RESEARCH REPORT SERIES

SCENARI E PROSPETTIVE DELL'ELETTRIFICAZIONE DEL TRASPORTO PUBBLICO SU STRADA

Un'innovativa analisi di benchmark:

Il TCRO - Total Cost and Revenues of Ownership

Rapporto finale

15 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
enel Foundation

Lo 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 contributo allo studio anche **Mirko Armiento** (Enel Foundation) e **Ignazio Cordella** (Enel X).

.

Contatti:

oliviero.baccelli@unibocconi.it

Sommario

Glossario 5
Executive Summary 6
1 Il ruolo e le ambizioni del trasporto pubblico nelle politiche per la sostenibilità 15
1.1 Le politiche e i target dell'Unione Europea 17
1.1.1 Gli indirizzi della Direttiva Clean Vehicle 18
1.1.2 Gli indirizzi della Direttiva Euro VII 20
1.1.3 Gli indirizzi della Direttiva Fuel Quality 21
1.1.4 Le politiche europee per il supporto all'industria delle batterie 21
1.1.5 Gli indirizzi della proposta di Regolamento relativo alle batterie e ai rifiuti da batterie e le logiche dell'economia circolare 22
1.1.6 Sintesi e tempistiche degli indirizzi comunitari 24
1.2 Le politiche e i target a livello italiano per le flotte del trasporto pubblico locale 24
1.2.1 Il Piano Nazionale per la Mobilità Sostenibile del 2019 24
1.2.2 Il Piano Nazionale Ripresa e Resilienza del 2021 25
1.2.3 La normativa italiana in tema di bus-to grid 26
1.3 Una visione di sintesi delle policy europee e nazionali in grado di incidere sugli scenari degli operatori di TPL in tema di flotta 27
1.4 Stime sull'evoluzione della flotta TPL urbano in Italia 28
2 Parametri e ipotesi nelle valutazioni del TCRO per le flotte bus 30
2.1 Introduzione al concetto di TCRO 32
2.1.1 I vantaggi del modello di TCRO 33
2.1.2 I limiti del modello di TCRO 34
2.2 Rassegna della letteratura scientifica 34
2.3 L'approccio delle imprese di TPL e dei produttori 37
2.3.1 Aggregazione della domanda in Italia 37
2.3.2 Finanziamento 39
3 I parametri generali e le specificità delle diverse motorizzazioni 41
3.1 I parametri generali 41
3.2 Il caso delle motorizzazioni diesel 43
3.2.1 Ambito di mercato, prospettive di efficientamento, ed evoluzione dei costi 43
3.2.2 Acquisto 44
3.2.3 Manutenzione 45
3.2.4 Consumi e costi di trazione 46
3.2.4.1 I consumi 46
3.2.4.2 Il costo del carburante e la sua probabile evoluzione 46
3.2.4.3 I costi di alimentazione 47

3.2.5 La vita utile e i costi di revamping ... 48
3.2.6 Costi di impianto di rifornimento ... 48
3.3 Il caso delle motorizzazioni CNG/LNG e biometano ... 48
3.3.1 Il biometano ... 49
3.3.2 Ambito di mercato e possibilità di efficientamento ... 51
3.3.3 Acquisto ... 51
3.3.4 Costi di manutenzione e di consumo ... 52
3.3.5 Le prospettive future ... 53
3.4 Il caso dei bus elettrici ... 53
3.4.1 I trend di costo delle batterie ... 54
3.4.2 I trend dei consumi elettrici degli e-bus ... 56
3.4.3 Il costo delle manutenzioni full service degli e-bus ... 57
3.4.4 La valorizzazione della batteria a fine vita utile per la mobilità ... 58
3.4.5 I costi delle infrastrutture di ricarica e lo sviluppo del bus2grid ... 59
3.5 Il caso dei bus ad idrogeno ... 60
3.5.1 I costi di acquisto ... 62
3.5.2 I costi dell'infrastruttura ... 62
3.5.3 I costi operativi ... 62
3.5.4 Le prospettive future ... 63
4 Il calcolo del TCRO per il mercato italiano ... 65
4.1 La definizione del modello di calcolo TCO / TCRO ... 65
4.2 I risultati del modello al 2021 ... 66
4.2.1 Risultati 8M ... 66
4.2.2 Risultati 12M ... 67
4.2.3 Risultati 18M ... 68
4.2.4 La composizione percentuale del TCO ... 69
4.3 Una stima dei risultati al 2025 e al 2030 ... 70
4.3.1 Risultati 8M ... 71
4.3.2 Risultati 12M ... 72
4.3.3 Risultati 18M ... 73
4.3.4 Analisi di sensitività ... 74
5 Bibliografia ... 77
Appendice 1 - L'approccio metodologico alla comprensione della market readiness nell'analisi di benchmark fra 11 Paesi ... 80
Appendice 2 - Dati input e fonti per il calcolo di TCO e TCRO ... 81

Glossario

ACEA	European Automobiles Manufacturers Association
AGVES	Advisory Group Vehicle Emission Standards
ARERA	Autorità di Regolazione per Energia, Reti e Ambiente
BEB	Battery Electric Bus
BMS	Battery Management System
B2G	Bus to Grid
CNG	Compressed Natural Gas
HDV	Heavy-Duty Vehicle
ICCT	The International Council on Clean Transportation
LEV	Low Emission Vehicle
LFP	Lithium iron phosphate battery
LMO	Lithium manganese oxide battery
LNG	Liquified Natural Gas
LTO	Lithium titanate battery
NMC	Lithium nickel manganese cobalt oxide battery
PNIEC	Piano Nazionale Integrato Energia e Clima
PNRR	Piano Nazionale Ripresa e Resilienza
PNMS	Piano Nazionale per la Mobilità Sostenibile
PUMS	Piani Urbani per la Mobilità Sostenibile
TCO	Total Costs of Ownership
TCRO	Total Costs and Revenues of Ownership
TPL	Trasporto Pubblico Locale
V2G	Vehicle to Grid
ZEV	Zero Emission Vehicle
2ND LIFE	Second Life delle batterie

Executive Summary

Lo studio si offre come strumento per le scelte decisionali da parte delle imprese di trasporto pubblico locale (TPL) e per gli enti appaltanti di contratti di servizio per il TPL nell'ambito della scelta relativa alla motorizzazione della flotta di bus da utilizzare in un contesto urbano e con stime relative agli scenari al 2021, al 2025 e al 2030. L'approfondimento puntuale qui presentato è relativo al caso Italia, ma l'analisi di benchmark è stata sviluppata anche per i seguenti Paesi: Spagna, Cile, Stati Uniti, Colombia, Brasile, Messico, Australia, Uruguay, Perù e Regno Unito.

Questa scelta di natura strategica è divenuta particolarmente complessa nel corso degli ultimi anni per diversi fattori di policy e regolazione a diversi livelli (internazionali, nazionali e locali), di natura organizzativa (con il coinvolgimento di nuovi operatori nel settore, trovando sinergie e complementarietà con il settore delle utilities dell'energia) e di rapida evoluzione dei modelli di produzione industriale (ingresso di nuovi produttori di autobus), tutti tesi ad una maggior sostenibilità ambientale ed economica del sistema del TPL.

