

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**

Position Paper
12 ottobre 2021



**Università
Bocconi**

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

Con la collaborazione scientifica di



Il presente Position Paper 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** (Enel Foundation). Hanno contribuito allo studio anche **Mirko Armiento** (Enel Foundation) e **Ignazio Cordella** (Enel X).

Contatti:

oliviero.baccelli@unibocconi.it



**Università
Bocconi**

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

SCENARI E PROSPETTIVE DELL'ELETTTRIFICAZIONE DEL TRASPORTO PUBBLICO SU STRADA

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

Introduzione e obiettivi del Position Paper

L'obiettivo del Position Paper è quello di supportare le scelte decisionali in merito alle flotte di bus da utilizzare in un contesto urbano da parte delle imprese di trasporto pubblico locale (TPL) e degli enti appaltanti di contratti di servizio per il TPL.

Questa scelta di natura strategica è divenuta particolarmente complessa nel corso degli ultimi anni per diversi fattori e richiede un nuovo approccio di analisi che sia in grado di includere nuovi elementi sia di costo sia di potenziali ricavi nell'ambito dell'intera vita utile del mezzo.

La complessità è dettata dalle rapide e pervasive innovazioni tese ad una maggior sostenibilità ambientale ed economica del sistema del TPL di diversa natura:

- di policy e regolazione a diversi livelli, internazionali, nazionali e locali;
- organizzativa, con il coinvolgimento di nuovi operatori nel settore, trovando sinergie e complementarità con il settore delle utilities dell'energia, oltreché del sistema finanziario;
- industriale, con l'ingresso di nuovi produttori di autobus.

Il modello di analisi qui proposto offre la possibilità di avere una visione sistemica di tutte le componenti di costo e di reddito nel ciclo di vita utile del mezzo, con una visione integrata dell'investimento iniziale in mezzi e infrastrutture di supporto, della gestione operativa e delle manutenzioni, inserendo anche la possibilità di valorizzare gli aspetti di economia circolare, come quelli relativi alla componente della batteria (gestione della seconda vita) o di integrazione con altri sistemi di rete, come nel caso del Bus2Grid.

Questo approccio di natura strategica, definito TCRO – Total Costs and Revenues of Ownership, fornisce le indicazioni utili per poter selezionare in modo efficiente le diverse tipologie di modelli di bus utilizzabili per determinati contesti e diversi scenari temporali, permettendo di comprendere attraverso le analisi di sensibilità i possibili effetti di specifici strumenti di policy o la modifica di determinati parametri operativi, quali ad esempio le percorrenze.

Le innovazioni di policy e regolazione

L'importanza di avere accesso a sistemi di trasporto sostenibili, sicuri e convenienti e di ridurre gli effetti negativi dell'impatto ambientale delle città, in particolare in termini di qualità dell'aria, sono indicati come specifiche priorità l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite.

A livello europeo gli obiettivi generali sono declinati anche con indicatori target nella Sustainable & Smart Mobility Strategy¹ che prevede la riduzione del 60% delle emissioni nel settore dei trasporti al 2030 e all'azzeramento al 2050.

Lo schema tabellare di seguito permette una visione di sintesi delle diverse policy europee e della cronologia dell'impatto in grado di incidere sulle scelte delle imprese di trasporto pubblico locale in tema di motorizzazione delle flotte su strada al 2025 e al 2030.

Figura 1: Strumenti di policy europei impattanti sulle scelte di motorizzazioni dei bus

POLITICHE EUROPEE E STATO DI APPROVAZIONE	SINTESI DESCRITTIVA	CRONOPROGRAMMA DEGLI IMPATTI
---	---------------------	------------------------------

¹ COM(2020)789.



Direttiva UE Clean Vehicle (<i>Aprovata</i>)	Obbligo di acquisto di Low Emission Vehicle e Zero Emission Vehicle per le pubbliche amministrazioni	Dal 2 Agosto 2021 al 21 Dicembre 2025 almeno il 45%, dal 1° gennaio 2026 al 31 Dicembre 2030 almeno il 65%
Proposta di Direttiva UE Euro VII (<i>Proposta definitiva attesa entro il 2021 ed entro il 2023 l'approvazione dei Parlamenti dei rispettivi Paesi</i>)	Riduzione delle emissioni di CO ₂ dei bus con motori endotermici del 25% al 2025 e del 30% al 2030	Prevedibilmente in modo crescente dal 2025 (ma i produttori di bus anticiperanno l'evoluzione delle motorizzazioni)
Proposta di Direttiva Fuel Quality (<i>proposta della Commissione Europea prevista entro il 2023 e l'approvazione dei Parlamenti dei rispettivi Paesi entro il 2025</i>)	Ridurre il livello di intensità in termini di gas clima-alteranti nei carburanti utilizzati nel settore dei trasporti	Prevedibilmente in modo crescente dal 2026 (ma le raffinerie anticiperanno l'evoluzione delle tipologie di combustibili fossili e biocarburanti)
Proposta di Regolamento relativo alle batterie e ai rifiuti da batterie (<i>Proposta di regolamento presentata nel dicembre 2020 con approvazione prevista entro il 2023</i>)	Incentivazione della standardizzazione e dei principi dell'economia circolare nella produzione e gestione della seconda vita delle batterie, attraverso l'introduzione del Battery Passport e dell'obbligo di utilizzo di componenti da riciclo	In modo più stringente dal 2024, con tappe al 2026, al 2027 e al 2030.

