

## SCENARI E PROSPETTIVE DELL'ELETTTRIFICAZIONE DEL TRASPORTO PUBBLICO SU STRADA

Un'innovativa analisi di benchmark:  
Il TCRO - Total Cost and Revenues of Ownership

Metodologia e risultati per l'Italia

**Il presente studio è stato elaborato da un'equipe di ricerca del GREEN - Università Bocconi coordinata da Oliviero Baccelli con i ricercatori Claudio Brenna, Gabriele Grea e Antonio Sileo e Carlo Papa di Enel Foundation. Hanno contribuito allo studio anche Mirko Armiento (Enel Foundation) e Ignazio Cordella (Enel X).**



Università  
Bocconi

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

16 Novembre 2021

# Indice della presentazione

- 1. CONTESTO E OBIETTIVI GENERALI DELLA RICERCA**
- 2. LE COMPONENTI DEL TCRO, LE FONTI UTILIZZATE**
- 3. LE POLICY IN GRADO DI CONDIZIONARE GLI SCENARI**
- 4. LE SPECIFICITÀ DEL CONTESTO DI POLICY E DI MERCATO DEL CASO ITALIANO**
- 5. I PARAMETRI DI RIFERIMENTO E LE ASSUNZIONI PER L'ANALISI DI BENCHMARK DEL TCRO**
  - Il caso delle motorizzazioni diesel
  - Il caso delle motorizzazioni CNG-LNG e biometano
  - Il caso delle motorizzazioni ad idrogeno
  - Il caso delle motorizzazioni elettriche
- 7. LA DEFINIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO TCO / TCRO**
- 8. I RISULTATI AL 2021, 2025 E 2030**
- 9. LE ANALISI DI SENSITIVITÀ SULLE DISTANZE MEDIE PERCORSE**
- 10. LA POLICY AND MARKET READINESS DELL'ITALIA NEL CONTESTO INTERNAZIONALE**
- 11. CONCLUSIONI**



# Contesto della ricerca e obiettivi generali

- L'incremento di efficienza del sistema di trasporto pubblico locale (TPL) e il miglioramento della qualità dell'aria sono due obiettivi strategici delle policies prioritarie a livello europeo, nazionale e nelle principali aree metropolitane su scala mondiale, che hanno sottoscritto anche accordi volontaristici (e.g. C40).
- L'analisi è di benchmark fra Paesi e fra differenti modelli gestionali e alternative di alimentazione al fine di comprendere gli scenari e le prospettive dell'elettrificazione del trasporto pubblico su strada al 2021, al 2025 e al 2030 in logica "Total costs and revenues of ownership" (TCRO).
- I risultati supporteranno le scelte strategiche degli operatori nelle fasi di investimento e gestione del servizio e orienteranno le politiche di investimento e di gestione dei contributi pubblici da parte degli enti appaltanti i contratti di servizio nel settore del TPL.
- Nella logica di avere una visione sistemica, saranno evidenziati anche gli elementi esterni al contesto di mercato che possono incidere sulle scelte strategiche al di fuori delle pure logiche di TCRO, dettagliando nelle analisi anche i potenziali vincoli e opportunità derivanti da:
  - **Policy:** obblighi di acquisto per regolamenti o normative o per scelte strategiche degli azionisti delle imprese di TPL (ad esempio, Enti pubblici con specifiche sensibilità su aspetti di sostenibilità).
  - **Tecnologici:** costi di investimento infrastrutturali necessari per lo sviluppo di nuove motorizzazioni (ricariche, depositi, etc), che richiedono economie di scala e disponibilità di spazi adeguati non sempre disponibili (ad esempio per accogliere depositi o impianti per i carburanti alternativi).
  - **Organizzativi:** caratteristiche specifiche delle linee (profili altimetrici, lunghezze o contesto climatico).



# Le componenti del TCRO

| COMPONENTI DI COSTO AZIENDALE  |  |
|--|--|
| <i>Costi di investimento</i>   | <i>Costi operativi</i>                       |
| Costo 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            |
| COMPONENTE DI RICAVI AZIENDALE   |  |
| <i>Ricavi da vendita assets</i>  | <i>Ricavi da servizi alla rete elettrica</i> |
| Valorizzazione a fine vita delle batterie  | Bus2Grid                                     |
| COMPONENTE DI COSTO PER LA COLLETTIVITÀ  |  |
| Esterneità ambientali: inquinanti locali, gas-climalteranti, rumore                    |  |

Fonte: Elaborazione EF e GREEN su info da Grauers et al. (2020), World Bank (2019) e TOI - Institute of Transport Economics (2018)

Le esternalità ambientali non sono state economicamente valorizzate, in quanto richiedono specifiche analisi di approfondimento e non oggetto di questo studio. Nel caso in cui nelle analisi di confronto fra motorizzazioni venissero inserite le valorizzazioni economiche delle esternalità ambientali, i vantaggi economici dall'utilizzo di motorizzazioni elettriche sarebbero superiori e le soglie di convenienza verrebbero raggiunte con kilometraggi inferiori rispetto a quanto qui indicato. In sintesi, **la valorizzazione economica delle esternalità porterebbe sicuramente ad anticipare la convenienza di motorizzazioni climate-friendly**, come quelle elettriche.

Un altro elemento potenzialmente significativo in termini di riduzione dell'investimento infrastrutturale e dei costi di consumo dei bus elettrici è rappresentato dall'adozione dei sistemi di Smart Charging che permettono di limitare la potenza impegnata a deposito e pertanto l'investimento per la connessione elettrica ed il costo della componente energia.

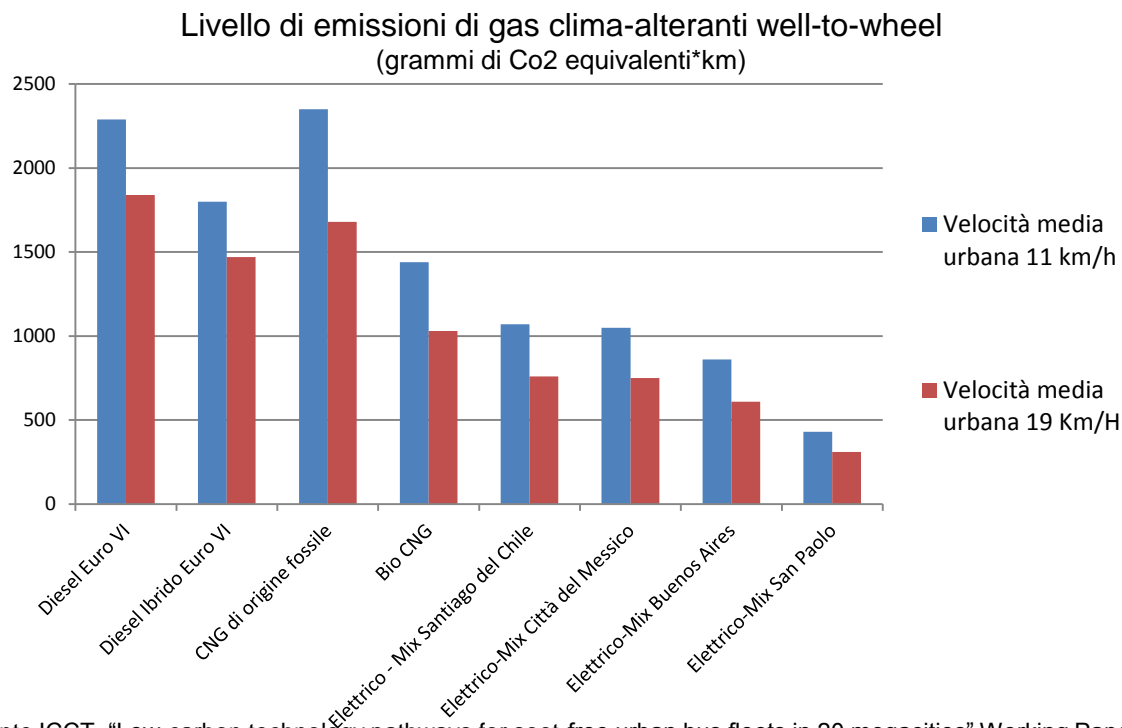


# Le differenti emissioni delle motorizzazioni oggetto delle analisi di benchmark

Le emissioni di gas climalteranti well-to-wheel dei bus con differenti motorizzazioni dipendono da numerosi fattori, fra cui la velocità media e il mix energetico di alimentazione della rete elettrica di riferimento. **Gli e-bus evidenziano un livello di emissioni di CO2 fra il 50 e l'80% inferiori rispetto ai bus diesel ibridi.** Anche i livelli di emissioni di inquinanti locali e di rumore sono molto inferiori.