Il modello di analisi qui proposto offre la possibilità di avere una visione sistemica di tutte le componenti reddituali e di costi nell'arco di vita utile del mezzo, con una visione integrata dell'investimento, 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 le diverse tipologie di modelli di bus utilizzabili per determinate contesti e diversi scenari temporali, permettendo di comprendere attraverso le analisi di sensitività i possibili effetti di specifici strumenti di policy o la modifica di determinati parametri operativi, quali ad esempio le percorrenze.

L'incremento di efficienza del settore del TPL e il miglioramento della qualità dell'aria nelle aree urbane sono due elementi distintivi delle policies di sviluppo più attuali identificate come prioritarie a livello internazionale, europeo e nazionale, e sono state ulteriormente rafforzate dal Piano Nazionale Ripresa e Resilienza del 2021.

Per quanto riguarda il quadro delle policies di indirizzo a scala mondiale il documento di riferimento è stato delineato il 25 settembre 2015 quando l'Assemblea Generale delle Nazioni Unite ha adottato l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile, corredata da una lista di 17 obiettivi riguardanti tutte le dimensioni della vita umana e del pianeta (Sustainable Development Goals – SDGs) e 169 sotto-obiettivi, che dovranno essere raggiunti da tutti i paesi del mondo entro il 2030. L'Obiettivo n. 11 riguarda le città ed evidenzia sia la necessità di ridurre gli effetti negativi dell'impatto ambientale delle città, in particolare in termini di qualità dell'aria, che l'importanza di avere accesso a sistemi di trasporto sostenibili, sicuri e convenienti.

A livello europeo gli obiettivi e gli indicatori target sono delineati nella Sustainable&Smart Mobility Strategy[1] presentate nel dicembre del 2020 e sono riassumibili nella riduzione del 60% delle emissioni nel settore dei trasporti al 2030 e all'azzeramento al 2050. Inoltre, i flagship project delineati dai principali Paesi nell'ambito della missione «Recharge and Refuel» della Recovery and Resilience Facility dell'aprile 2021 rafforzano l'importanza dell'ammodernamento dei mezzi utilizzati nel trasporto pubblico locale.

[1] COM(2020)789.

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 in grado di incidere sulle scelte degli operatori di TPL in tema di motorizzazioni dei bus al 2025 e al 2030

POLITICHE EUROPEE E STATO DI APPROVAZIONE	SINTESI DESCRITTIVA	CRONOPROGRAMMA DEGLI IMPATTI
Direttiva UE Clean Vehicle (*Approvata)*	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 *(Proposta definitiva attesa entro il 2021 ed entro il 2023 l'approvazione dei Parlamenti dei rispettivi Paesi)*	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 *(proposta della Commissione Europea prevista entro il 2023 e l'approvazione dei Parlamenti dei rispettivi Paesi entro il 2025)*	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 *(Proposta di regolamento presentata nel dicembre 2020 con approvazione prevista entro il 2023)*	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);
2. 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);
3. 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 degli strumenti di policy in grado di incidere sulle scelte degli operatori di TPL in tema di motorizzazione 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 TCRO qui adottato include oltre ai costi anche la valutazione dei potenziali ricavi nel ciclo di vita del bus derivanti dalla valorizzazione di alcune componenti del bus a fine vita, generando ricavi derivanti dal valore residuo sul mercato di componenti come le batterie, o dal possibile ruolo nei momenti in cui i bus sono in deposito delle batterie quali stabilizzatori della rete elettrica, in logica Bus2Grid.

Nella Figura successiva è sintetizzata la metodologia di analisi del TCRO.

Figura 3: Schema metodologico di analisi del TCRO dei bus

COMPONENTE DI COSTO AZIENDALE	
Costi di investimento	***Costi operativi***
Costo di acquisto iniziale dei bus	Costi energetici per trazione

Costo di acquisto iniziale delle infrastrutture nei depositi e ai capolinea	Manutenzione ordinaria dei bus
	Manutenzione straordinaria dei bus
	Manutenzione delle Infrastrutture
COMPONENTE DI RICAVO AZIENDALE	
Ricavi da vendita di assets	***Ricavi da vendita di servizi alla rete elettrica***
Valorizzazione a fine vita	Bus2Grid
COMPONENTE DI COSTO PER LA COLLETTIVITÀ	
Esternalità ambientali: inquinanti locali, gas clima-alteranti, rumore, well to thank.	

Fonte: Elaborazione GREEN

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

Figura 4: Componenti del TCRO dei bus

COMPONENTE DI COSTO AZIENDALE	DESCRIZIONE
Costo di acquisto iniziale 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**
Esternalità ambientali[2]	E' 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]) ed evidenzia i potenziali risparmi sui costi indiretti per il sistema sanitario e in termini di morte premature evitate da una maggior sostenibilità ambientale dei mezzi.

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

[2] Nel presente rapporto le esternalità ambientali non sono state economicamente valorizzate, in quanto richiedono specifiche analisi di approfondimento e non oggetto d 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.

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, 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.

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.

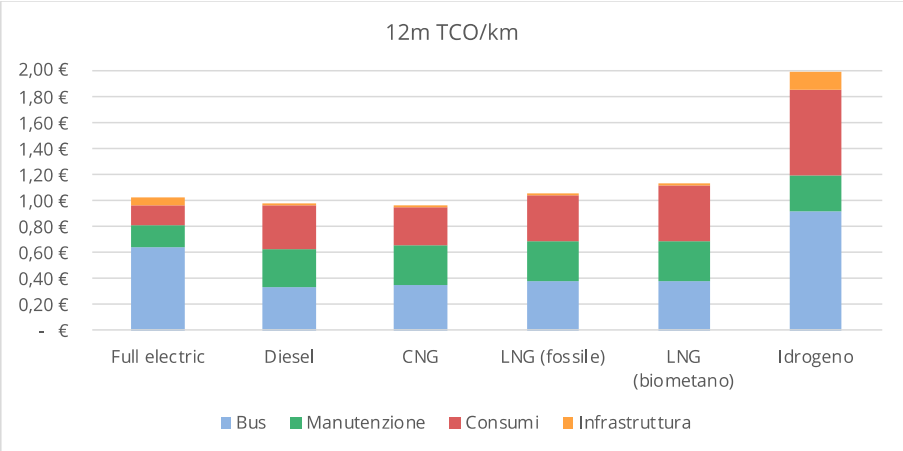
Dall'analisi per la versione 12 metri, risulta come al 2021 i veicoli full electric siano circa 6 cent di euro al km più costosi rispetto alle alimentazioni diesel e CNG (equivalente su base annua ad un differenziale di 3.300 euro, tenendo conto di una percorrenza media stimata in 55.000 km). Questo risultato è dovuto ai maggiori costi inziali 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 5: Costi e ricavi per tipologia 12M, anno 2021, Italia