Fonte: Elaborazione GREEN

L'inserimento nelle flotte di TPL di bus a basso o nullo impatto ambientale costituisce un contributo importante al raggiungimento dei due obiettivi, di efficientamento del settore e di sostenibilità ambientale anche a livello nazionale e locale, come evidenziato dal Piano Strategico Nazionale per la Mobilità Sostenibile (PNMS) 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 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 prevede un obbligo da parte delle 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. Questo obiettivo è rafforzato ulteriormente dagli investimenti previsti dal Piano Nazionale Resilienza e Rilancio (PNRR) per promuovere lo sviluppo in Italia di supply chain competitive nelle aree a maggior crescita che consentano di ridurre la dipendenza da importazioni di tecnologie ed anzi di farne motore di occupazione e crescita. In particolare, per quanto riguarda il settore della mobilità sono indicati come prioritarie le tecnologie per la produzione di elettrolizzatori; i mezzi per la mobilità sostenibile (e.g. bus elettrici) e le batterie per il settore dei trasporti. 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 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 trasporto pubblico locale (1.788,26 milioni di Euro) e la realizzazione di infrastrutture di ricarica dedicate (627,7 milioni di Euro), di cui 1,095 mld di Euro sono dedicati al TPL full electric e 1,4 mld ad autobus innovativi ad emissioni zero.

Il PNRR è affiancato dal Piano nazionale per gli investimenti complementari che prevede, sulla base del Decreto Ministeriale 315 del 2 Agosto 2021, ulteriori 600,67 milioni di Euro di investimenti per il rinnovo della flotta di autobus extraurbani e suburbani ecologici, alimentati a metano, elettrica, ad idrogeno e relative infrastrutture, con la possibilità di destinare sino al 15% delle risorse assegnate alla riconversione a gas naturale dei mezzi a gasolio euro 4 e euro 5,

La tabella successiva permette di schematizzare gli effetti degli strumenti di policy, già approvati o in fase di approvazione, a livello europeo e nazionale, in grado di incidere sulle scelte strategiche degli operatori di TPL in tema di flotta. La rilevanza dell'intervento è identificata dal livello di intensità del colore utilizzato per lo sfondo della casella, con tre diversi livelli:

1. Molto rilevante: cioè in grado di modificare le scelte degli operatori per una quota della flotta di bus superiore al 20% (indicato in tabella dal verde scuro e con il valore 3);



**Università
Bocconi**

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

- Rilevante, cioè in grado di modificare le scelte degli operatori per una quota della flotta di bus compresa fra il 10 e il 20% (indicato in tabella dal verde e con il valore 2);
- Poco rilevante, cioè in grado di modificare le scelte degli operatori per una quota della flotta di bus inferiore al 10% (indicato in tabella dal verde chiaro e con il valore 1).

Figura 2: Impatti delle policy sulle scelte di motorizzazioni dei bus

		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
POLITICHE EUROPEE	Direttiva UE Clean Vehicle (in modo progressivo dal 2021)	3			
	Proposta di Direttiva UE Euro VII (dal 2026)		1		
	Proposta di Direttiva Fuel Quality (dal 2026)			1	
	Proposta di Regolamento sulle batterie (dal 2023)				2
POLITICHE ITALIANE	Piano Nazionale Mobilità Sostenibile (dal 2019)	3			
	Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (dal 2020)	3			
	Piano Nazionale Resilienza e Rilancio e Piano Complementare (dal 2021)	2			2
	Normativa Bus2Grid (dal 2022)				2

* Autobus Low emission (LEV) o Zero Emission (ZEV). 3: molto rilevante; 2: rilevante; 1: poco rilevante

Fonte: Elaborazione GREEN

L'approccio del TCRO – Total Costs and Revenues of Ownership

La tabella successiva schematizza le principali componenti considerate negli approfondimenti successivi del TCRO dei diversi modelli di bus con le diverse alimentazioni.