NB molte imprese di TPL alimentano la propria rete con **solo fonti rinnovabili certificate**, come nel caso di ATM a Milano e GTT a Torino, **ampliando ulteriormente il differenziale di emissioni rispetto alle motorizzazioni endotermiche.**

In questo caso, se si passa da bus alimentato a combustibile fossile Euro VI ad autobus full electric si risparmiano 22.500 litri di gasolio e l'emissione di 58,5 tonnellate di CO2 all'anno.



# Le fonti utilizzate, i modelli e le motorizzazioni oggetto delle analisi di benchmark

Le **fonti di natura metodologica** sono i rapporti di ricerche europee (DG MOVE, EBRD), di organismi internazionali (World Bank, ICCT, ITF-OECD) Global Sustainable Electricity Partnership), oltreché articoli provenienti dalla letteratura scientifica che permettono di declinare in modo puntuale la definizione generale del TCO e del concetto di TCRO (revenues derivanti da B2G e dalla valorizzazione economica della second life of the batteries).

I **dati di input puntuali** per la ricerca, relativi ai parametri di costo a vita intera e alle variabili chiave in grado di condizionarne i valori specifici, saranno basati sulla disponibilità di informazioni pubbliche provenienti da analisi di settore (e.g. UITP), ricerche di natura scientifica, bilanci aziendali, esiti di bandi di gara pubblici (esempio gare CONSIP, gare GTT, ATAC, TPER, ATM), approfondimenti tecnici con le imprese costruttrici e, per il mercato italiano, anche attraverso il confronto con gli operatori.

Le **motorizzazioni** analizzate nei tre contesti temporali (2021, 2025 e 2030) sono le seguenti:

- Diesel
- CNG-LNG e biometano
- Elettrica
- Idrogeno



# Le policy europee e nazionali in grado di incidere sulle scelte degli operatori di TPL in tema di motorizzazioni dei bus al 2025 e al 2030

| POLITICHE EUROPEE E TEMPISTICA DI RIFERIMENTO                          | OBBLIGO DI ACQUISTO DI BUS NON ENDOTERMICI (*) | INCREMENTO DEL COSTO DI ACQUISTO DEI BUS ENDOTERMICI | INCREMENTO DEI COSTI DI GESTIONE DEI BUS ENDOTERMICI | RIDUZIONE DEI COSTI DEI BUS A BATTERIE |
|--|--|--|--|--|
| Direttiva UE Clean Vehicle (in modo progressivo dal 2021)              |  |  |  |  |
| Proposta di Direttiva UE Euro VII (dal 2026)                           |  |  |  |  |
| Proposta di Direttiva Fuel Quality (dal 2026)                          |  |  |  |  |
| Proposta di Regolamento sulle batterie (dal 2023)                      |  |  |  |  |
| POLITICHE ITALIANE E E ARCO TEMPORALE DI RIFERIMENTO                   |  |  |  |  |
| Piano Nazionale Mobilità Sostenibile (dal 2019)                        |  |  |  |  |
| Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (dal 2020)                   |  |  |  |  |
| Piano Nazionale Resilienza e Rilancio e Piano Complementare (dal 2021) |  |  |  |  |
| Normativa Bus2Grid (dal 2022)  |  |  |  |  |

Fonte: Elaborazione GREEN

Il livello di intensità del colore utilizzato per lo sfondo della casella identifica la rilevanza dell'intervento, con tre diversi livelli:

- Molto rilevante: cioè in grado di modificare le scelte degli operatori per una quota della flotta di bus superiore al 20%
- Rilevante, cioè in grado di modificare le scelte degli operatori per una quota della flotta di bus compresa fra il 10 e il 20%
- Poco rilevante, cioè in grado di modificare le scelte degli operatori per una quota della flotta di bus inferiore al 10%.

(\*) Autobus Low emission (LEV) o Zero Emission (ZEV)



# La mobilità urbana sostenibile nel PNMS, nel PNIEC e nel Foundation

## PNRR

L'elettrificazione completa delle flotte di TPL, o di una parte importante di esse, costituisce un contributo importante al raggiungimento dei due obiettivi di efficientamento e di sostenibilità, come evidenziato anche in Italia dal **Piano Strategico Nazionale per la Mobilità Sostenibile (PSNMS)** del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 2019 e dai **Piani Urbani per la Mobilità Sostenibile (PUMS)** di diverse fra le principali città italiane, fra cui Milano e di Torino.

Per le città a maggior inquinamento, calcolato sulla base del numero di giorni all'anno in cui il livello di particolato PM10 è superiore ai limiti indicati dalle direttive europee, il **Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC)** prevede un obbligo da parte di alcune amministrazioni pubbliche di acquisto di autobus elettrici o a metano **in modo accelerato rispetto alle direttive comunitarie**. In particolare entro il 2022, il 30% degli acquisti per rinnovo delle flotte bus per i servizi urbani deve appartenere a queste tipologie di mezzi. La quota sale al 50% al 2025 e all'85% al 2030.

Anche nel **Piano Nazionale Ripresa e Resilienza (PNRR)** del 2021 è indicata chiaramente una misura relativa agli investimenti per il rinnovo della flotta con autobus a basso impatto ambientale, che prevede fra il 2022 e il 2026 un investimento di 2,415 mld di Euro finanziato attraverso prestiti avviene accelerando l'attuazione del PSNMS e prevede il progressivo rinnovo degli **autobus per il TPL** (1.788,26 milioni di Euro di cui circa un terzo per le tre principali città italiane) e la realizzazione di **infrastrutture di ricarica dedicate** (627,7 milioni di Euro) con l'acquisto entro il 2026 di circa 3.360 bus a basse emissioni (elettrico o idrogeno, valorizzati ad un costo medio di 550.000 Euro per mezzo).

In particolare 1,095 mld di Euro sono dedicati al TPL full electric e 1,4 mld ad autobus innovativi ad emissioni zero



# Gli investimenti previsti dal PNRR e dal piano complementare

Il PNRR è affiancato dal **Piano nazionale per gli investimenti complementari**, che prevede, sulla base del Decreto Ministeriale 315 del 2 Agosto 2021 del MIMS, ulteriori 600,67 milioni di Euro di investimenti per il rinnovo della flotta di autobus extraurbani e suburbani più ecologici, alimentati a metano, elettrica, ad idrogeno e relative infrastrutture, con la possibilità di destinare il 15% delle risorse assegnate alla riconversione a gas naturale dei mezzi a gasolio euro 4 e euro 5, ai sensi di quanto previsto dall'articolo 1 comma 866 della Legge 28 dicembre 2015 n° 208 e s.m.i

## Gli investimenti previsti dal PNRR e dal Piano complementare per il rinnovo della flotta bus e per le infrastrutture in Italia

| TIPOLOGIA DI FONTE DI FINANZIAMENTO | 2022   | 2023   | 2024   | 2025   | 2026     | NOTE  |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|----------|---|
| <b>PNRR</b>                         | 50     | 125    | 640    | 700    | 900      | Dedicato per il 26% alle infrastrutture e 74% ai mezzi e di questi il 56% è specificamente dedicato alle principali aree metropolitane. In particolare 1,095 mld di Euro sono dedicati al TPL full electric e 1,4 mld ad autobus innovativi ad emissioni zero |
| <b>Piano complementare</b>          | 62,12  | 80,74  | 159,01 | 173,91 | 124,22   | Solo per la flotta di bus extraurbani e suburbani, alimentati a metano, elettrica, ad idrogeno e per una quota massima del 15% a GNL. Per il 50% dedicato alle regioni del Sud Italia.  |
| <b>Totale</b>                       | 112,12 | 205,74 | 799,01 | 873,91 | 1.024,22 |   |

Fonte: Elaborazione GREEN su dati del PNRR e Piano Complementare, Settembre 2021

Per lo sviluppo delle competitività della filiera industriale dedicata ai bus elettrici sono previsti investimenti fra il 2021 e il 2026 pari a 300 milioni di Euro.

**La somma degli investimenti per la flotta (2,4 mld di Euro), per le infrastrutture (627,7 mln) e per lo sviluppo della filiera dei bus elettrici in Italia (300 mln) fra il 2021 e il 2026 prevista dal PNRR e dal piano complementare è pari a 3,32 mld di Euro.**



# I parametri di riferimento e le assunzioni principali

La durata del ciclo di vita dei bus in Italia è legata anche ai regolamenti dei soggetti finanziatori (Ministero e Regioni), che tipicamente indicano in 12 anni, sebbene per alcune motorizzazioni (BEV e H2) è prevedibile una vita utile rispettivamente di 15 e di 14 anni.

