti critici come pendenze e raggi delle curve. Inoltre, vanno considerati gli orari, i depositi e le fermate nei quali l'autobus si ferma più a lungo.

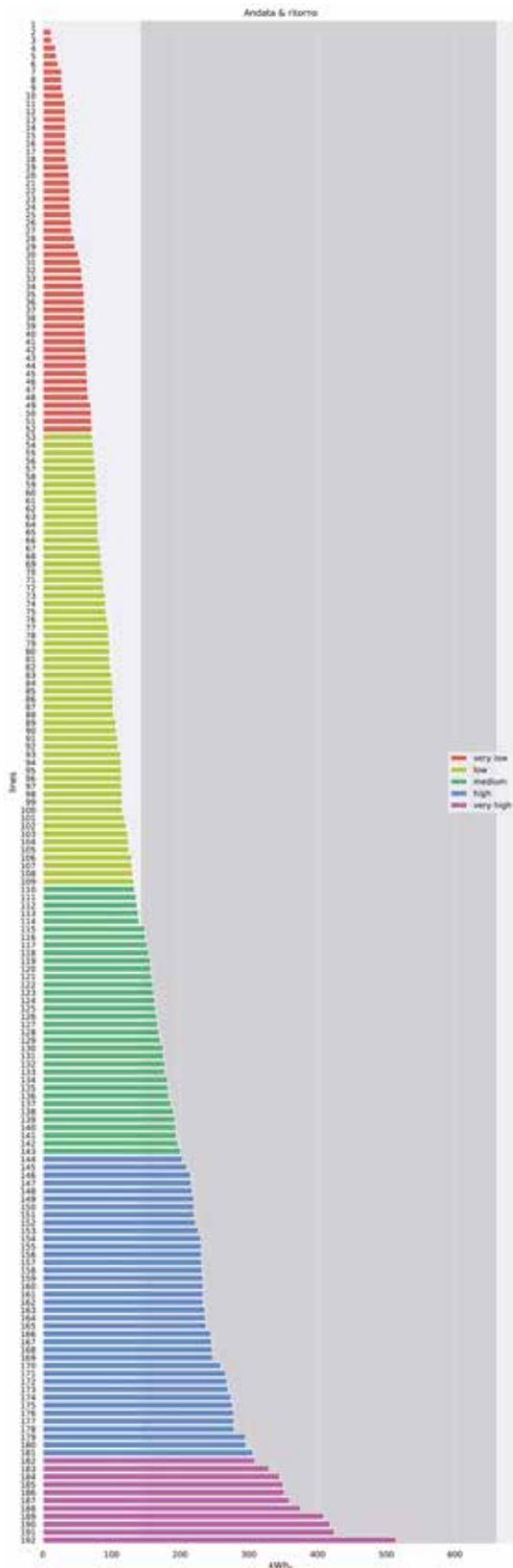
Non per ultimo va considerato il modello di autobus attualmente in utilizzo, le condizioni climatiche estreme in cui deve operare e le distanze, curve e pendenze che l'autobus deve essere in grado di superare.

Tenendo in considerazione gli aspetti citati ogni singola linea può essere tradotta in energia elettrica consumata

dall'autobus. Un'indagine di mercato degli autobus attualmente in commercio permette di identificare i veicoli potenzialmente impiegabili. L'incrocio di queste due informazioni, tenendo conto della dimensione della batteria e dei consumi dello specifico modello di autobus, consente di valutare quale autobus possa riuscire a percorrere le linee per tutta la giornata oppure dove debba essere ricaricato, e per quanto tempo, per poter rispettare gli orari.

Con queste informazioni a disposizione si possono elaborare vari scenari di autobus con batterie di dimensioni maggiori per certe linee, e dimensioni minori per altre. Oppure dimensioni maggiori per soddisfare il percorso di tutta la giornata e fare le ricariche solo in deposito, piuttosto che scegliere batterie di dimensioni minori (minori costi di investimento) ma realizzare delle stazioni di ricarica anche in punti intermedi. Oppure utilizzare la tecnologia dei pantografi per delle ricariche ad alta potenza in tempi ridotti.