	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 €

Fonte: Elaborazione GREEN

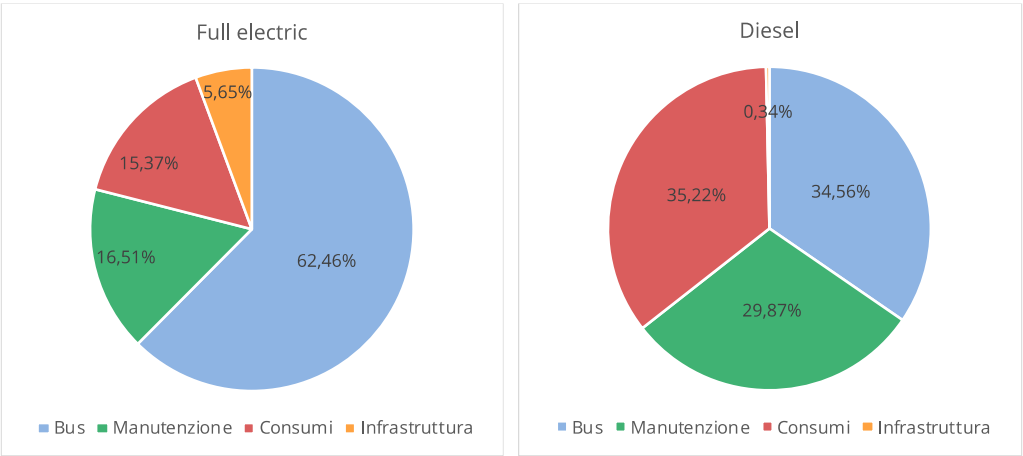
Figura 6: TCO per tipologia - 12m, anno 2021, Italia



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 kilometrico. 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 7: TCO per tipologia, distribuzione percentuale - 12m, anno 2021, Italia



Fonte: Elaborazione GREEN

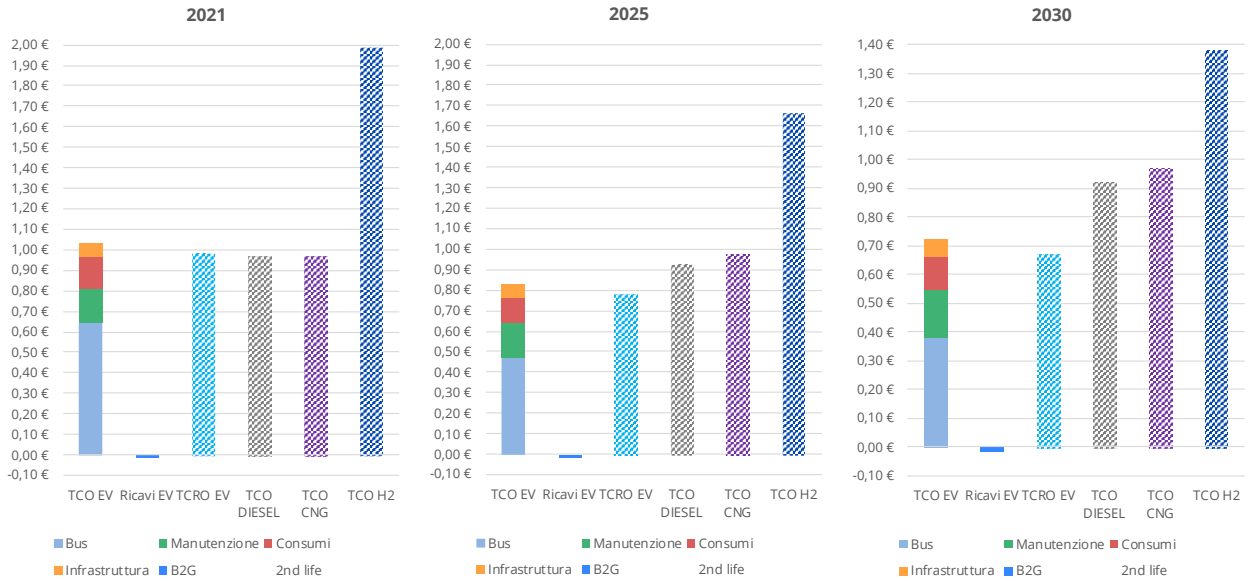
Di seguito si riportano i risultati del calcolo di TCO e TCRO (solo per il modello 12 metri e per le tipologie di alimentazione più rilevanti) attraverso la comparazione degli istogrammi per gli scenari temporali 2021, 2025 e 2030 (figura 8) che permette di apprezzare le dinamiche evolutive di TCO e 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 mutuate 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 8: 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 9: 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 €
Totale TCRO	0,672 €	0,921 €	0,970 €	1,066 €	1,113 €	1,377 €

Fonte: Elaborazione GREEN

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

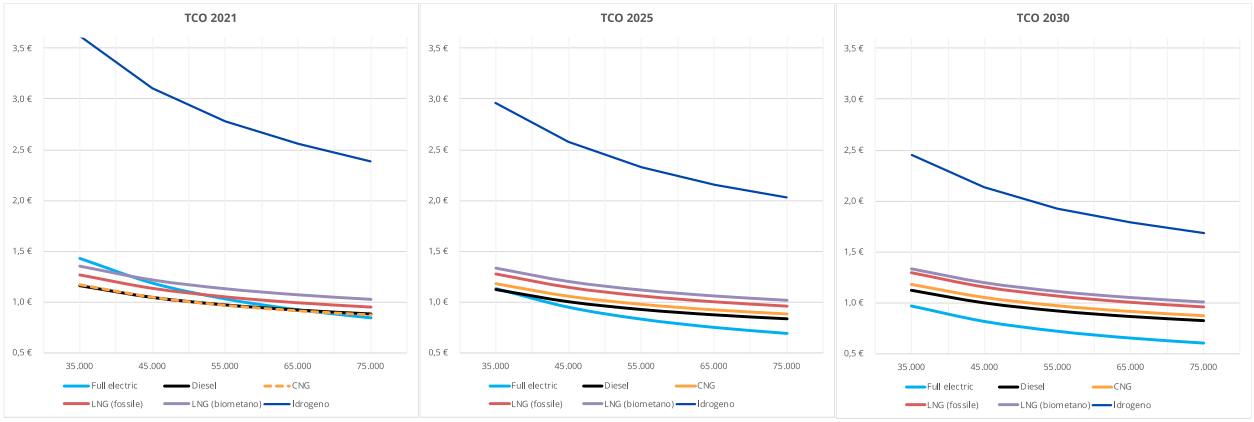
CNG con una percorrenza annua superiore ai 65.000 km, mentre rispetto all'LNG è sufficiente una percorrenza superiore ai 50.000. Ripetendo l'esercizio di sensitività per il TCRO (Figura 10), i risultati mostrano come il punto di convenienza rispetto a diesel e CNG si sposti ulteriormente verso sinistra, 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.