Figura 3: Componenti del TCRO dei bus

COMPONENTE DI COSTO AZIENDALE	DESCRIZIONE
Costo dei bus e delle infrastrutture	Questa componente include il costo del bus e delle infrastrutture di ricarica o di approvvigionamento necessarie per poter operare i bus (colonnine, opportunity charger, elettrolizzatori, serbatoi di combustibili, etc), che possono ricevere un co-finanziamento da parte di Enti Locali o Ministeri, in molti casi differenziato a seconda della tipologia di motorizzazione
Costi energetici per trazione	I consumi, che dipendono dall'efficienza della motorizzazione del veicolo, ma anche dalle velocità commerciali medie, dai profili altimetrici e dalla necessità o meno di condizionamenti, costituiscono una componente rilevante del TCRO
Manutenzione ordinaria dei bus	Comprende i costi ordinari di sostituzione degli pneumatici, dei lubrificanti, della componentistica soggetta ad usura, oltre ai costi di assicurazione, e può variare in modo significativo fra i primi anni dall'acquisto e gli ultimi anni
Manutenzione straordinaria dei bus	La manutenzione straordinaria comprende la sostituzione di componenti quali ad esempio le batterie o componenti della trasmissione e permette l'estensione della vita utile del mezzo
Manutenzione delle Infrastrutture	Le infrastrutture dedicate all'approvvigionamento energetico in deposito o lungo la linea o ai capolinea è oggetto di manutenzione ordinaria per mantenerne l'efficienza
COMPONENTE DI RICAVO AZIENDALE	DESCRIZIONE
Bus2Grid	Gli autobus dotati di batteria possono generare ricavi nel caso di partecipazione al mercato dei servizi di dispacciamento, che richiede investimenti infrastrutturali tipicamente sostenuti dal gestore della rete di distribuzione elettrica.
Valorizzazione a fine vita delle batterie	Questa componente dipende da molti fattori e tipicamente nelle analisi di TCO viene considerata pari a zero in quanto gli autobus con maggiore anzianità vengono utilizzati sino a fine vita utile come eventuali scorte, ma nel caso di autobus a batteria la vendita per altri utilizzi (ad esempio batterie stazionarie), può costituire una fonte di ricavo
COMPONENTE DI COSTO PER LA COLLETTIVITÀ	DESCRIZIONE



**Università
Bocconi**

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

Esternalità ambientali²	È una componente di costo a carico della collettività in quanto la valorizzazione economica delle esternalità (emissioni di gas clima-alteranti, inquinanti locali, rumore, well to thank ³) evidenzia i potenziali risparmi indiretti di costo per il sistema sanitario e in termini di morte premature evitate da una maggior sostenibilità ambientale dei mezzi.
---	---

Fonte: Elaborazione GREEN su dati Grauers et al. (2020), World Bank (2019) e TOI (2018)

Le componenti del TCRO dipendono da numerosi fattori di contesto, oltre ai fattori di maturità tecnologica, legati a driver quali elementi regolatori, sistemi di tassazione e agevolazione, costo del lavoro, costo dell'energia, assetti di mercato, condizioni meteo-climatiche, che possono incidere in modo significativo sul range dei valori. Inoltre, i valori dipendono in modo particolarmente rilevante anche dalle percorrenze medie annue dei mezzi, che spesso sono il riflesso delle velocità commerciali, oltreché dalle ore di impiego nell'arco della giornata.

Per l'elaborazione degli scenari temporali al 2025 e 2030, il modello tiene innanzitutto conto dell'evoluzione attesa delle tecnologie nelle motorizzazioni in termini di costi e performance, delle normative e delle strategie dei produttori e degli operatori di trasporto pubblico, in particolare rispetto ai temi di relazione con le utilities della rete elettrica.

Le alimentazioni selezionate per il confronto sono elettrico (EV), diesel, gas naturale compresso (CNG), e liquefatto (LNG, fossile e biometano), e idrogeno. Vengono considerati inoltre i principali aspetti tecnici e di costo per la differenziazione dei parametri di base relativa alle differenti dimensioni di bus considerate (8, 12 e 18 metri) focalizzando l'attenzione sui veicoli operanti in città metropolitane e su strade urbane. La sintesi qui presentata è relativa al modello più diffuso nel caso Italia, quello di 12 metri, con percorrenze annue stimate in 55.000km.

Un elemento caratterizzante del modello qui elaborato è la scelta di operare una attualizzazione dei valori monetari di costo e di ricavo in termini di valore attuale netto (VAN). 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.

I risultati dell'analisi del TCRO per i bus da 12 metri al 2021, 2025 e 2030

Dall'analisi per la versione 12 metri, risulta come al 2021 i veicoli full electric siano circa 6 cent di euro al km più costosi rispetto alle alimentazioni diesel e CNG (equivalente su base annua ad un differenziale di 3.300 euro, tenendo conto di una percorrenza media stimata in 55.000 km). Questo risultato è dovuto ai maggiori costi iniziali di acquisto del bus e delle infrastrutture necessarie per l'erogazione di energia elettrica nei depositi, non del tutto compensato dalla minore incidenza dei costi operativi, e in particolare dei consumi, sul totale di TCO e TCRO, in particolare -41% per la manutenzione e - 54% rispetto ai consumi rispetto al diesel. Interessante notare come il contributo delle componenti di ricavo relative al TCRO consente di ridurre il gap precedentemente citato intorno ai 2 cent di Euro al km. Per questa versione, i confronti sono possibili anche con le alimentazioni LNG (fossile e biometano) e idrogeno, rispetto alle quali i bus full electric presentano un vantaggio competitivo in termini di TCO in particolare per quanto riguarda i costi operativi, (e rispetto all'idrogeno anche di costo di acquisto).