Non vengono considerati elementi di differenziazione rispetto ai volumi del lotto di acquisto, ipotizzando che le evoluzioni dei modelli di finanziamento e di acquisto siano omogenei grazie a centrali di acquisto (e.g. Consip) o lotti sufficienti per attivare economie di scala nella produzione.

Non si considerano differenziazioni fra le motorizzazioni per alcune tipologie di OPEX in quanto sono minimali e si compensano fra le diverse motorizzazioni (e.g. costi di assicurazione, tasse di circolazione o costi di consumi dei pneumatici).

I km medi per modello di mezzo, sulla base delle indicazioni dei bandi di gare (Consip, GTT, ATM e altri):

- 8 metri: 45.000 km annui (per necessità di sintesi i risultati di dettaglio di questo caso non sono qui esposti)
- 12 metri: 55.000 km annui
- 18 metri: 60.000 km annui (per necessità di sintesi i risultati di dettaglio di questo caso non sono qui esposti)

Necessità di sostituzione del pacco batterie nel caso di mezzi BEV e H2 all'ottavo anno.

Necessità di effettuare il revamping del mezzo nel caso di mezzi con motori endotermici al decimo anno, ad un costo medio di 40.000 Euro per autobus da 8 metri, 50.000 Euro per mezzi da 12 metri e 70.000 Euro per mezzi da 18 metri.



# Motorizzazione diesel

## ACQUISTO

| Lunghezza | 2021      |   | 2025      |   | 2030      |   |
|-----------|-----------|---|-----------|---|-----------|---|
|           | Costo     | Fonti   | Costo     | Fonti   | Costo     | Fonti   |
| 8 m       | 163.350 € | Gara ATAC 19/02/20. Coerente con gara Consip 2021 | 170.350 € | Elaborazione GREEN su dati ATAC e stime ICCT 2021                                 | 169.350 € | Elaborazione GREEN su dati ATAC e stime ICCT 2021   |
| 12 m      | 223.779 € | Gara Consip 12/05/17                              | 230.779 € | Elaborazione GREEN su dati Consip e stime ICCT 2021. Coerente con gara ATAC 44/19 | 229.779 € | Elaborazione GREEN su dati Consip e stime ICCT 2021 |
| 18 m      | 335.564 € | Gara Consip 12/05/17                              | 342.564 € | Elaborazione GREEN su dati ATAC e stime ICCT 2021                                 | 341.564 € | Elaborazione GREEN su dati ATAC e stime ICCT 2021   |

Le stime al 2025 e 2030 considerano la migrazione verso le motorizzazioni ibrida e mild-hybrid finalizzata al rispetto delle normative EuroVII

## MANUTENZIONE

| Lunghezza | 2021         |  | 2025         |  | 2030         |  |
|-----------|--------------|--|--------------|--|--------------|--|
|           | Costo (€/Km) | Fonti  | Costo (€/Km) | Fonti  | Costo (€/Km) | Fonti  |
| 8 m       | 0,21         | Elaborazione GREEN su dati Consip, Cotral                  | 0,22         | Elaborazione GREEN su dati Atac e ICCT             | 0,22         | Elaborazione GREEN su dati Atac e ICCT             |
| 12 m      | 0,35         | Elaborazione GREEN su dati Consip, Cotral, Motus-E, Copper | 0,38         | Elaborazione GREEN su dati Atac e ICCT             | 0,38         | Elaborazione GREEN su dati Atac e ICCT             |
| 18 m      | 0,46         | Elaborazione GREEN su dati Consip, ATM e GTT               | 0,50         | Elaborazione GREEN su dati Consip, ATM, GTT e ICCT | 0,50         | Elaborazione GREEN su dati Consip, ATM, GTT e ICCT |



# Motorizzazione diesel

## CONSUMI

| Lunghezza | Motorizzazione | Range consumo (Km/l) | Consumo medio (Km/l) | Rif.                    |
|-----------|----------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| 8 m       | Diesel         | 2,67 - 3,11          | 3,06                 | GTT, AMT                |
| 12 m      | Diesel         | 2,04 - 3,12          | 2,42                 | RSE, GTT, UITP, TT, C40 |
| 12 m      | Ibrido         | 2,39 - 3,45          | 2,85                 | RSE, UITP, TT           |
| 18 m      | Diesel         | 1,41 - 1,68          | 1,54                 | GTT, TT, C40            |

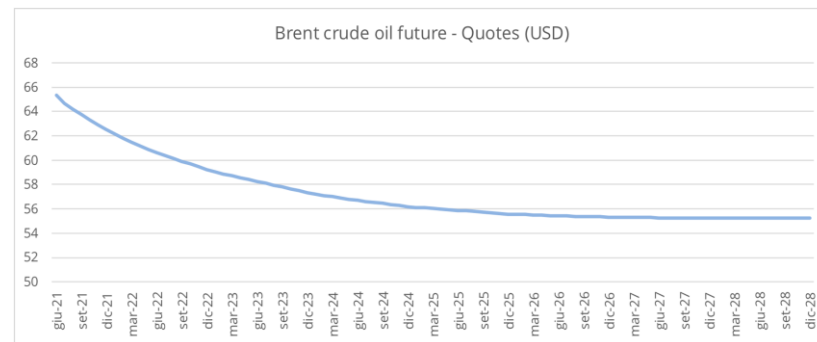
## COSTO DEL CARBURANTE E SUA EVOLUZIONE

- Prezzo del diesel al 2021: 1€/l

(prezzo lordo a maggio 2021: 1,448€/l, al netto di IVA e rimborso accise: 0,98€/l)

- Evoluzione: -10/15% al 2025

*In coerenza con i futures sul Brent e WTI (considerato un prudenziale -10%), benché in parziale contrasto con alcune proiezioni che paiono non apprezzare adeguatamente gli impatti dal lato della domanda*



## COSTO OPERATIVO CARBURANTE

Due effetti di riduzione al 2025:

- Riduzione prezzo petrolio (-10%)
- Riduzione consumi per migrazione all'ibrido (-18%)

| Costo esercizio - carburante (€/Km) |      |      |      |
|-------------------------------------|------|------|------|
| Lunghezza                           | 2021 | 2025 | 2030 |
| 8 m                                 | 0,33 | 0,23 | 0,23 |
| 12 m                                | 0,41 | 0,32 | 0,32 |
| 18 m                                | 0,65 | 0,45 | 0,45 |



# Il caso delle motorizzazioni CNG-LNG e biometano

## I CAPEX AL 2021

- 12 metri CNG 230.000 Euro
- 12 metri LNG 258.065 Euro
- 18 metri CNG 380.000 Euro, non presenti con alimentazione LNG
- Nessuna variazione nel caso di utilizzo di biometano tal qual o miscelato

## GLI OPEX AL 2021

Costi di manutenzione full-service 12 metri: CNG 0,375 €/km, LNG: 0,375 €/km, 18 metri: 0,493 €/km (Fonte elaborazioni su operatori e RSE)

Costo del carburante CNG 0,36 €/km e 0,43 €/km, rispettivamente per 12 e 18 metri, al netto del parziale rimborso delle accise: 0,6 Euro per kg (Fonte ANAV, et al.)

## I TREND IN GRADO DI INCIDERE SUL TCO AL 2025 E AL 2030

- Lecito attendersi per rispondere alle sempre più restrittive norme ambientali (Direttiva qualità carburanti ed Euro VII) un crescente ricorso al biometano.
- Tra le evoluzioni già disponibile in versione 12 metri l'ibrido CNG acquistato da TPER a 279.900,00 € (ricambi inclusi).
- Da segnalare un possibile effetto lock-in per aziende (e amministrazioni) che hanno scelto il metano, rafforzato dall'approccio di filiera necessario per la utilizzo virtuoso e conveniente del biometano.



# Il caso delle motorizzazioni ad idrogeno

## I CAPEX AL 2021

Se si tiene conto delle ultime assegnazioni (estere) e dell'esempio italiano di Bolzano per un mezzo da 12 metri ci si attesta intorno agli 670.000 € (a Bolzano l'assegnazione del 2019 è stata di 650.000 € per autobus in versione base più 200.000 € di personalizzazione).

Tante le variabili legati alle infrastruttura di ricarica, tuttavia un'ipotesi commerciale, mutuata dagli USA, per una stazione in grado di rifornire 25 autobus è di 5 milioni di euro. Valore di poco inferiore a quanto unitariamente previsto dal PNRR per la realizzazione di 40 stazioni entro il 2026.