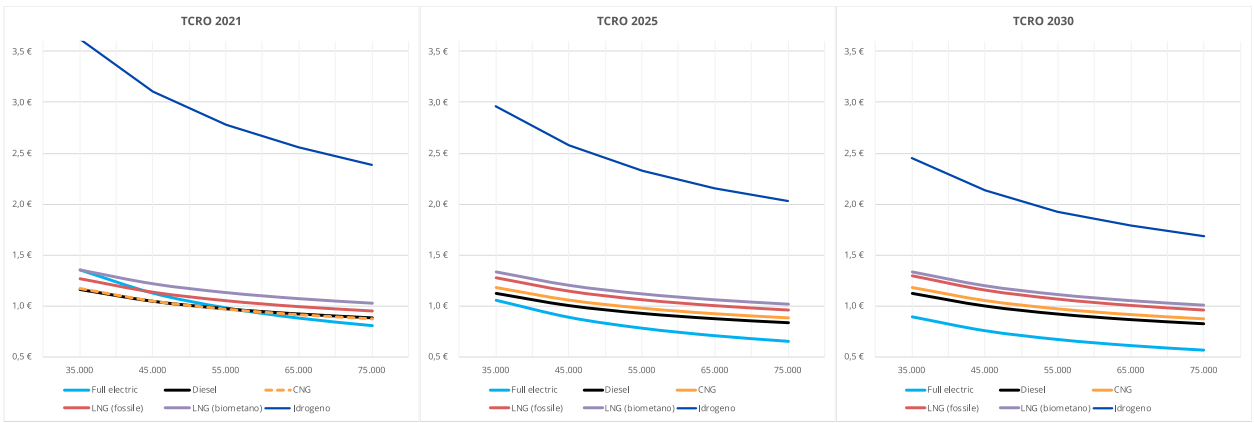
In logica di TCRO, una diminuzione minima del prezzo di acquisto dei veicoli elettrici li renderebbe più economici, a patto che sia possibile sfruttarne appieno le potenzialità in termini di B2G sin dal primo anno e di monetizzarne il valore residuo delle batterie per usi *Second Life*. In sintesi, se 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 10: Analisi di sensitività TCO bus 12m per km percorsi, Italia



Fonte: Elaborazione GREEN

Figura 11: 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.

1 Il ruolo e le ambizioni del trasporto pubblico nelle politiche per la sostenibilità

Lo studio si offre come strumento per le scelte decisionali da parte delle imprese di trasporto pubblico locale (TPL) e per gli enti appaltanti di contratti di servizio per il TPL nell'ambito della scelta relativa alla motorizzazione della flotta di bus da utilizzare in un contesto urbano e con stime relative agli scenari al 2021, al 2025 e al 2030.

L'incremento di efficienza del sistema di trasporto pubblico locale (TPL) e il miglioramento della qualità dell'aria sono due elementi distintivi delle policies di sviluppo identificate come prioritarie a livello europeo, nazionale e, soprattutto, nelle principali aree metropolitane italiane, dove i livelli di inquinanti nell'aria sono particolarmente rilevanti.

Per quanto riguarda il quadro di riferimento a scala mondiale il documento di riferimento è stato delineato il 25 settembre 2015 quando l'Assemblea Generale delle Nazioni Unite ha adottato l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile, corredata da una lista di 17 obiettivi riguardanti tutte le dimensioni della vita umana e del pianeta (Sustainable Development Goals – SDGs) e 169 sotto-obiettivi, che dovranno essere raggiunti da tutti i paesi del mondo entro il 2030. L'Obiettivo n. 11 riguarda le città ed evidenzia sia la necessità di ridurre gli effetti negativi dell'impatto ambientale delle città, in particolare in termini di qualità dell'aria, e fornire l'accesso ai sistemi di trasporto sostenibili, sicuri e convenienti.

Il coinvolgimento delle aziende di TPL nel processo di sostenibilità del settore dei trasporti è, inoltre, un elemento importante per avviare un processo di informazione, attraverso l'esemplificazione, in grado di modificare l'approccio culturale alla mobilità e la percezione delle potenzialità della mobilità a zero emissioni anche per altri settori che si avvalgono di mezzi che compiono gran parte delle distanze nell'ambito metropolitano, ad iniziare dalle flotte dei taxi, dei mezzi commerciali per la distribuzione di merci ai negozi e ai pubblici esercizi, oltreché ad altri operatori di bus, come quelli impegnati nelle visite turistiche. È, infatti, negli ambiti metropolitani dove i vantaggi ambientali ed economici del cambio della motorizzazione sono più rilevanti e con un miglior rapporto fra benefici e costi dell'investimento pubblico effettuato.

Sono due gli elementi chiave che evidenziano come siano le grandi città (e in particolare a livello italiano quelle della pianura padana dove il numero di giorni all'anno in cui vi è uno sforamento del livello di guardia delle polveri sottili è superiore in media di quasi tre volte rispetto a quanto consentito dai regolamenti comunitari), il contesto specifico su cui incentrare le politiche in grado di favorire la sostituzione dei motori alimentati a combustibili fossili con quelli elettrici.

Il primo elemento è evidente: il vantaggio ambientale e sanitario derivante dall'azzeramento delle emissioni allo scarico, che permette l'annullamento di tutti gli inquinanti locali ad eccezione dei particolati dovuti agli attriti, sia a vantaggio diretto di un gran numero di persone che abitano o lavorano nell'area metropolitana rispetto ad altri contesti rurali o di territori più ventosi. A questa componente di benefici, che si possono tradurre in termini economici in risparmi di costi sanitari e di riduzione di giorni di lavoro persi per malattie respiratorie e cardiovascolari, si aggiunge un ulteriore specifico elemento operativo strettamente legato al recupero dell'energia generata in fase di frenatura. Questo costituisce una componente ulteriore di efficienza operativa differenziale rispetto alle alimentazioni dei motori con combustibili fossili rilevante nei contesti in cui lo "stop and go" tipico delle aree urbane dove la presenza di code ai semafori e agli incroci è molto frequente. Inoltre, solo negli ambiti metropolitani, dove le percorrenze annuali per singolo bus sono elevate e sono presenti più depositi dei mezzi, si possono raggiungere le economie di scala e di specializzazione necessarie

per poter rendere conveniente un riordino complessivo dei servizi di TPL su gomma[4]. Infatti, vi è una relazione diretta fra il numero di chilometri annui percorsi in ambito metropolitano con livelli di traffico elevato, dove le velocità medie sono basse e i rallentamenti sono frequenti, e i benefici socio-economici derivanti dall'uso di mezzi elettrici rispetto a mezzi alimentati con combustibili fossili e, pertanto, rafforzare le politiche nazionali di sostegno all'elettrificazione della mobilità agendo prioritariamente anche sul TPL è un segnale corretto ed importante dal punto di vista economico e sociale.

Nonostante gli elementi di beneficio delineati, la diffusione a livello italiano di bus elettrici (a fine 2020 pari allo 0,6% del totale della flotta) è rallentata sia dalla necessità di più articolate analisi di convenienza rispetto al ciclo di investimenti e di operatività rispetto a bus con motorizzazioni classiche, sia dalla difficoltà da parte di molti operatori del TPL nel comprendere pienamente le conseguenze e le opportunità derivanti dall'elettrificazione della flotta o di una parte di essa.