Figura 4: Costi e ricavi per tipologia 12M, anno 2021, Italia

	FULL ELECTRIC	DIESEL	CNG	LNG (fossile)	LNG (biometano)	IDROGENO
--	---------------	--------	-----	------------------	--------------------	----------

² Nel presente rapporto le esternalità ambientali non sono state economicamente valorizzate, in quanto richiedono specifiche analisi di approfondimento e non oggetto di questo studio

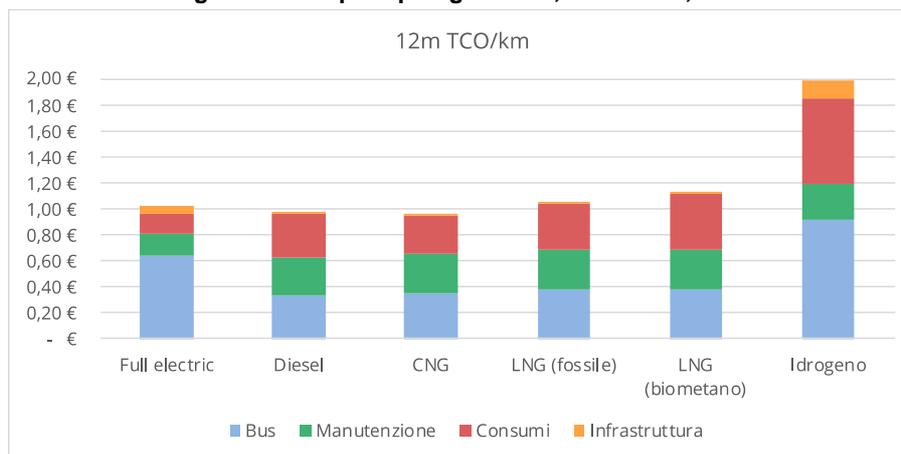
³ A completamento del quadro delle esternalità andrebbero inserite anche gli elementi relativi all'incidentalità, alla congestione e agli effetti sull'habitat, ma questi fattori di costo per la collettività non cambiano se non in maniera molto marginale in dipendenza delle motorizzazioni dei bus.



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 €

Fonte: Elaborazione GREEN

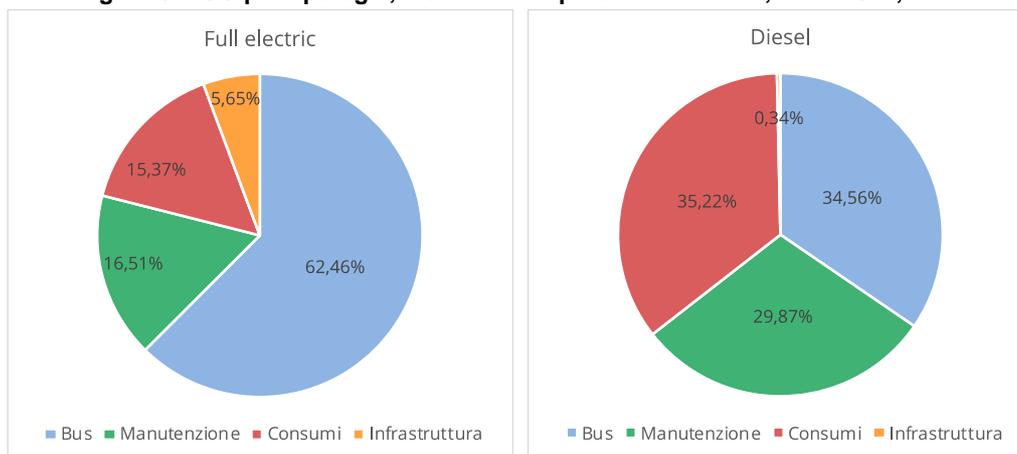
Figura 5: TCO per tipologia - 12m, anno 2021, Italia



Fonte: Elaborazione GREEN

Dal confronto tra il TCO dei veicoli full electric e quelli endotermici (in particolare diesel) emergono differenze sostanziali in termini di contributo percentuale delle diverse componenti alla composizione del prezzo chilometrico. In particolare, come esemplificano i grafici seguenti (figura 6), è evidente la preponderanza attuale dei costi di investimento, per il veicolo full electric superiore al 62%, mentre per la versione diesel è la somma dei costi operativi di manutenzione e consumi a superare il 65%.