### Il caso studio del tpl interurbano in Alto Adige

Eurac Research ha applicato recentemente questa metodologia alla Provincia di Bolzano. Il trasporto interurbano altoatesino è caratterizzato da distanze, pendenze e dislivelli molto diversi. Inoltre, le temperature esterne possono variare da  $-20^{\circ}\text{C}$  in inverno in montagna ad oltre  $40^{\circ}\text{C}$  in estate in città come Bolzano.

Lo studio ha richiesto la creazione di una mappa 3d dei percorsi degli autobus per individuare dislivelli e pendenze delle varie tratte. A tale fine un algoritmo GIS ha processato più di tre milioni di punti e analizzato più di 250 linee (incluendo correzioni specifiche per ponti e gallerie). I consumi in salita e discesa e nelle differenti condizioni climatiche e di carico sono stati calcolati sulla base di formule analitiche i cui parametri, sono stati derivati da riferimenti bibliografici. Le simulazioni sono state effettuate nelle condizioni più cautelative: massimo carico in salita e minimo carico in discesa e in condizioni climatiche invernali. Alcuni risultati:

- la distanza media delle linee è di 17 km (max: 55 km) con un dislivello medio di 300 m
- sono stati analizzati più di 20 modelli di autobus elettrici.
- la maggior parte dei bus consentono di superare le pendenze presenti sul territorio
- il 100% dei percorsi può essere completato in singola andata e ritorno
- nei tratti di montagna (escludendo il fondovalle) la maggior richiesta energetica in salita è compensata da un'assenza di consumo o, in alcuni casi, anche da un saldo netto positivo di energia recuperata in discesa
- nell'ipotesi di rigido rispetto degli orari attualmente presenti, emerge che è possibile sostituire più dell'80% degli autobus diesel direttamente con autobus elettrici. Nei restanti casi, la necessità di ricarica, vincolata al rispetto degli orari, comporta un aumento del numero di autobus elettrici da mettere a disposizione della



- specifica tratta. L'aumento totale del numero di autobus richiesti risulta essere pari al 6%
- l'analisi ha permesso di identificare quantità e localizzazione dei punti di ricarica. Come potenze sono state analizzate sia varianti di 150kW come di 300 kW e l'analisi ha rilevato che un aumento a 300 kW porta dei vantaggi solo in singoli casi specifici.

Eurac Research sta attualmente raccogliendo dati di monitoraggio da autobus elettrici sia in servizio regolare sia in fase di test (urbano e interurbano) che permetteranno di migliorare il modello nei prossimi mesi. Le prime analisi hanno evidenziato come il modello di calcolo sviluppato sia molto cautelativo rispetto al consumo reale osservato.



## Due key study tra Italia ed Europa

### CASO EUROPEO CON RICARICA A

DEPOSITO: Amburgo, Germania.

Elettrificazione di 110 bus lines che coprono oltre 921 km con relativa elettrificazione totale della flotta (44 bus elettrici) e del deposito preesistente, diventando così il primo deposito di autobus elettrici della Germania.

Con l'obiettivo di raggiungere la piena elettrificazione della sua flotta di autobus entro il 2030, l'operatore di trasporto pubblico tedesco Hamburger Hochbahn AG ha convertito un deposito già esistente, con limitato spazio a disposizione, in un deposito "elettrificato" con 44 infrastrutture di ricarica da 150 kW e connessi sistemi di gestione delle stesse, destinato ad alimentare una flotta di bus elettrici che coprono varie linee per oltre 920 km ed oltre 213 milioni di passeggeri trasportati ogni anno. Il progetto consentirà di risparmiare circa 83.700 tonnellate di CO2 all'anno e con importanti benefici economici e in termini di qualità dell'aria. I 44 bus elettrici della flotta, ciascuno con un'autonomia fino a 150 km in condizioni normali, verranno ricaricati durante la notte nel deposito. Per maggiore comodità e risparmio di spazio i caricatori ad alta potenza saranno installati sul tetto del deposito Hamburger Hochbahn AG. Una soluzione completa.