## GLI OPEX AL 2021

Costi di manutenzione full-service (Euro-km, differenziato fra i primi 6 anni di vista e i successivi 6 anni in cui tipicamente aumenta): caso 12 metri.

Consumi di carburante: 12,5 km con un kg H<sub>2</sub> (Fonte: Ballard).

Costo del carburante: 0,80 €/km.

## I TREND IN GRADO DI INCIDERE SUL TCO AL 2025 E AL 2030

- Al 2025 e al 2030 sono attese evoluzioni che potrebbero abbassare il consumo a 7,95 kg/100 km al 2025 e a 7,3 kg/100 km al 2030 in particolare per aumento di efficienza del mezzo, grazie anche una migliore interazione tra batterie e pila a combustibile.
- Tra le evoluzioni possibili da segnalare la possibilità mezzi plug-in così da ottimizzare i vantaggi dei due sistemi di accumulo (fuel cell e batterie) e ridurre l'oneroso consumo di H<sub>2</sub>.



# Il caso delle motorizzazioni elettriche

## I CAPEX AL 2021 - Stima dei costi dei bus elettrici di 8 e 12 con batteria LFP e NMC per il 18 metri (in Euro)

Le stime dei costi al 2025 e al 2030 sono state sviluppate secondo i seguenti fattori:

- Al 2025 si stima che il costo della batteria si riduca sulla base delle indicazioni successivamente descritte e in parallelo il costo dello chassis si avvicini al costo del bus diesel standard, dimezzando il differenziale di costo presente al 2021.
- Al 2030 il differenziale di costo fra bus diesel e bus elettrico è esclusivamente dovuto al costo della batteria.

NB I capex dei bus 8 e 18 metri al 2021 sono penalizzati dai lotti di bus molto limitati e dal basso livello di competizione fra costruttori (eg vedi gara CONSIP) Le ipotesi prevedono un rapporto di 1:1 per le ricariche in deposito e 1:40 per le infrastrutture a capolinea (solo per i bus 18 metri operanti su linee BRT)

## Stima dei costi dei bus elettrici di 8, 12 e 18 metri con batteria LFP (in Euro)

| TIPOLOGIA DI BUS | CAPACITÀ DELLE BATTERIE | 2021    | 2025    | 2030    |
|------------------|-------------------------|---------|---------|---------|
| 8 metri          | 200 KWh                 | 390.000 | 260.000 | 136.000 |
| 12 metri         | 350KWh                  | 440.000 | 332.000 | 273.000 |
| 18 metri         | 550 KWh                 | 690.000 | 520.000 | 480.000 |

Fonte: Elaborazione GREEN su stime e dati di varie fonti (EC 2020, MOTUS-E, Rampini, Vreje Universiteit, BNEF 2020, Seri Industrial 2021)

## Stima dei costi medi per i bus elettrici di 8, 12 e 18 metri (in Euro\*km) dovuti all'utilizzo di specifiche infrastrutture di ricarica

| TIPOLOGIA DI BUS | INFRASTRUTTURA A DEPOSITO | INFRASTRUTTUR E A CAPOLINEA | KM A CICLO DI VITA | 2021  | 2025  | 2030  |
|------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------|-------|-------|-------|
| 8 metri          | 28.000 Euro               |                             | 720.000            | 0,039 | 0,039 | 0,039 |
| 12 metri         | 28.000 Euro               |                             | 880.000            | 0,032 | 0,032 | 0,032 |
| 18 metri         | 28.000 Euro               | 6.600 Euro                  | 960.000            | 0,036 | 0,036 | 0,036 |

Fonti: In valori del modello 12 metri sono derivanti dagli esiti dei bandi di gara di GTT, di TPER e ATM. Inoltre sono stati considerati gli esiti dell'Accordo Quadro Consip per 120 bus urbani con batteria compresa fra i 240KWh e 450KWh e reso pubblico nei dettagli il 6 Settembre 2021



# Il caso delle motorizzazioni elettriche

## GLI OPEX AL 2021 – CONSUMI, SOSTITUZIONE BATTERIE E MANUTENZIONE

**CONSUMI:** Per le stime al 2025 e al 2030 si ipotizza un incremento dell'efficienza del 10% al 2025 e di un ulteriore 10% al 2030, dovuto sia all'alleggerimento del mezzo (miglior rapporto fra peso e batteria e scelte innovative dei materiali della scocca mutuata dal settore aerospaziale) sia a efficientamenti delle performance energetiche, rese possibili grazie al miglioramento del processo di recupero di energia in fase di frenatura.

**BATTERIE PER OVERHAUL e NUOVI MEZZI:** Come previsto dai principali analisti di settore (BNEF, JRC della EC) e dall'industry (e.g. Seri Industrial) la velocità della riduzione dei costi delle batterie è l'elemento principale, insieme all'incremento di autonomia delle batterie e alla riduzione del peso, per la riduzione di uno degli ostacoli alla diffusione dei bus elettrici, sebbene la maggior complessità dei pacchi di batteria dedicati ai bus, per tener conto dell'equilibrio necessario fra peso e volume e necessità di gestire ricariche veloci ad alto voltaggio, non permette di trasferire pienamente questi risparmi nel settore del TPL.

**MANUTENZIONE:** il costo medio del servizio full service di manutenzione per bus di 12 metri (compresa la componentistica e la manodopera) è di circa 11.500 Euro l'anno per i primi 10 anni, corrispondente a 0,21 Euro\*km (valore pari a 0,126 per l'8 metri e 0,280 per il 18 metri) che non muta nei diversi scenari temporali.

### Stima dei consumi medi per i bus elettrici di 8, 12 e 18 metri (in KWh\*km)

| TIPOLOGIA DI BUS | CAPACITÀ DELLE BATTERIE | 2021 | 2025 | 2030 |
|------------------|-------------------------|------|------|------|
| 8 metri          | 200 KWh                 | 0,9  | 0,81 | 0,73 |
| 12 metri         | 350KWh                  | 1,15 | 1,04 | 0,93 |
| 18 metri         | 550 KWh                 | 1,63 | 1,47 | 1,32 |

Fonte: Elaborazione GREEN su stime e dati di varie fonti (ViriCiti, RINA, GTT)

### Stima dei costi delle batterie LFP per i bus elettrici di 8, 12 e 18 metri (in Euro)

| CAPACITÀ DELLE BATTERIE | 2021    | 2025    | 2030   |
|-------------------------|---------|---------|--------|
| 200 KWh                 | 70.000  | 44.000  | 30.000 |
| 350KWh                  | 122.500 | 77.000  | 52.500 |
| 550 KWh                 | 192.500 | 121.000 | 82.500 |

Fonte: Elaborazione GREEN su stime e dati di varie fonti (EC 2020, BNEF 2020, Seri Industrial 2021)



# I trend nel mercato delle motorizzazioni elettriche\*

## I POTENZIALI RICAVI DERIVANTI DALLA VALORIZZAZIONE DELLE BATTERIE (2ND LIFE)

Il valore residuo da considerare nel TCRO da parte delle imprese di TPL deve tener conto di diversi elementi:

- In Europa dei **trend regolatori**, considerando la proposta di Regolamento COM 2020/0353 relativo alle batterie e ai rifiuti di batterie, oltre al più strategico piano di azione della Circular Economy (A New Circular Economy Action Plan for a Cleaner and More Competitive Europe, 2020);
- Evoluzione delle strategie industriali promosse in logica di partnership pubblico privata dall'**European Batteries alliances** anche grazie ad un **investimento europeo di 3,2 mld di Euro** sul tema attraverso **Important Projects of Common European Interest (IPCEI)**, che contribuirà alla **forte riduzione del prezzo delle batterie nuove**, che in tutti gli scenari proposti dai principali analisti è stimato rilevante;
- La **capacità nominale dei pacchi e dei singoli moduli** in quanto maggiori sono questi valori, minore è il costo di processo per kWh prodotto perché alcuni fasi di processo sono meno influenzate dalla grandezza dell'intero pacco (e.g. trasporto, disassemblaggio, testing);
- Il **costo dei nuovi componenti** (e.g. software di battery management system) che tipicamente pesa fra il 30 e il 35% del costo totale di produzione e lo sviluppo di **processi di automazione dei processi di disassemblaggio e assemblaggio**, resa possibile anche da forti sviluppi di innovativi approcci di eco-design (cioè alla progettazione dei pacchi nuovi orientata al successivo riutilizzo);
- La diffusione di **impianti industriali distribuiti sul territorio europeo** che permette una riduzione dei costi di trasporto e una maggior competizione e diversificazione delle iniziative di valorizzazione della seconda vita delle batterie. A livello italiano è previsto un importante impianto da parte di Seri Industrial del nuovo sito produttivo di Teverola (IPCEI dedicato ad applicazioni nei settori Motive Power, Storage, Navale, Militare e specificamente TPL), oltre ai siti di Italtel e di Stellantis, che renderanno **l'Italia fra i principali paesi UE nel settore**.