Figura 6: TCO per tipologia, distribuzione percentuale - 12m, anno 2021, Italia



Fonte: Elaborazione GREEN

Di seguito si riportano i risultati del calcolo di TCO e TCRO (solo per il modello 12 metri e per le tipologie di alimentazione più rilevanti) attraverso la comparazione degli istogrammi per gli scenari temporali 2021, 2025



**Università
Bocconi**

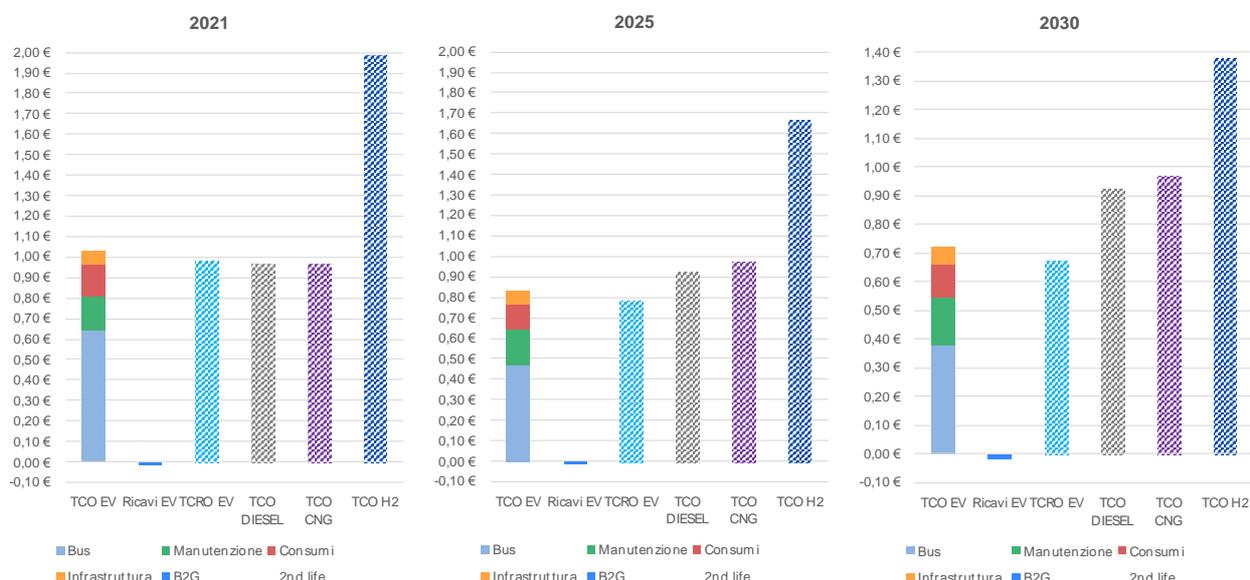
GREEN
Centro di ricerca sulla geografia,
le risorse naturali, l'energia,
l'ambiente e le reti

e 2030 (figura 8) che permette di apprezzare le dinamiche evolutive di TCO e TCRO nel tempo rispetto delle alimentazioni maggiormente competitive.

Lo scenario al 2025 prevede una diminuzione del costo al km dell'energia elettrica del 19%, come effetto combinato di un efficientamento dei mezzi e di una diminuzione del costo dell'energia. Questo genera un primo vantaggio competitivo dei full electric rispetto alle altre alimentazioni. Il secondo effetto è dato dalla diminuzione del costo dei mezzi stimata sia per i full electric che per i veicoli a gas (per questi ultimi si ipotizza una diminuzione coerente con la serie storica del mercato dimezzata per effetto delle necessità di adattamento alle nuove normative per i veicoli endotermici).

Lo scenario prevede una ulteriore diminuzione del costo al km dell'energia elettrica del 10%, dovuto sia all'alleggerimento del mezzo (miglior rapporto fra peso e batteria e scelte innovative dei materiali della scocca mutuata dal settore aerospaziale) sia all'efficientamento delle performance energetiche, rese possibili grazie al miglioramento del processo di recupero di energia in fase di frenatura. Questo rafforza il vantaggio competitivo dei full electric rispetto alle altre alimentazioni. Il secondo effetto è dato dalla diminuzione del costo dei mezzi stimata sia per i full electric che per i veicoli a gas.

Figura 7: TCO e TCRO per tipologia 12m, Italia



Fonte: Elaborazione GREEN

I risultati di dettaglio con riferimento all'orizzonte temporale 2030 per l'Italia (figura 8) evidenziano un significativo vantaggio rispetto alle alternative endotermiche. Infatti, per i 12 metri le differenze di TCO a favore dell'elettrico sono di 20 cent di euro al km rispetto al diesel e 25 al CNG, 35 e 39 rispetto al LNG (fossile e biometano), e 66 cent di euro al km nei confronti dell'idrogeno. In percentuale, si va dal 22% di risparmi rispetto al diesel al 48% risultante dal confronto con l'idrogeno.