L'analisi qui proposta si pone l'obiettivo di permettere un confronto economico fra le diverse motorizzazioni denominata total cost and revenues of ownership (TCRO), che terrà conto:

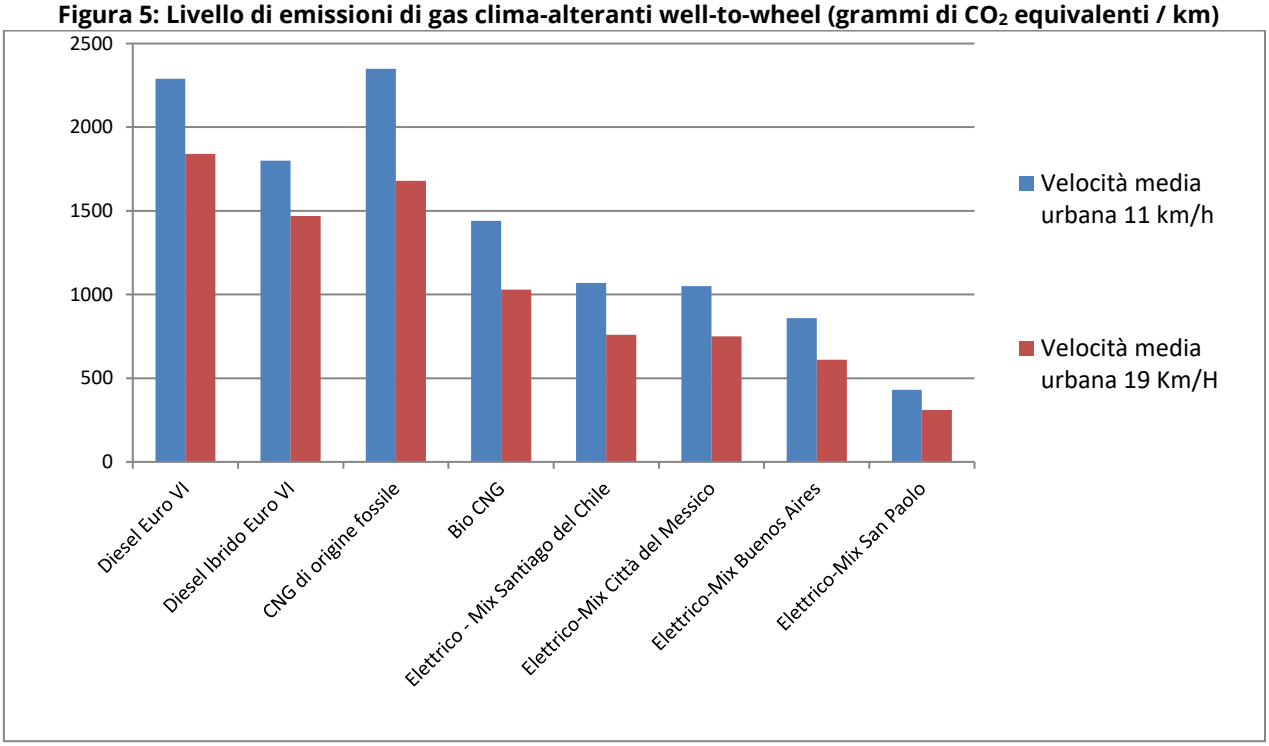
- dei costi di investimento e delle modalità di finanziamento dello stesso,
- dei costi operativi di natura gestionale e manutentiva (interventi ordinari e straordinari),
- dei costi infrastrutturali necessari per le ricariche,
- dei ricavi per le imprese di TPL provenienti da una valorizzazione delle relazioni con i sistemi di trasmissione elettrica resi possibili dal bus to grid (B2G),
- dei ricavi derivanti dalla vendita delle batterie allo scopo di costituire accumulatori in grado di ridurre i costi di approvvigionamento energetico nei depositi di bus o di recupero e riutilizzo per altri fini commerciali (2nd LIFE).

Il tema delle esternalità ambientali, di particolare rilevanza per le scelte di policy e per le valutazioni di natura manageriale, non viene qui approfondito e valorizzato economicamente in quanto le emissioni di gas climalteranti well-to-wheel e gli inquinanti locali 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, rendendo particolarmente complesso il calcolo specifico. In linea generale, gli e-bus evidenziano un livello di emissione 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. Nel corso degli ultimi anni 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 CO_2 all'anno[5]. 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. Il grafico successivo evidenzia i differenti valori fra motorizzazione e contesti territoriali di mercato.

[4] Si veda, ad esempio Bloomberg New Energy Finance report. "Electric Buses in Cities: Driving towards Cleaner Air and Lower CO2"; New York, USA (2018), C40, "Green and Healthy Streets Fossil-Fuel-Free Streets Declaration - Planned Actions to Deliver Commitments" (2021) e California Public Utilities Commission "Zero-emission vehicles" (2021)

[5] Si veda la Comunicazione 1098 del 26 febbraio 2018 della Commissione Europea "SA.48190 (2017/N) – Germany – Support scheme for the acquisition of electric buses for urban public transport". L'unità di conversione suggerita dalla Commissione Europea è di 1 litro di diesel pari a 2,6kg di CO_2 e di calcolo è basato sui consumi medi di un bus di 12 metri che percorre 55.000km annui in ambito urbano ad una velocità media di 14 km/h

Figura 5: Livello di emissioni di gas clima-alteranti well-to-wheel (grammi di CO_2 equivalenti / km)



Fonte: ICCT, Working paper 11-2017

1.1 Le politiche e i target dell'Unione Europea

A livello europeo le politiche per favorire la decarbonizzazione del sistema dei trasporti sono divenute via via più rilevanti negli ultimi anni ed evidenziate sia nell'ambito di politiche di ampio respiro come quelle delineate nella strategia Europa 2020, sia nell'ambito di comunicazioni, regolamenti e direttive più stringenti e specifiche come quelle indicate, ad esempio nella comunicazioni a partire dal 2008 come quelle relative alla "European Strategy for Low-Emission Mobility" [6] e "Green Public Procurement"[7], o nelle direttive "Clean Vehicle Directive[8], o nei tre "Mobility Package" del 2013, 2017 e 2018 ed in particolare la comunicazione n°293 del 15 Maggio 2018 "Sustainable Mobility for Europe: safe, connected, and clean" e nella Comunicazione "Pronti per il 55 %: realizzare l'obiettivo climatico dell'UE per il 2030 lungo il cammino verso la neutralità climatica" del Luglio 2021[9].