Questo investimento segue le iniziative del Senato di Amburgo che chiedono agli operatori di trasporto di acquistare solo autobus a emissioni zero e completamente elettrici dal 2020 in poi e fa parte dell'agenda ambientale più ampia della Germania, che ha nominato Amburgo come una delle prime città a

impegnarsi per la piena elettrificazione di la sua flotta di autobus.

### CASO ITALIANO CON RICARICA A DEPOSITO.

Elettrificazione di un deposito con 15 stazioni di ricarica "all in one" da 120 kW ciascuna, in grado di ricaricare un E-Bus a piena potenza o contemporaneamente due E-Bus fino a 60 kW ciascuno in corrente continua con standard CCS Combo 2. L'impianto è predisposto per una successiva integrazione delle stazioni di ricarica con un sistema di accumulo containerizzato e Plug&Play con una capacità di circa 300 kWh e un sistema di controllo per supportare la ricarica dei veicoli anche nei periodi di punta in cui si supererebbe la potenza massima prelevabile dalla rete elettrica. L'integrazione con il sistema di accumulo potrà consentire inoltre il riutilizzo delle batterie a fine vita ed eventualmente di massimizzare l'autoconsumo in caso di integrazione con un impianto fotovoltaico. La funzionalità di ricarica in parallelo di due veicoli in corrente continua permette di ottenere numerosi vantaggi, quali:

- riduzione degli spazi di installazione delle stazioni di ricarica, ottimizzando la superficie occupata nel deposito per singolo punto di carica;
- riduzione dei lavori di installazione e delle opere civili relative alla predisposizione delle fondazioni e agli scavi di ciascuna stazione;
- ottimizzazione dei costi dell'infrastruttura elettrica di alimentazione dei veicoli.



# Il quadro normativo

## PNIEC

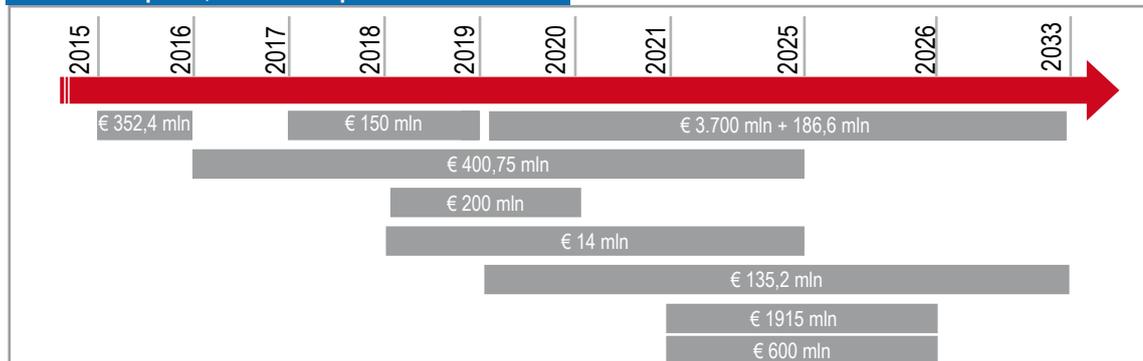
«Ci si propone di accelerare quanto previsto al comma 10 dell'articolo 18 del D.lgs. 257/2016, prevedendo che le Pubbliche Amministrazioni, gli Enti e le Istituzioni da esse dipendenti o controllate, le Regioni, gli Enti locali e i gestori di servizi di pubblica utilità, per le attività svolte nelle province ad alto inquinamento di particolato PM10, al momento della sostituzione del rispettivo parco autovetture, autobus e mezzi di servizio di pubblica utilità [...] siano obbligati all'acquisto di almeno il 30% entro il

2022, il 50% entro il 2025 e l'85% entro il 2030 di veicoli elettrici e veicoli ibridi con ricarica esterna, a metano e a idrogeno, nonché elettrici o metano nel caso degli autobus.»