Figura 8: Costi e dei ricavi per la tipologia 12m, anno 2030, Italia

	FULL ELECTRIC	DIESEL	CNG	LNG (fossile)	LNG (biometano)	IDROGENO
Bus	0,377 €	0,342 €	0,356 €	0,386 €	0,386 €	0,529 €
Manutenzione	0,170 €	0,314 €	0,336 €	0,336 €	0,336 €	0,273 €
Consumi	0,115 €	0,261 €	0,264 €	0,337 €	0,384 €	0,446 €
Infrastruttura	0,058 €	0,003 €	0,014 €	0,007 €	0,007 €	0,130 €
B2G	- 0,0153 €	-	-	-	-	-
2nd life	- 0,0327 €	-	-	-	-	-
Totale TCO	0,720 €	0,921 €	0,970 €	1,066 €	1,113 €	1,377 €



**Università
Bocconi**

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

Totale TCRO	0,672 €	0,921 €	0,970 €	1,066 €	1,113 €	1,377 €
--------------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

Fonte: Elaborazione GREEN

Le analisi di sensitività e le implicazioni di policy

L'analisi di sensitività rispetto alle percorrenze annue ha l'obiettivo sia di evidenziare le possibili condizioni di utilizzo in grado di rendere competitivo il veicolo FULL ELECTRIC rispetto ad altre alimentazioni, sia di fornire una indicazione di massima del possibile periodo di *break even* relativo (ovvero il punto di convenienza rispetto ad altre alimentazioni) di tale soluzione rispetto al periodo di vita utile dello stesso.

Come si evince dal confronto tra i grafici di sensitività del TCO (Figura 9), considerando l'ipotesi di acquisto al 2021 l'alimentazione elettrica risulterebbe maggiormente conveniente rispetto a diesel e CNG con una percorrenza annua superiore ai 65.000 km, mentre rispetto all'LNG è sufficiente una percorrenza superiore ai 50.000. Ripetendo l'esercizio di sensitività per il TCRO (Figura 10), i risultati mostrano come il punto di convenienza rispetto a diesel e CNG si sposti ulteriormente verso sinistra, al di sotto dei 60.000 km annui di percorrenza, rendendo ancora più rapido il raggiungimento del *break even* relativo.

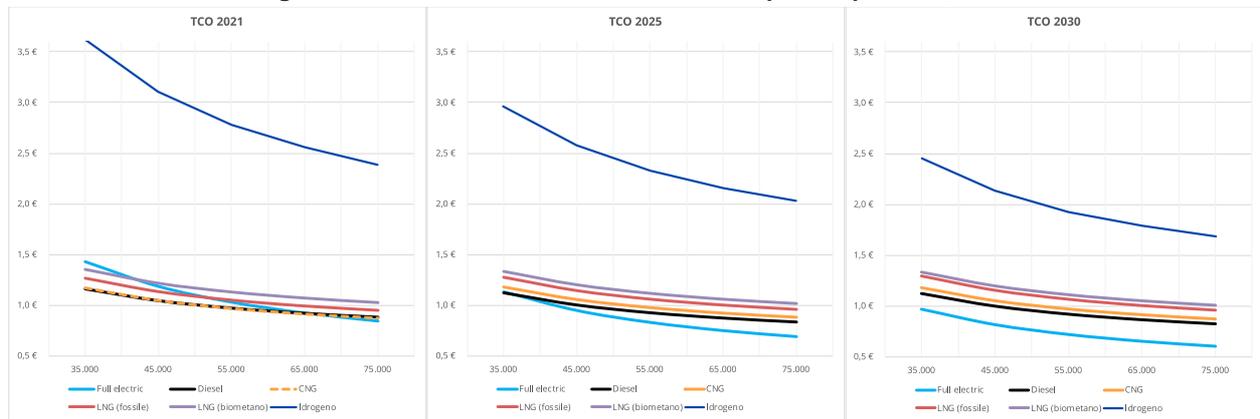
A conferma dell'importanza del contributo dei ricavi alla sostenibilità economica dell'elettrificazione delle flotte di TPL, le analisi di sensitività hanno permesso di evidenziare la differenza tra prezzo di acquisto attuale (2021) e prezzo necessario a pareggiare TCO e TCRO rispetto alle alternative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

I dati relativi a questo fattore definibile come switching value 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, pari a poco meno di 10.000 Euro di differenza (mentre nel caso del TCO la diminuzione di prezzo necessaria a equiparare le differenti opzioni oscilla tra 11 e 12%, equivalente a circa 50.000 Euro di riduzione del costo di acquisto al 2021). In sintesi, se il prezzo medio di acquisto del bus elettrico di 12 metri standard, con caratteristiche tecniche e accessori paragonabili al bus diesel di 12 metri standard, fosse di 391.000 Euro anziché di 440.000 Euro già al 2021 si raggiungerebbe l'equiparazione del TCO fra motorizzazione elettrica e diesel in logica TCO. Questo valore dovrebbe essere di 387.000 per raggiungere la parità del TCO con la motorizzazione a CNG.

In logica di TCRO, una diminuzione minima del prezzo di acquisto dei veicoli elettrici li renderebbe più economici, a patto che sia possibile sfruttarne appieno le potenzialità in termini di B2G sin dal primo anno e di monetizzarne il valore residuo delle batterie per usi *Second Life*. In sintesi, se il prezzo medio di acquisto del bus elettrico di 12 metri standard, con caratteristiche tecniche e accessori paragonabili al bus diesel di 12 metri standard, fosse di 430.000 Euro già al 2021 si raggiungerebbe l'equiparazione del TCRO fra motorizzazione elettrica e diesel in logica TCO. Questo valore dovrebbe essere di 426.000 per raggiungere la parità del TCRO con la motorizzazione a CNG.