Fra i regolamenti attuativi del terzo pacchetto mobilità del 2018 più rilevanti ai fini del presente studio, approvato a valle di un lungo dibattito sui limiti di emissione di CO2 per le nuove immatricolazioni di auto e di veicoli commerciali dopo il 2020, vi sono i due nuovi Regolamenti [10] che impongono ai costruttori automotive di ridurre le emissioni medie del venduto al 2030 con un traguardo intermedio al 2025. Per i veicoli con massa superiore alle 3,5 tonnellate, come tutte le categorie di bus qui

[6] COM(2016)501final
[7] COM(2008)400final
[8] Directive 2009/33/EC
[9] COM (2021) 550 final.
[10] Regolamento (UE) 2019/631 del Parlamento europeo e del Consiglio del 17 aprile 2019 che definisce i livelli di prestazione in materia di emissioni di CO2 delle autovetture nuove e dei veicoli commerciali leggeri nuovi e che abroga i regolamenti (CE) n. 443/2009 e (UE) n. 510/2011 e Regolamento (UE) 2019/1242 del Parlamento europeo e del Consiglio del 20 Giugno 2019, che definisce i livelli di prestazione in materia di emissioni di CO2 dei veicoli pesanti nuovi e modifica i regolamenti (CE) n. 595/2009 e (UE) 2018/956 del Parlamento europeo e del Consiglio e la direttiva 96/53/CE del Consiglio

considerate, è previsto un taglio delle emissioni di CO2, che dovrà arrivare al 30% entro il 2030 con un obiettivo intermedio pari al 25% entro il 2025.

Le politiche europee delineate nella Sustainable&Smart Mobility Strategy[11] presentate nel dicembre del 2020 rafforzano ulteriormente le motivazioni alla base delle policy europee di lungo periodo precedentemente descritte e forniscono indicazioni target specifiche, riassumibili nella riduzione del 60% delle emissioni nel settore dei trasporti al 2030 e all'azzeramento al 2050. Inoltre, i flagship project delineati dai principali Paesi membri della UE nell'ambito della missione «Recharge and Refuel» della Recovery and Resilience Facility del Maggio 2021 rafforzano l'importanza dell'ammodernamento dei mezzi utilizzati nel trasporto pubblico locale.

Nel corso del prossimo decennio una particolare rilevanza per delineare gli scenari di costo al 2025 e 2030 l'avranno le più specifiche direttive "European Clean Vehicle" e i regolamenti in fase di affinamento relativi al regime Euro VII (prevista in vigore al 2026) e alla Fuel Quality Directive, come descritto nei successivi paragrafi, oltre allo sviluppo dell'iter legislativo che prenderà avvio dal giugno 2021 in merito alla Proposta di revisione della direttiva sulla tassazione dell'energia da parte della Commissione Europea[12], oltre alla proposta di Regolamento in tema di batterie.

1.1.1 Gli indirizzi della Direttiva Clean Vehicle

Le politiche europee di natura strategica in tema di sostenibilità sono declinate in modo puntuale anche per settori, attraverso, ad esempio, la Direttiva per la promozione di veicoli puliti e a basso consumo energetico nel trasporto su strada[13]. Questa direttiva nel comparto dei bus si applica solamente ai seguenti veicoli:

- di classe A, ovvero di categoria M_2 o M_3 con capacità inferiore ai 22 passeggeri;
- di classe I, ovvero di categoria M_2 o M_3 con capacità di oltre i 22 passeggeri, che però dispone di spazi destinati ai passeggeri in piedi per consentire loro spostamenti frequenti.

Rimangono quindi esclusi dal campo di applicazione della direttiva i c.d. "pullman", ovvero i veicoli di categoria M_3 con spazi molto limitati destinati ai passeggeri in piedi o privi di tali spazi.

La Direttiva indica nel 45% in una prima fase e nel 65% in una seconda fase le percentuali minime di autobus puliti rispetto al numero complessivo di autobus su strada oggetto di contratti di acquisto, di leasing, di locazione o di vendita a rate aggiudicati da amministrazioni aggiudicatrici o da enti aggiudicatori. La prima fase è compresa tra il 2 agosto 2021 e il 31 dicembre 2025, mentre la seconda tra il 1° gennaio 2026 e il 31 dicembre 2030.

Queste percentuali (45% al 2025 e 65% al 2030) sono valide per la maggior parte degli stati membri (Lussemburgo, Svezia, Danimarca, Germania, Regno Unito, Paesi Bassi, Austria, Belgio, Italia, Irlanda, Spagna, Cipro, Malta). In alcuni Stati - in ragione dei diversi parametri di PIL pro capite e di densità di popolazione - hanno obiettivi leggermente ridotti, il cui minimo è assegnato alla Romania e si attesta al 24% nel primo periodo e al 33% dal 2026.

La Direttiva impone inoltre che il 50% dell'obiettivo sia raggiunto tramite veicoli ad emissioni zero.

[11] COM(2020)789.
[12] Come indicato nella Comunicazione della Commissione Europea COM(2019) 640 final, Il Green Deal europeo.
[13] Direttiva UE 1161/2019 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 20 giugno 2019 che modifica la direttiva 2009/33/CE. La direttiva impone agli Stati membri di assicurare che le amministrazioni aggiudicatrici e gli enti aggiudicatori tengano conto dell'impatto energetico e dell'impatto ambientale nell'arco di tutta la vita, tra cui il consumo energetico e le emissioni di CO2 e di talune sostanze inquinanti, negli appalti pubblici per taluni veicoli adibiti al trasporto su strada, al fine di promuovere e stimolare il mercato dei veicoli puliti e a basso consumo energetico e di potenziare il contributo del settore dei trasporti alle politiche dell'Unione in materia di ambiente, clima ed energia.

Per l'Italia, i dettagli di applicazione, comprensivi di ulteriori meccanismi premianti negli appalti[14], sono stati precisati con il Decreto 17 giugno 2021 del Ministero della Transizione ecologica, pubblicato sulla G.U. n. 157 del 17 giugno 2021, "*Criteri ambientali minimi per l'acquisto, leasing, locazione, noleggio di veicoli adibiti al Trasporto su strada*".

I *veicoli puliti* (*Low Emission Vehicle* - LEV) sono classificati sulla base di norme di rimando, tra cui la principale è direttiva 2014/94/UE[15] cosiddetta "DAFI" in tema di realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi, nonché sulla base dei relativi ulteriori rimandi.

Possono quindi essere considerati come *veicoli puliti* i mezzi alimentati a:

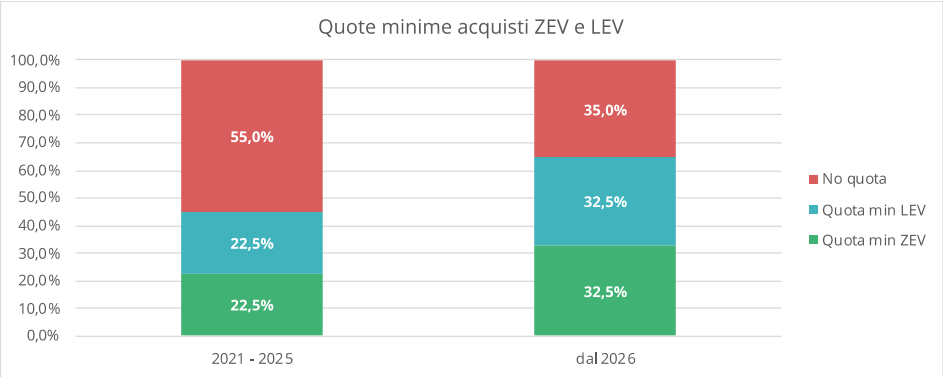
- elettricità;
- idrogeno;
- biocarburanti non di tipo primario;
- combustibili sintetici e paraffinici;
- gas naturale, compreso il biometano, in forma gassosa (CNG) e liquefatta (GNL);
- gas di petrolio liquefatto (GPL).