## PNRR

L'Unione Europea ha risposto alla crisi pandemica con il Next Generation EU (NGEU), un programma di portata e ambizione inedite, che prevede investimenti e riforme per accelerare la transizione ecologica e digitale, migliorare la formazione delle lavoratrici e dei lavoratori

### Rinnovo del parco, i fondi a disposizione



<p><b>FONDO BUS</b></p> <p>Il DM 345/2016 ripartisce fra le Regioni risorse statali (Legge di Stabilità 2016) pari a 352,4 milioni di euro per gli anni 2015 e 2016.</p> <p>Con il DM 25/2017 sono stati collocati 150 milioni di euro per il triennio 2017-19, previsti anch'essi dalla Legge di Stabilità 2016.</p>	<p><b>FONDO DI SVILUPPO E COESIONE</b></p> <p>Con la Delibera CIPE 54/2016, è previsto l'impegno di 200 milioni di euro per l'acquisto di autobus per il tpl. L'80% è destinato alle Regioni del Mezzogiorno.</p> <p>Con due successive delibere CIPE (98/2017 e 12/2018) è stato previsto l'ulteriore stanziamento rispettivamente di 400,75 mln e 14 mln.</p>	<p><b>FONDO AMM. CENTR.</b></p> <p>Esiste poi un altro fondo Amministrazioni Centrali da 135,2 milioni di euro previsti con la legge 145/2018 per il periodo 2019/2033.</p>	<p><b>PSNMS</b></p> <p>La dotazione finanziaria stanziata con la legge di bilancio 2017 e ripartita secondo le linee di indirizzo definite dal Piano Strategico Nazionale della Mobilità Sostenibile (PSNMS) ammonta complessivamente a 3,7 miliardi di euro, al netto delle quote di cofinanziamento (pari al 20% per bus elettrici e pari al 30% per i bus a metano).</p> <p>La dotazione è stata poi ulteriormente incrementata con 186,6 mln di euro.</p>	<p><b>PNRR</b></p> <p>Il PNRR, attraverso il decreto del MIMS n°530 del 23/12/2021, definisce un fondo pari a €1915 milioni di euro per il rinnovo del parco autobus regionale per il trasporto pubblico con veicoli a combustibili puliti, per il periodo 2021/2026.</p>	<p><b>Investimenti Complementari</b></p> <p>Il Piano nazionale per gli investimenti complementari prevede ulteriori 600 milioni di euro per il rinnovo della flotta destinati all'acquisto di autobus e relative infrastrutture di alimentazione, adibiti al trasporto pubblico extraurbano e suburbano. Con il Decreto Ministeriale 315 del 2/08/2021 i contributi sono stati assegnati ai soggetti beneficiari.</p>
---	---	---	---	---	---

Fonte: rielaborazione PTV Group da dati CDP - MIT

e conseguire una maggiore equità di genere, territoriale e generazionale. L'Italia è la prima beneficiaria, in valore assoluto, dei due principali strumenti del NGEU: il Dispositivo per la Ripresa e Resilienza (RRF) e il Pacchetto di Assistenza alla Ripresa per la Coesione e i Territori d'Europa (REACT-EU).

Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), definitivamente approvato in sede europea il 13 luglio 2021 con Decisione di esecuzione del Consiglio, nell'ambito della "Missione 2: Rivoluzione verde e transizione ecologica", prevede la componente (M2C2), "Energia rinnovabile, idrogeno, rete e mobilità sostenibile" con risorse pari a 23,78 miliardi di euro.