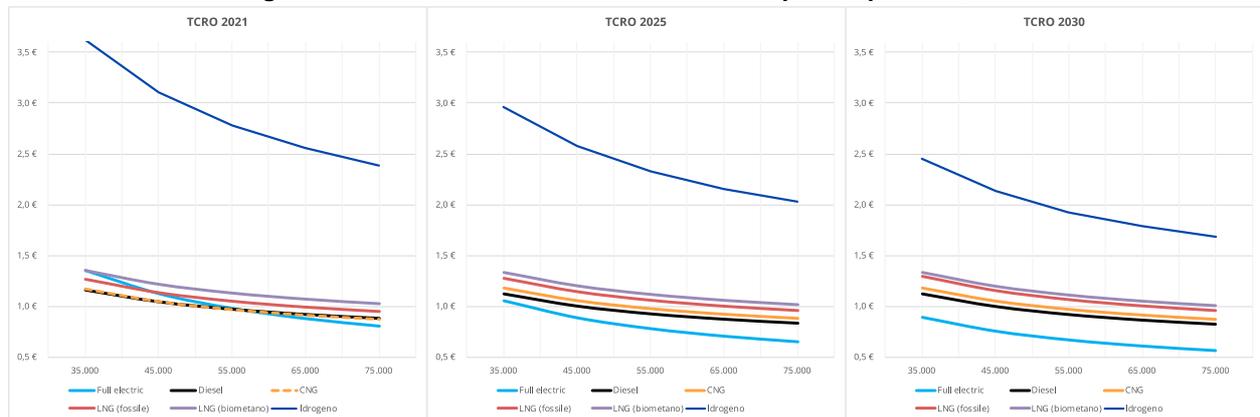


Figura 9: Analisi di sensitività TCO bus 12m per km percorsi, Italia



Fonte: Elaborazione GREEN

Figura 10: Analisi di sensitività TCRO bus 12m per km percorsi, Italia



Fonte: Elaborazione GREEN

In sintesi, le analisi di sensitività evidenziano tre elementi di efficientamento, perseguibili dagli operatori di TPL attraverso un'evoluzione del proprio business model, e dal sistema di stakeholders per quanto riguarda il governance model nelle relazioni con le reti elettriche, per poter accelerare la transizione verso le motorizzazioni più efficienti full electric:

- 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%);
- 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;
- 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.

Bibliografia

Barraza O, Estrada M., "Battery Electric Bus Network: Efficient Design and Cost Comparison of Different Powertrains" Sustainability n°13, 2021



**Università
Bocconi**

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

- Bloomberg New Energy Finance report. "Electric Vehicle Outlook 2021"; New York, USA, 2021
- Bloomberg New Energy Finance report, "Electric buses in cities: Driving towards cleaner air and lower CO₂"; New York, USA, 2018.
- Bloomberg New Energy Finance report, "Lithium-Ion Battery recycling: 2 million tons by 2030, New York, USA, 2019.
- Central d'Achat du Transport Public "Etude comparative sur le différentes motorisation de bus", 2017.
- C40, "Green and Healthy Streets Fossil-Fuel-Free Streets Declaration - Planned Actions to Deliver Commitments", 2021
- ELIPTIC, 2018. Policy Recommendations, electrification of public transport in cities. www.elliptic.eu
- European Automobiles Manufacturers Association- ACEA – Comments to material presented in AGVES on 8 April 2021 and technical recommendations key future Euro 7/VII requirements, 2021.
- European Bank for Reconstruction and Development "Going Electric – A pathways to zero-emission buses" Policy Paper, June 2021
- European Commission, Joint Research Centre and DG Mobility and Transport "State of the Art on Alternative Fuels Transport Systems in the European Union", 2020.
- Forum economico mondiale e Global Batteries Alliance, "A vision for a sustainable battery value chain in 2030: Unlocking the potential to power sustainable development and climate change mitigation", 2019.
- Global Sustainable Electricity Partnership "2ndLife Batteries. A white paper from Storage Technological Community, February 2021
- Graham J., "E-Bus Economics: Fuzzy Math?" IFC Transport Insights, International Finance Corporation, Washington, 2020. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/33641>
- Grauers A., Borén S., Enerbäck O. "Total Cost of Ownership Model and Significant Cost Parameters for the Design of Electric Bus Systems" *Energies* 2020, 13, 3262; doi:10.3390/en13123262
- Green, "Le prospettive di mercato del gas naturale liquefatto e compresso nel settore dei trasporti: vincoli e opportunità", 2019
- Hooftman, N.; Messagie, M.; Coosemans, T. Analysis of the Potential for Electric Buses, a Study Accomplished for the European Copper Institute; 2019; pp. 1–18. Available online: <https://leonardo-energy.pl/wp-content/uploads/2019/02/Analysis-of-the-potential-for-electric-buses.pdf>
- Hossain E., Murtaugh D., Mody J., Resalat Faruque H.M., Sunny Haque S. e Mohammad N., "A Comprehensive Review on Second-Life Batteries: Current State, Manufacturing Considerations, Applications, Impacts, Barriers & Potential Solutions, Business Strategies, and Policies", *IEE*, Volume 7, 2019.
- ICCT, "Low-carbon technology pathways for soot-free urban bus fleets in 20 megacities" Working Paper 11-2017
- ICCT, "Estimated cost of diesel emissions control technology to meet future Euro VII standards" Working Paper 20-2021.
- IRENA, "Smart Charging for Electric Vehicles, Innovation Outlook", 2019, www.irena.org/publications/2019/May/Innovation-Outlook-Smart-Charging.
- Johnson, Caley, Erin Nobler, Leslie Eudy, and Matthew Jeffers. 2020. Financial Analysis of Battery Electric Transit Buses. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-5400-74832. <https://www.nrel.gov/docs/fy20osti/74832.pdf>
- Kivekas, K.; Lajunen, A.; Vepsäläinen, J.; Tammi, K. "City bus powertrain comparison: driving cycle variation and passenger load sensitivity analysis". *Energies* 11(7), 1755, 2018.
- Mathieu, L. "Electric Buses Arrive on Time. Marketplace, Economic, Technology, Environmental and Policy Perspectives for Fully Electric Buses in the EU", *Transport and Environment*. 2018.
- Melin H.E., "The lithium-ion battery end-of-life market – A baseline study", *Global Battery Alliance Report*, 2019
- Motus-e, "Autobus elettrici nel trasporto pubblico. Un vademecum", 2021.