\*I trend del mercato degli e-bus sono fortemente condizionati dai forti sviluppi attesi su scala mondiale, infatti il report dell'aprile del 2021 MarketsandMarkets " Electric Bus Market by Propulsion (BEV, PHEV & FCEV), Application (Intercity & Intra-city), Consumer Segment (Fleet Operators & Government), Range, Length of Bus, Power Output, Battery Capacity, Component, Battery type & Region", indica un tasso di crescita del 43,1% all'anno per i prossimi 7 anni (valore del CAGR fra il 2021 e il 2027), passando dai circa 81 mila del 2021 ai 704 mila del 2027.



# I trend nel mercato delle motorizzazioni elettriche

## I POTENZIALI RICAVI DERIVANTI DALLA VALORIZZAZIONE DELLE BATTERIE (2ND LIFE)

A livello europeo i progetti pilota dedicati alla valorizzazione delle batterie dei bus sono numerosi, fra cui quelli di:

- Volvo Bus, per un deposito stazionario a Gothenbourg in ambito residenziale;
- Solaris Bus&Coach, (in collaborazione con il National Centre for Research polacco con diverse ipotesi di utilizzazione delle batterie;
- Irizar, in collaborazione con Repsol in Spagna per innovative stazioni di ricarica per auto elettriche;
- Daimler Bus per il recupero dell'energia prodotta in frenata da parte dei tram ad Hannover;
- Aeroporti di Roma ed Enel X per il riutilizzo delle batterie giunte al secondo ciclo di vita a supporto di un campo fotovoltaico.

Sulla base delle informazioni di mercato disponibili relative alla potenziale disponibilità a pagare da parte dei produttori di batterie in grado di ricomporre i pacchi di batterie e di ricostruire il software di battery management system, il valore residuo a partire dal 2025 per l'Italia può essere stimato in **60 Euro per KWh**.

Questo valore è superiore a quanto si stima venga pagato per le batterie di una Nissan Leaf e circa pari al 50% del valore delle batterie nuove stimato al 2030 da parte degli analisti del JRC della Commissione Europea (Fonte: European Copper Institute (2019) e Tsiropoulos (2018), questo perché maggiori sono i valori della capacità nominale dei pacchi e dei singoli moduli, minore è il costo di processo per KWh prodotto poiché alcune fasi di processo sono meno influenzate dalla grandezza dell'intero pacco (es. trasporto, testing e disassemblaggio).

L'utilizzo delle batterie all'interno dei **depositi di bus** può contribuire a valorizzare il concetto che questo asset può divenire un elemento centrale delle reti elettriche urbane sia come produttore, grazie ai pannelli fotovoltaici sul tetto, sia come stabilizzatore della rete, in logica bus2grid.



# I trend nel mercato delle motorizzazioni elettriche

## I POTENZIALI RICAVI E LE RIDUZIONI DEI COSTI DERIVANTI DALLA VALORIZZAZIONE DEL B2G

L'evoluzione delle normative e dei regolamenti relativi al supporto all'apertura del mercato dei servizi di rete agli aggregati di veicoli elettrici, in logica V2G porteranno ad una riduzione dei CAPEX e degli OPEX per gli E-BUS.

Le ipotesi prevedono la partecipazione a **Unità Virtuali Abilitate Miste (UVAM)** per offrire alla rete i seguenti servizi di dispacciamento nella fascia oraria fra le 14 e le 20 quando è stimato essere in deposito in media il 35% della flotta bus di un'impresa di TPL di medio-grandi dimensioni:

- a. risoluzione delle congestioni;
- b. riserva terziaria rotante, nella modalità "a salire" e/o "a scendere";
- c. riserva terziaria di sostituzione, nella modalità "a salire" e/o "a scendere";
- d. bilanciamento, nella modalità "a salire" e/o "a scendere"

In questa prima fase di stima, in via prudenziale, si prevede che **il B2G possa permettere di azzerare i costi di infrastruttura in deposito e generare ricavi annui aggiuntivi pari a 1.054 Euro per bus** (fonte CESI-RSE basata su infrastrutture di ricarica da 50 KW e batterie da 240 KWh) che in questa fase utilizziamo come parametri per i 12 metri. Sulla base delle stime di RSE, questo valore potrebbe salire di molto nel caso di messa a disposizione di una potenza di 100KW e di esenzione parziale degli oneri di sistema e di rete, per l'energia assorbita per il servizio di bilanciamento, portando a possibili ricavi aggiuntivi per singolo bus di 4.215 Euro nel caso di bus con batteria di capacità 240KWh, che nel caso di batteria a 350KWh **potrebbero salire ulteriormente a 6.145 Euro** all'anno.

Queste sono stime del tutto preliminari, in attesa dei risultati del progetto sperimentale di Londra promosso da BYD presso il deposito degli autobus di Go-Ahead London Northumberland Park, oltre ai casi già avviati nel mercato USA.



# La definizione del modello di calcolo TCO / TCRO

## Modello e scenari

- Orizzonte temporale (2021, 2025 e 2030)
- Attualizzazione dei valori monetari (VAN)
- Scenari:
  - Flotta/ Flotta + infrastruttura (considerando tra i benefici hp su second life e bus2grid- B2G)
  - Evoluzione delle tecnologie nelle motorizzazioni in termini di costi e performance
- Variabili chiave per le analisi di sensitività:
  - Percorrenze medie annue
  - Temperature (non rilevante per Italia)
- Eventuale adattamento ai differenti modelli gestionali (per Paese)
- Differenziazione di elementi tecnici e di costo fra i diversi modelli di bus (8, 12 e 18 metri operanti in città metropolitane e su strade urbane)



# Note per la definizione del modello di calcolo TCO/TCRO

## Veicoli

- Per ciascun veicolo considerata vita media e ipotesi overhaul/revamping
- Formule di acquisto (bus + batterie)
- Manutenzione benchmark full service

## Infrastruttura

- Tipologie di ricarica e/o gestione di nuovi depositi di carburante
- Benchmark e valori sintetici (e.g. numero di charger per bus/linee)

## Dal TCO al TCRO

- Ipotesi per la valorizzazione della battery second life
- Ipotesi per la valorizzazione del B2G

I valori delle componenti di TCO e TCRO OPEX dipendono sia dalle dimensioni dei veicoli considerate che dalle differenti ipotesi di chilometraggio annuo per 8, 12 e 18 metri, come riportato nelle tabelle delle fonti (e.g. la componente BUS del full electric 8 metri risulta superiore rispetto a quella del 12 metri).