Si considera *veicolo emissioni zero* (Zero Emission Vehicle - ZEV) un veicolo privo di motore a combustione interna o con un motore a combustione interna che emette meno di 1 g CO_2/kWh o 1 g CO_2/km. Ne segue che sono considerabili tali i mezzi alimentati a:

- elettricità;
- idrogeno.

Di seguito si visualizzano gli obiettivi minimi di approvvigionamento per tipologia di veicolo.

Figura 6: Obiettivi minimi approvvigionamento ZEV, LEV (principali 13 stati membri UE)



Fonte: Elaborazione GREEN su parametri Direttiva 1161/2016/EU

La normativa non cita i veicoli dotati di motorizzazione ibrida, ma l'analisi e la più comune interpretazione è che solo i veicoli ibridi di tipo plug-in possano essere considerati come puliti (LEV).

Figura 7: Classificazione ZEV, LEV

MOTORIZZAZIONE	CLASSIFICAZIONE	QUOTA DI MERCATO RISERVATA 2021-2025	QUOTA DI MERCATO RISERVATA 2026-2030
Diesel	n.c.	residuale; < 55%	residuale; < 35%*
Ibrido	n.c.		

[14] I criteri premianti sono legati ai seguenti parametri: Sistemi automatici di controllo della pressione degli pneumatici, efficienza del sistema di condizionamento aria, l'estensione della garanzia della batteria di trazione, il livello di emissioni sonore, l'efficienza del sistema di frenata rigenerativa, utilizzo di luci al led per l'illuminazione e la segnalazione luminosa-luci esterne, utilizzo di materiali riciclati e plastiche bio-based per i rinvestimenti interni, le imbottiture e i materiali termoplastici, il riciclo e recupero delle batterie elettriche a fine vita.

[15] Direttiva 2014/94/UE, articoli 2.1 e 2.2

Motori endotermici alimentati a combustibili gassosi, sintetici e paraffinici	LEV	22,5%	32,5%
Idrogeno	ZEV	> 22,5%	> 32,5%
Elettrico	ZEV		
*il diesel puro non è in grado di rispettare la normativa EuroVII, quindi andrà fuori mercato dal 2026 lasciando solo l'ibrido			

Fonte: Elaborazione GREEN su parametri Direttiva 1161/2016/EU

1.1.2 Gli indirizzi della Direttiva Euro VII

Nel marzo 2020 è stato avviato da parte della DG Growth della Commissione Europea il processo di consultazione per il nuovo standard di emissioni Euro VII relativo alle emissioni di inquinanti delle motorizzazioni dei mezzi pesanti stradali (compresi i bus), che è previsto entrerà in vigore nel 2026 e superando così lo standard Euro VI entrato in vigore nel 2013.

L'iter di approvazione definitiva della Direttiva è previsto per l'ultimo trimestre del 2021, dopo aver concluso il confronto fra la Commissione Europea, il Parlamento e il Consiglio.

L'Euro VII, oltre a imporre nuovi limiti sulle emissioni, avrà tre specifici obiettivi.

1. Semplificare l'attuale quadro normativo, che al momento è diverso, nelle norme e nelle scadenze, per auto/furgoni (light duty) e per camion/autobus (heavy duty). Questa complessità è oggi causa di ritardi nello sviluppo e di un aumento di costi per l'industria.
2. Evitare le interpretazioni nazionali nelle applicazioni;
3. Controllare le emissioni anche durante l'intera vita dei veicoli, non solo in fase di immissione sul mercato, attraverso dati raccolti dai sistemi installati nei mezzi (On-board monitoring, OBM) e poi verificati da una "sorveglianza del mercato" e da test di conformità.

Per poter rispondere ai prevedibili nuovi limiti alle emissioni sarà necessario da parte delle aziende produttrici di motorizzazioni con motori endotermici di porre nuove attenzioni alle seguenti componenti tecnologiche, come segnalato dall'associazione di settore ACEA[16], che prevedibilmente porteranno ad un aumento dei costi dei bus anche per tener conto dei possibili trade-off rispetto alle emissioni di gas clima-alteranti, che, come descritto meglio successivamente, porteranno ad un incremento dei costi di produzione delle motorizzazioni compreso fra i 5 e i 10.000 Euro[17]:

- adozione di turbocompressori elettrici, per migliorare l'efficienza ai bassi regimi e ai bassi carichi e velocizzare lo start-up termico del motore, con una possibile riduzione dei consumi e dei gas serra;
- aumento del regime minimo nelle condizioni stazionarie per aumentare il flusso e quindi aumentare le temperature dei gas di scarico, con un prevedibile aumento dei consumi e dei gas serra;
- riscaldamento elettrico dei catalizzatori durante le fasi di start&stop (nessun impatto sui consumi e sui gas serra);
- iniezione del carburante direttamente nei tubi di scarico per alzare la temperatura dei gas, con prevedibile aumento dei consumi e dei gas serra;
- filtri passivi a freddo di NOx, che viene intrappolato e poi rilasciato solo quando l'SCR è caldo abbastanza, con prevedibile aumento dei consumi e dei gas serra;
- integrazione del sistema SCR nel filtro anti-particolato (DPF), per avvicinare il sistema al motore e quindi rendere più veloce il riscaldo (nessun impatto sui consumi e sui gas serra).

[16] European Automobiles Manufacturers Association- ACEA – Comments to material presented in AGVES on 8 April 2021 and technical recommendations key future Euro 7/VII requirements
[17] Si veda anche ICCT 2021.

1.1.3 Gli indirizzi della Direttiva Fuel Quality

La direttiva Fuel Quality[18] richiede agli Stati membri di ridurre il livello di intensità in termini di gas clima-alteranti nei carburanti utilizzati nel settore dei trasporti di minimo il 6% fra il 2010 e il 2020. I dati presentati nel novembre del 2020 indicano che nel periodo 2010-2018 il livello di riduzione raggiunto nei 27 Stati membri è stato del 3,7%[19]. L'obiettivo è raggiungibile attraverso il sostegno allo sviluppo di carburanti alternativi (bio-fuel, elettrificazione, ad esempio) o attraverso la riduzione delle emissioni upstream (flaring and venting, ad esempio). La DG Clima della Commissione Europea ha avviato i primi confronti con gli stakeholders per l'aggiornamento della Direttiva, che si prevede potrà portare ad una nuova proposta entro il 2023 ed incidere pertanto sulle scelte strategiche in tema di motorizzazioni del settore del TPL a partire da quella data.