National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine “Guidebook for Deploying Zero-Emission Transit Buses”, Washington, DC, 2021, The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25842>.

National Renewable Energy Laboratory “Electrifying transit: a guidebook for implementing battery electric buses”, April 2021

Nurhadia L., Boréna S., Ny H, “A sensitivity analysis of total cost of ownership for electric public bus transport systems in Swedish medium sized cities”, *Transportation Research Procedia* 3 (2014) 818 – 827.

NUUVE – Investor Presentation, May 2021

Ricerca di Sistema, RSE, Canevese S., Gatti A., Cazzol M., “Bidding strategies for balancing service supply by battery energy (Strategie di offerta per sistemi di accumulo elettrochimico per il servizio di bilanciamento)”, n.18007667, Milano, Dicembre 2018.

Ricerca di Sistema, RSE, Canevese S., Gatti A., “Evaluations on the possible participation of electric vehicles in the balancing service (Valutazioni sulla possibile partecipazione di veicoli elettrici al servizio di bilanciamento)”, n. 20000290, Milano, 2019.

Saldaña, G., San Martín, I. J., Zamora, I., Asensio, J. F., & Oñederra, O. (2019). Analysis of the Current Electric Battery Models for Electric Vehicle Simulation. *Energies*, Vol. 12. <https://doi.org/10.3390/en12142750>

S&P Global Ratings “The Hydrogen Economy: For Light Vehicles, Hydrogen Is Not For this Decade”, Comments 22 April, 2021

TOI - Institute of Transport Economics, “Technological maturity level and market introduction timeline of zero-emission heavy-duty vehicles”, Oslo, 2018.

Tsakalidis, A., van Balen, M., Gkoumas, K., Marques dos Santos, F., Grosso, M., Ortega Hortelano, A. and Pekár, F., “Research and innovation in transport electrification in Europe: An assessment based on the Transport Research and Innovation Monitoring and Information System (TRIMIS)”, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020

Tsiropoulos, I., Tarvydas, D., Lebedeva, N., “Li-ion batteries for mobility and stationary storage applications – Scenarios for costs and market growth”, EUR 29440 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-97254-6, DOI: 10.2760/87175, JRC113360.

Unione Petrolifera, “Previsioni di domanda energetica e petrolifera 2019-2040”, 2019

ViriCiti Report, E bus performance, 2020.

World Bank and the International Association of Public Transport (UITP), “Electric Mobility & Development An Engagement Paper”, December 2018,

World Health Organization (2018), 9 out of 10 people worldwide breathe polluted air, but more countries are taking action. Retrieved from <https://www.who.int/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>.

ZeEUS, 2018. www.zeeus.eu

Zollino, G., “L’irresistibile leggerezza dell’idrogeno”, *Energia* 2/2020.



**Università
Bocconi**

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

GREEN
Centro di ricerca sulla Geografia,
le risorse naturali, l'energia,
l'ambiente e le reti
via Röntgen 1
20136 Milano - Italia
Tel 02 5836.5414-36/6620 Fax 02 5836.6612

www.green.unibocconi.eu

© Università Commerciale Luigi Bocconi - Settembre 2021



**Università
Bocconi**

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