La misura relativa agli investimenti per il rinnovo della flotta con autobus a basso impatto ambientale avviene accelerando l'attuazione del Piano Strategico Nazionale per la Mobilità Sostenibile (PSNMS) e prevede il progressivo rinnovo degli autobus per il trasporto pubblico locale e la realizzazione di infrastrutture di ricarica dedicate. In particolare, è previsto l'acquisto entro il 2026 di circa 3.000 bus a basse emissioni.

La misura M2C2 – 4.4.1 del PNRR assegna oltre 2,4 miliardi di euro per il rinnovo del parco autobus regionale per il trasporto pubblico con veicoli a combustibili puliti, per il periodo 2021–2026. Con decreto del Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili n°530 del 23/12/2021 sono state ripartite le risorse del PNRR – misura M2 C2 –4.4 "Rinnovo flotte bus e treni verdi" sub investimento 4.4.1 "Bus"

pari complessivamente a €1,915 miliardi.

Le risorse sono destinate all'acquisto di autobus ad emissioni zero con alimentazione elettrica o ad idrogeno e alla realizzazione delle relative infrastrutture di supporto, nei comuni capoluogo di città metropolitana, nei comuni capoluogo di regione o di province autonome e nei comuni con alto tasso di inquinamento da PM10 e biossido di azoto.

In particolare, sono previsti traguardi intermedi, pena la revoca delle contribuzioni, ai soggetti beneficiari è richiesto complessivamente:

- di acquistare almeno 717 autobus ad alimentazione elettrica o ad idrogeno entro il 31 dicembre 2024;

- l'entrata in servizio di almeno 2.690 autobus ad alimentazione elettrica o ad idrogeno, comprensivi della quantità intermedia suddetta, entro il 30 giugno 2026.

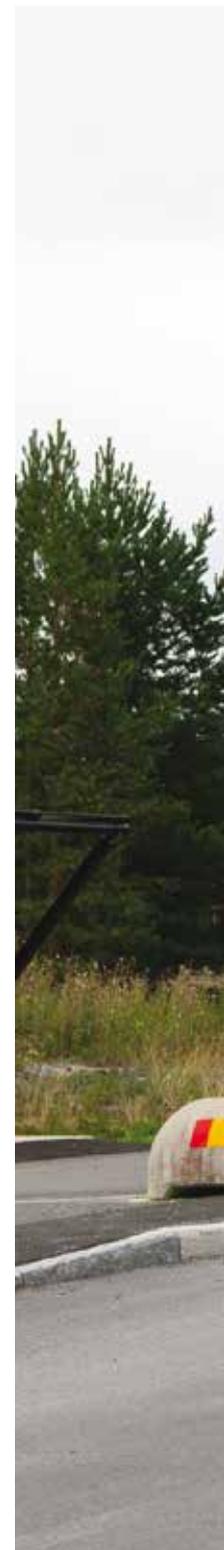
### **Piano nazionale per gli investimenti complementari**

Il PNRR è affiancato dal Piano nazionale per gli investimenti complementari che prevede ulteriori 600 milioni di € di investimenti per il rinnovo della flotta destinati all'acquisto di autobus ad alimentazione a metano, elettrica o ad idrogeno e relative infrastrutture di alimentazione, adibiti al trasporto pubblico extraurbano e suburbano. Con il Decreto Ministeriale 315 del 2 Agosto 2021 i contributi sono stati assegnati ai soggetti beneficiari.

Le risorse del PNRR andranno così ad acce-

---

**L'integrazione con il sistema di accumulo potrà consentire inoltre il riutilizzo delle batterie a fine vita ed eventualmente di massimizzare l'autoconsumo in caso di integrazione con un impianto fotovoltaico.**







**L'elettificazione del parco autobus rappresenta un processo nuovo, complesso, che richiede delle competenze specifiche ad oggi non sempre presenti all'interno della pubblica amministrazione e delle società di trasporto pubblico locale.**



lerare gli obiettivi di rinnovo del parco mezzi definiti dal Piano strategico nazionale della mobilità sostenibile.