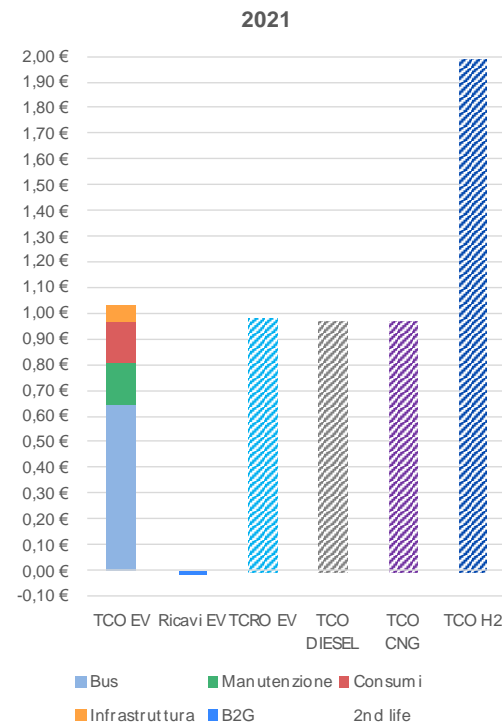
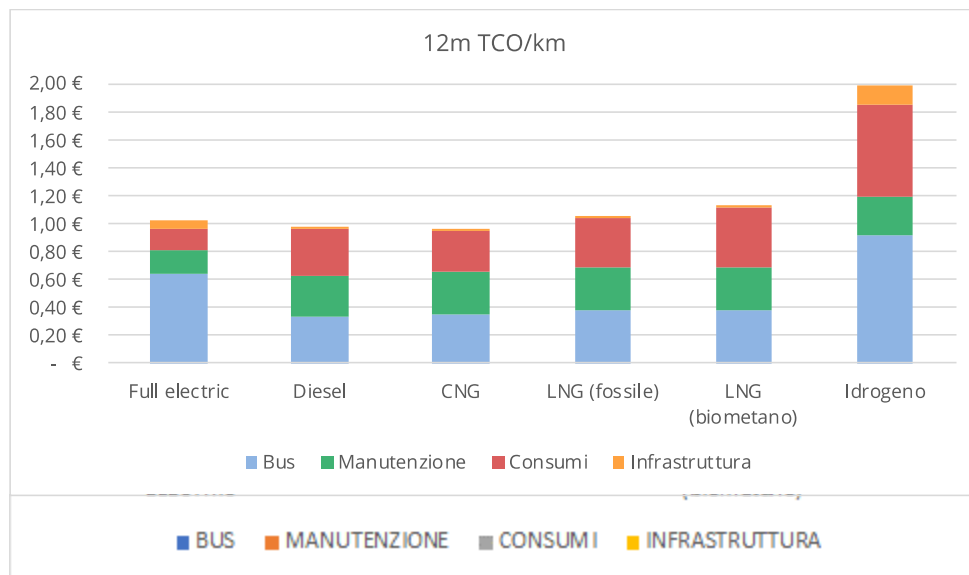
I valori di TCO e TCRO al km sono il risultato della somma di variabili attualizzate. Questa scelta permette di valorizzare con maggiore precisione gli oneri relativi alle differenti scelte di investimento in termini di alimentazione, scontando maggiormente i costi che si manifestano nel futuro. Essendo i valori di TCO e TCRO al km elaborati dal modello il risultato della somma di variabili attualizzate, il valore monetario delle componenti operative di TCO e TCRO risulterà inferiore rispetto al valore di partenza indicato nelle fonti di partenza utilizzate per il calcolo.

Il modello propone inoltre una analisi di sensitività rispetto alla variabile delle percorrenze medie annue, al fine di evidenziare l'influenza dell'intensità di utilizzo dei veicoli sulla convenienza tra differenti alimentazioni.



## Costi e ricavi per tipologia - 12M, anno 2021

|                | FULL ELECTRIC | DIESEL  | CNG     | LNG (fossile) | LNG (biometano) | IDROGENO |
|----------------|---------------|---------|---------|---------------|-----------------|----------|
| BUS            | 0,642 €       | 0,334 € | 0,343 € | 0,379 €       | 0,379 €         | 0,923 €  |
| MANUTENZIONE   | 0,170 €       | 0,289 € | 0,310 € | 0,310 €       | 0,310 €         | 0,273 €  |
| CONSUMI        | 0,158 €       | 0,341 € | 0,297 € | 0,353 €       | 0,433 €         | 0,661 €  |
| INFRASTRUTTURA | 0,058 €       | 0,003 € | 0,014 € | 0,007 €       | 0,007 €         | 0,130 €  |
| B2G            | 0,0153 €      |         |         |               |                 |          |
| 2ND LIFE       | 0,0327 €      |         |         |               |                 |          |
| Totale TCO     | 1,028 €       | 0,968 € | 0,963 € | 1,049 €       | 1,129 €         | 1,986 €  |
| Totale TCRO    | 0,979 €       | 0,968 € | 0,963 € | 1,049 €       | 1,129 €         | 1,986 €  |

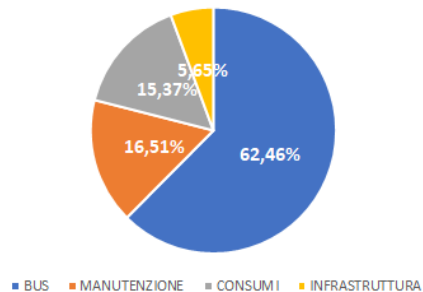


Elaborazioni GREEN, anno 2021

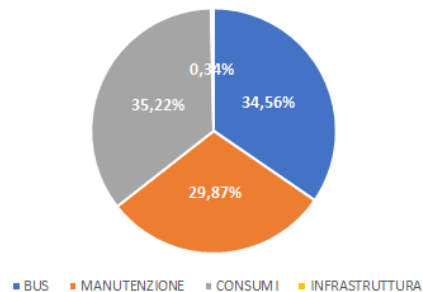


## Costi in percentuale 12M, anno 2021

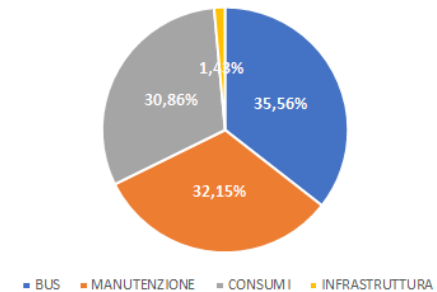
### FULLELECTRIC



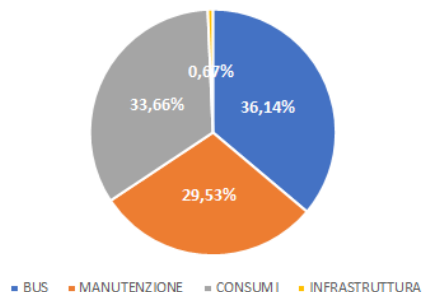
### DIESEL



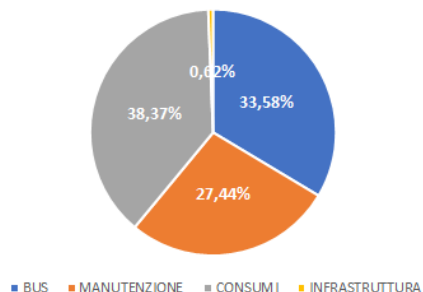
### CNG



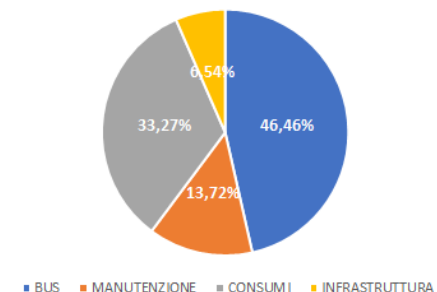
### LNG (fossile)



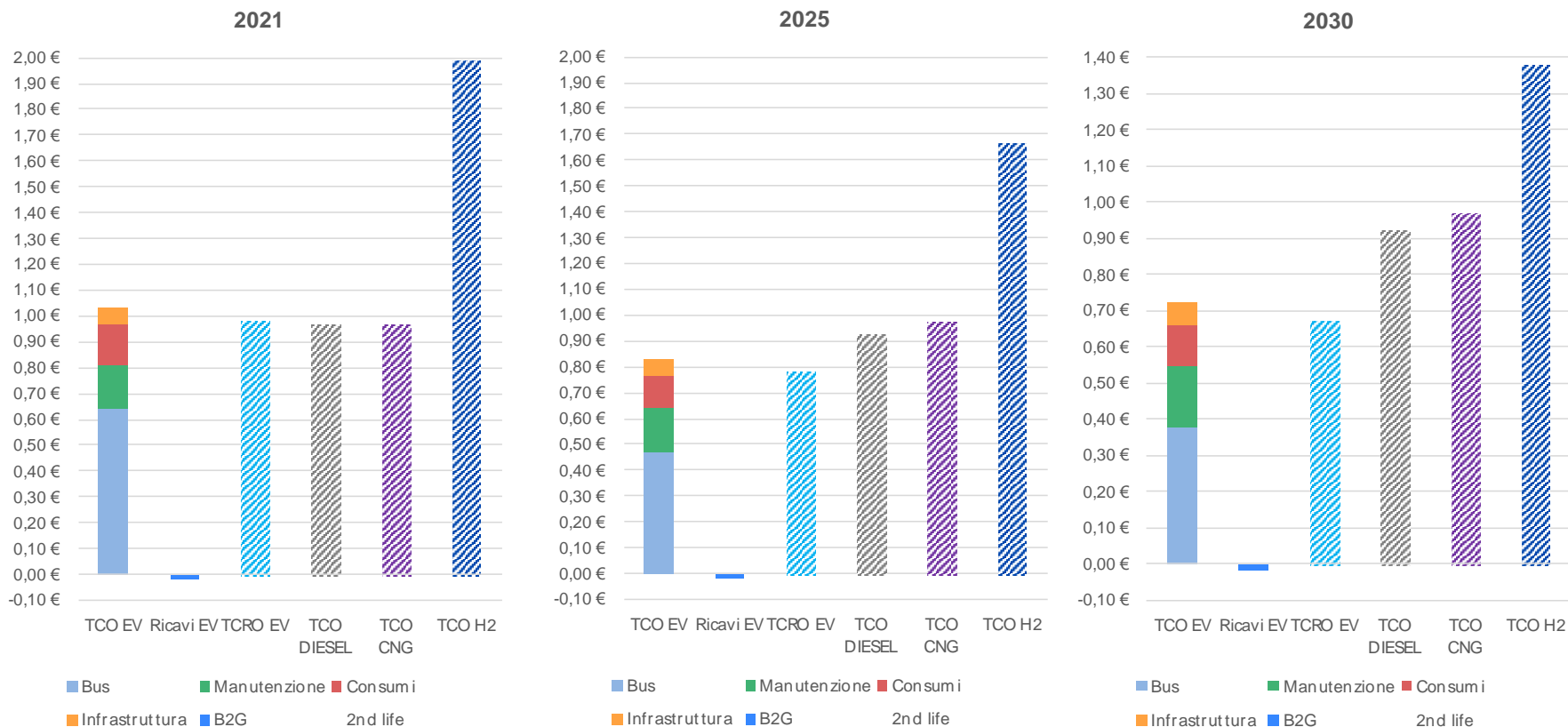
### LNG (biometano)



### IDROGENO

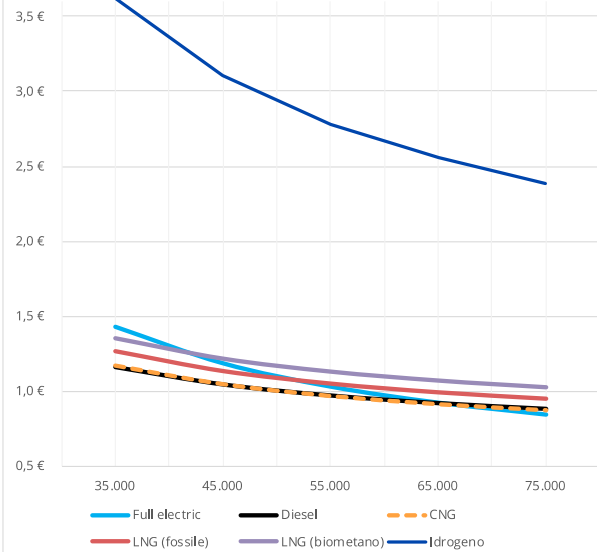


# Il ruolo dei ricavi, TCO e TCRO al 2021, 2025 e 2030

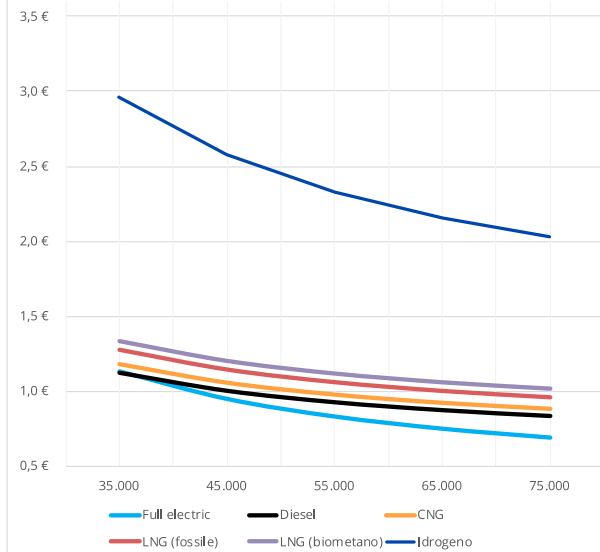


# Le analisi di sensitività del modello (TCO, km percorsi)

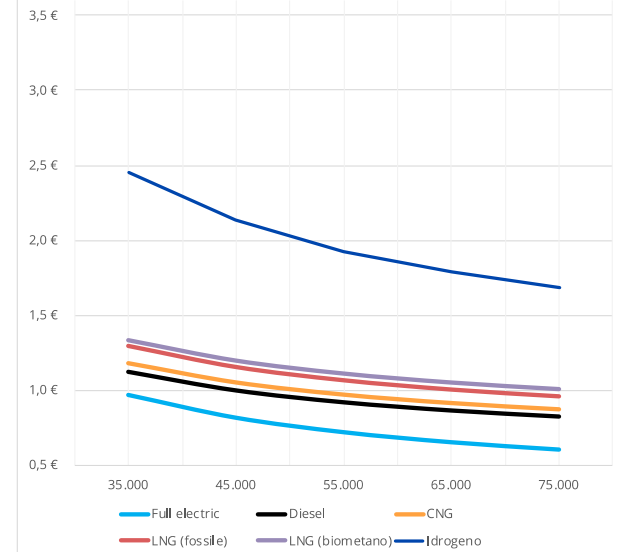
TCO 2021



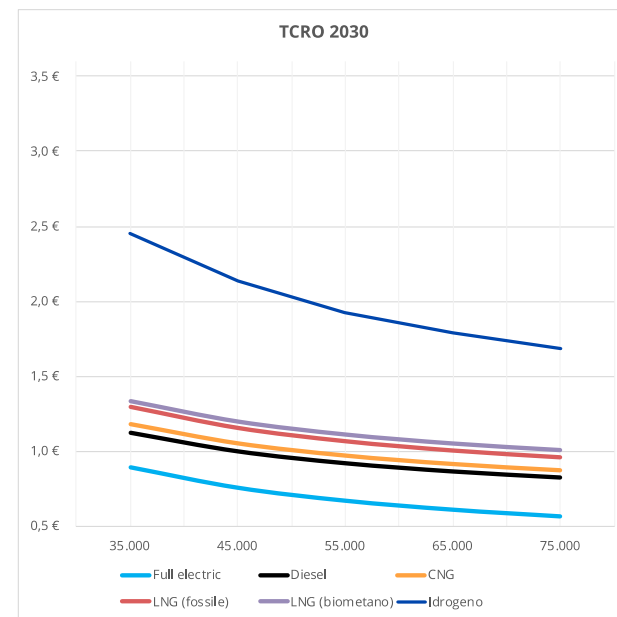
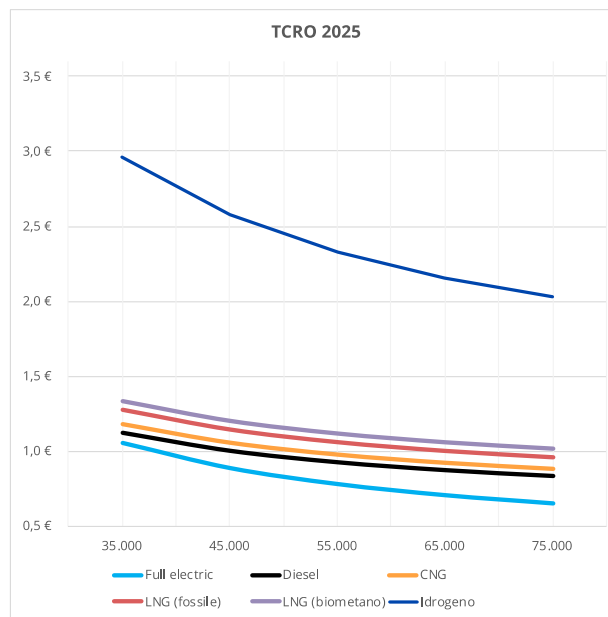
TCO 2025



TCO 2030



# Le analisi di sensitività del modello (TCRO, km percorsi)



# Le condizioni per il break-even secondo l'approccio TCRO

## TCO e TCRO: prezzo di break-even di un bus elettrico 12M rispetto a Diesel e CNG, 2021

| TCO |           | Prezzo break even | diff. prezzo attuale | diff. % |
|-----|-----------|-------------------|----------------------|---------|
|     | vs DIESEL | 390.888,63 €      | - 49.111,37 €        | -11,16% |
|     | vs CNG    | 386.763,63 €      | - 53.236,37 €        | -12,10% |

| TCRO |           | Prezzo break even | diff. prezzo attuale | diff. % |
|------|-----------|-------------------|----------------------|---------|
|      | vs DIESEL | 430.545,97 €      | - 9.454,03 €         | -2,15%  |
|      | vs CNG    | 426.420,97 €      | - 13.579,03 €        | -3,09%  |

Elaborazioni GREEN, anno 2021

A conferma dell'importanza del contributo dei ricavi alla sostenibilità economica dell'elettrificazione delle flotte di TPL, le tabelle precedenti evidenziano la differenza tra prezzo attuale (2021) e prezzo necessario a pareggiare TCO e TCRO rispetto alle alternative DIESEL e CNG.