### PSNMS

Con Decreto del Presidente del Consiglio dei ministri del 17 aprile 2019 è stato approvato il Piano Strategico Nazionale della Mobilità Sostenibile previsto dall'articolo 1, commi 613- 615, della legge n. 232/2016 (legge di bilancio 2017). Il Piano è destinato al rinnovo del parco degli autobus dei servizi di trasporto pubblico locale e regionale, alla promozione e al miglioramento della qualità dell'aria con tecnologie innovative nonché al finanziamento delle infrastrutture per la ricarica dei veicoli elettrici in linea con gli accordi internazionali e con le disposizioni normative della Unione Europea.

Il provvedimento stanziava complessivamente circa 3,7 miliardi di euro, definendo così le scelte per il rinnovo del parco mezzi su gomma al 2033, i criteri per l'utilizzo delle risorse, le quote di co-

finanziamento statale in relazione alle tecnologie di alimentazione e al tipo di servizio svolto.

La ripartizione delle risorse è destinata a 3 diversi soggetti beneficiari:

1. le Regioni (2,2 mld di euro)
2. i Comuni capoluogo delle Città metropolitane e di Comuni capoluogo delle Province ad alto inquinamento (398 mln di euro);
3. i Comuni e città metropolitane con più di 100.000 abitanti (1.1 mld di euro).

Per l'attuazione del Piano strategico nazionale della mobilità sostenibile (PSNMS) e il riparto delle risorse sono stati quindi pubblicati tre decreti interministeriali relativi ai tre soggetti beneficiari:

1. Regioni: Decreto interministeriale (Mit-Mise-Mef) del 14 febbraio 2020, n. 81, per l'attuazione del Piano strategico nazionale della mobilità sostenibile (PSNMS), ai sensi dell'articolo 1, commi 613-615, della legge 11 dicembre 2016, n. 232 (Legge di bilancio 2017) e del DPCM 17 aprile 2019.
2. Comuni Capoluogo: Decreto interministeriale (Mit-Mise-Mef) del 6 giugno 2020, n.234, recante "Riparto delle risorse previste dall'articolo 3 del DPCM 17 aprile 2019 alle Città ad alto inquinamento", per il finanziamento di progetti di mobilità sostenibile coerenti con i "Piani Urbani della Mobilità Sostenibile – PUMS nella filiera dei mezzi di trasporto pubblico su gomma
3. Comuni e città metropolitane con più di 100.000 abitanti: Decreto Interministeriale (Mit-Mise-Mef) del 09/02/2021, n. 71, "Piano strategico nazionale mobilità sostenibile (PSNMS) - "Riparto delle risorse previste dall'articolo 4 del DPCM 17 aprile 2019 relativo alle città metropolitane e comuni superiori ai 100.000 abitanti".

Le Modalità di erogazione, rendicontazione e monitoraggio delle risorse sono state poi disciplinate dai:

1. Decreto Ministeriale 134 del 2021
2. Decreto Ministeriale 175 del 2021
3. Decreto Ministeriale 287 del 2021

### FONTI:

- <https://www.mit.gov.it/normativa>
- SCENARI E PROSPETTIVE DELL'ELETTRIFICAZIONE DEL TRASPORTO PUBBLICO SU STRADA – Enel Foundation/ Università Bocconi

**«L'assunzione di politiche più ambiziose e incisive volte ad una transizione verso un sistema di trasporti e di mobilità sostenibile, promuovendo in particolare l'elettrificazione dei consumi, è riconosciuta non solo a livello italiano ma anche a livello europeo come leva fondamentale del processo di decarbonizzazione e di lotta ai cambiamenti climatici»**



**MOTUS-E** è la prima associazione in Italia costituita da operatori industriali, filiera automotive, mondo accademico e movimenti di opinione per fare sistema e accelerare il cambiamento verso la mobilità elettrica.