I dati mostrano come in termini TCRO, il differenziale a favore delle alternative endotermiche sia ad oggi molto contenuto, e si traduce in un extra costo di investimento attorno rispettivamente al 2 e al 3% del prezzo attuale del veicolo elettrico (mentre nel caso del TCO la diminuzione di prezzo necessaria a equiparare le differenti opzioni oscilla tra 11 e 12%).

Una diminuzione minima del prezzo di acquisto dei veicoli elettrici li renderebbe più economici, a patto che sia possibile sfruttarne le potenzialità in termini di B2G e di monetizzarne il valore residuo delle batterie per usi 2° life.



# L'approccio di benchmark alla comprensione della market readiness

L'analisi del mercato italiano è stata condotta in parallelo a quella di **dieci altri Paesi** permettendo così di giungere ad una sintesi di benchmark, espressa nel concetto di market readiness rispetto all'introduzione di bus a zero emission elettrici (ZEB), che tiene conto dei fattori di indirizzo di policy e di elementi di natura organizzativa ed industrial caratterizzante ciascun Paese.

In particolare nella **valutazione delle policies** sono stati esaminati tre elementi:

- 1) la presenza di specifici indirizzi sui temi della **sostenibilità ambientale** (e.g. presenza di target specifici di riduzione delle emissioni del TPL o di introduzione di mezzi a zero emissioni);
- 2) **politiche industriali** per lo sviluppo di know-how, forme di collaborazioni cross-settoriali e tecnologie nel mercato degli ZEB;
- 3) Iniziative di **supporto all'economia circolare** del comparto attraverso progetti 2ndLIFE e servizi B2G.

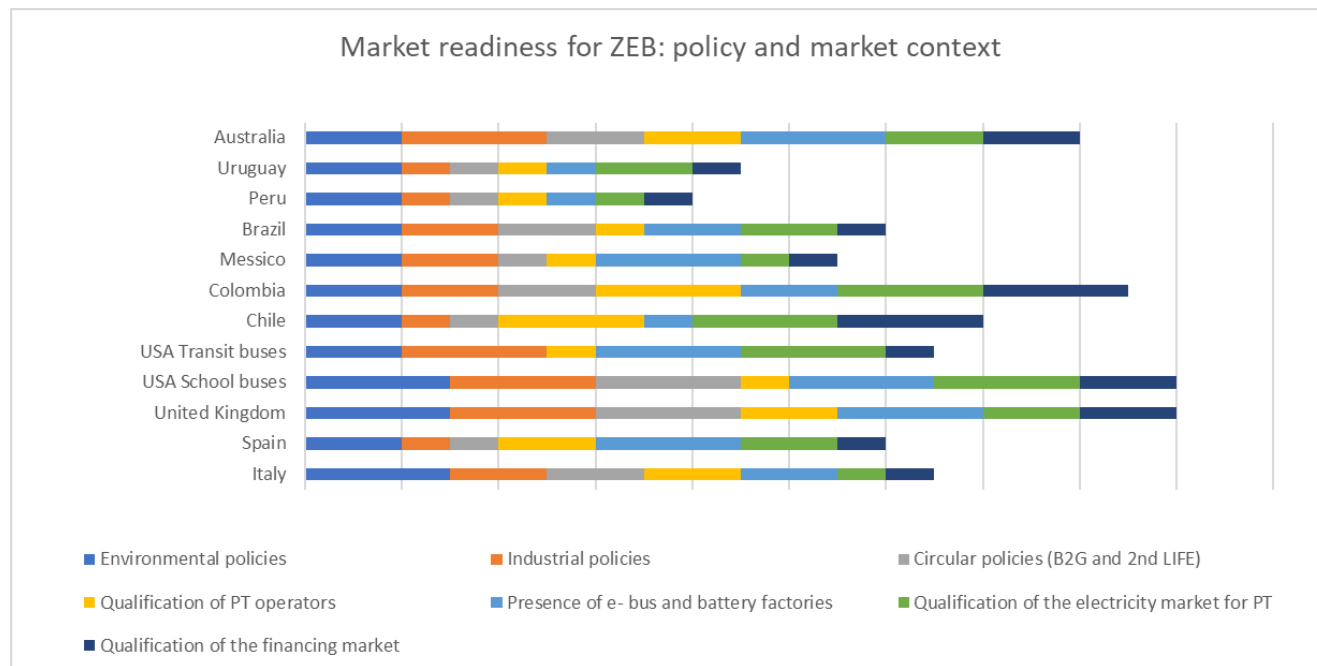
Il **contesto di mercato** è stato valutato attraverso 4 indicatori:

- 1) Presenza di operatori del TPL o di Agenzie del TPL in grado di generare rapidamente **economie di scala** nella gestione degli acquisti di bus e di infrastrutture di ricarica a deposito e opportunity charger;
- 2) Presenza di **produttori locali di bus e di batterie**;
- 3) **Tariffe di approvvigionamento energetico** basse e dedicate al TPL;
- 4) Presenza di **operatori finanziari** in grado di supportare evoluzioni organizzative (asset ownership).



# L'approccio di benchmark alla comprensione della market readiness

## Principali risultati dell'analisi di benchmark di policy e fattori di mercato



Fonte: Elaborazioni GREEN.

Ciascun indicatore è stato valutato su una scala da 1 a 3, con 3 il valore più elevato in termini di maturità e pervasività dello strumento di policy o di assetto di mercato

- In **Australia**, l'impegno dei governi nazionali e locali nella promozione delle politiche e la **rilevanza dell'industria locale** sono fattori che influenzeranno positivamente la competitività delle opzioni elettriche nel prossimo futuro, come già avvenuto in **Colombia** e **Cile** (con particolare riferimento agli strumenti di finanziamento tramite **progetti as a service** che hanno permesso l'introduzione di grandi flotte di eBus per singolo progetto)
- Nel **Regno Unito** e negli **Stati Uniti**, il **forte coordinamento tra politiche e industria** rappresenta la spina dorsale della strategia che guiderà il processo di elettrificazione.
- In **Italia**, le **politiche ambientali** svolgono un ruolo decisivo nello sviluppo del mercato



# Principali risultati dell'analisi di benchmark di TCO e TCRO

Foundation

Le analisi di sensitività e di confronto internazionale evidenziano tre elementi di efficientamento, perseguibili dagli operatori di TPL per poter accelerare la transizione verso le motorizzazioni più efficienti full electric.

Questi richiedono una nuova visione sistemica della catena del valore del TPL, un'evoluzione del business model degli operatori di TPL e un nuovo approccio da parte del sistema di stakeholders per quanto riguarda il governance model nelle relazioni con le reti elettriche, in modo da poter incidere su:

1. **l'efficienza operativa**, attraverso un utilizzo del bus per oltre 60.000 km annui, valorizzando appieno i minori costi al km di manutenzione (-41% rispetto al diesel) e di consumi (-54%);
2. **l'ottimizzazione di costi di acquisto dei bus**, con valori paragonabili ai prezzi praticati in altri contesti ed inferiori ai 387.000 Euro, perseguibile attraverso sistemi di procurement avanzati;
3. la piena valorizzazione delle opportunità derivanti dall'introduzione di elementi di **economia circolare** nella gestione delle batterie a fine vita utile e dall'integrazione con i sistemi di rete, come nel caso del Bus2Grid, reso possibile da un coordinamento pieno con i gestori di rete elettriche a valle del completamento del quadro regolatorio di riferimento da parte di ARERA.

Nel caso in cui nelle analisi di confronto fra motorizzazioni venissero inserite le valorizzazioni economiche delle esternalità ambientali, i vantaggi economici dall'utilizzo di motorizzazioni elettriche sarebbero superiori e le soglie di convenienza verrebbero raggiunte con kilometraggi inferiori rispetto a quanto qui indicato.

Infatti, la valorizzazione economica delle esternalità porterebbe sicuramente ad anticipare la convenienza di motorizzazioni climate-friendly come quelle elettriche, in particolare se alimentate da solo fonti rinnovabili, come ad esempio nel caso dei contesti di Milano e Torino.



...GRAZIE DELL'ATTENZIONE



Università  
Bocconi

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

[oliviero.bacelli@unibocconi.it](mailto:oliviero.bacelli@unibocconi.it)