In questo contesto è da rimarcare come la direttiva europea Fuel Quality sarà sinergica e complementare alla Direttiva UE sulla promozione dell'uso delle fonti rinnovabili (la n. 2018/2001, definita RED II), che prevede in particolare che ogni Stato membro fissi un obbligo di immissione in consumo di biocarburanti in capo ai fornitori di carburante fossile che assicuri, entro il 2030, una quota minima di penetrazione nel settore trasporti del 14% sul consumo, target elevato dal Piano Nazionale Integrato Energia e Clima - PNIEC italiano al 22% allo stesso anno. La direttiva dà particolare rilevanza ai biocarburanti avanzati (es. recital 36 e 85), marginalizzando progressivamente il contributo di quelli prodotti a partire da colture alimentari o foraggere. Il contributo dei biocarburanti avanzati (compreso il biometano avanzato), come quota minima di immesso in consumo, è previsto in crescita dallo 0,2 % al 2022, all'1% al 2025 al 3,5% nel 2030 (che per l'Italia sale fino al 4% come indicato nel PNIEC). La direttiva RED II, inoltre, consente agli Stati membri di considerare nel calcolo della quota minima di penetrazione delle rinnovabili per il settore trasporti anche i carburati da carbonio riciclato (recycled carbon fuel), carburanti prodotti da rifiuti o dal gas derivante dal trattamento dei rifiuti, consentendo di valorizzare, in ottica circolare, rifiuti altrimenti destinati a essere inviati a termovalorizzazione o a smaltimento.

1.1.4 Le politiche europee per il supporto all'industria delle batterie

Le strategie di policy europee sono accompagnate anche da un rilevante programma di investimenti in ricerca e sviluppo per il settore automotive avviato dalla Commissione Europea nell'ambito di diversi programmi industriali, fra cui Horizon 2020. Per l'ambito specifico "Smart, Green and Integrated Transport" di questo programma, nel periodo 2014-2020 sono stati dedicati 6,5 miliardi di euro di co-finanziamenti comunitari. Nell'ambito della revisione del programma avvenuta ad inizio del 2019 è stata inserita la priorità definita "Building a Low-Carbon, Climate Resilient Future: Next-Generation Batteries", tesa a valorizzare le sinergie fra gli operatori sul tema delle batterie elettriche a supporto dell'evoluzione del settore dei trasporti.

Questo aspetto risulta particolarmente rilevante, in quanto, secondo le stime del Forum economico mondiale del 2019, fra il 2020 e il 2030 vi è la necessità di incrementare la produzione globale di batterie fino a 19 volte per accelerare la transizione verso un'economia a basse emissioni di carbonio.

Ai programmi di ricerca industriale dal maggio del 2018 è stato affiancato l'Action Plan strategico per le batterie in Europa, con una visione olistica (dalla produzione al riuso e riciclo) per attrarre nuovi investimenti e nuovi operatori in Europa per sviluppare una catena del valore completa nel settore delle batterie. L'action plan rafforza l'iniziativa promossa dalla Commissione Europea nell'ottobre del

[18] Direttiva 98/70/EC of the European Parliament and of the Council relating to the quality of petrol and diesel fuels and amending Council Directive 93/12/EEC, OJ L 350 of 28.12.1998

[19] COM/2020/0742 – Report from the Commission - Quality of petrol and diesel fuel used for road transport in the European Union (Reporting year 2018)

2017 [20] nell'ambito dell'European Batteries Alliance, sviluppata quale componente di una politica industriale tesa a promuovere tutte le iniziative di policy su un tema definito di interesse strategico comune, che prevedibilmente porterà ad una riduzione dei costi per la componente chiave degli e-bus e dei bus ad idrogeno. Queste iniziative nel corso del 2020 sono state rafforzate dalle iniziative "Battery 2030+", nell'ambito di progetti di coordinamento del programma Horizon 2020, e dalla partnership strategica definita 2Zero in cui i temi del vehicle to grid sono affrontati in modo prioritario.

In considerazione dell'importanza strategica delle batterie e per fornire certezza giuridica a tutti gli operatori coinvolti ed evitare discriminazioni, ostacoli al commercio e distorsioni sul mercato delle batterie, è stato ritenuto necessario stabilire norme sui parametri di sostenibilità, le prestazioni, la sicurezza, la raccolta, il riciclaggio e la seconda vita delle batterie, nonché sulle informazioni relative alle stesse nel dicembre 2020 la Commissione ha presentato una proposta di regolamento per disporre di un quadro normativo armonizzato per gestire l'intero ciclo di vita delle batterie immesse sul mercato dell'Unione[21].

1.1.5 Gli indirizzi della proposta di Regolamento relativo alle batterie e ai rifiuti da batterie e le logiche dell'economia circolare

Il 10 dicembre 2020 la Commissione Europea ha presentato la proposta di Regolamento relativo alle batterie e ai rifiuti da batterie. Questo Regolamento si basa sugli impegni assunti e sulle relazioni adottate dalla Commissione europea, tra cui il piano d'azione strategico sulle batterie[22], il nuovo piano d'azione per l'economia circolare[23], la nuova strategia industriale per l'Europa[24] e la strategia per una mobilità sostenibile e intelligente[25], il cui obiettivo è ridurre del 90 % le emissioni di gas a effetto serra prodotte dai trasporti, entro il 2050.

Nel medio e lungo periodo l'iniziativa sarà in grado di incidere in modo significativo sia sui costi delle batterie in fase di acquisto sia sulla valorizzazione delle componenti in fase di seconda vita. Il Regolamento, infatti, affronta tre gruppi di problemi strettamente interconnessi relativi alle batterie.

1. Il primo gruppo riguarda la mancanza di condizioni generali che incentivino ad investire nella capacità di produzione di batterie sostenibili. Tali problemi sono collegati al funzionamento

[20] In realtà l'iniziativa si inserisce in un filone di policy attivato da lungo tempo, in quanto già nel 1978 attraverso la DG Mercato Interno e Affari Industriali la Commissione Europea promuoveva la fondazione dell'European Association for Battery, Hybrid and Fuel cell Electric Vehicles - AVERE, strutturata in Sezioni Nazionali con l'incarico di sviluppare attività di analisi e di stimolo alla diffusione della E-Mobility, percepita già allora come una delle soluzioni di lungo termine per una mobilità sostenibile. Inoltre, la produzione di batterie in Europa, in impianti alimentati al 100% da fonti rinnovabili e con moderni processi industriali, permetterà di ridurre drasticamente l'impatto in termini di emissioni di CO2 all'interno della LCA dei veicoli elettrici, rispetto alla situazione attuale in cui gran parte delle batterie è prodotta in contesti asiatici dove oltre l'80% del mix energetico per la produzione di elettricità è basato su combustibili fossili. In Italia, a Teverola (Ce), nello stabilimento con una superficie coperta di circa 38.000 mq. ed aree esterne per circa 112.000 mq. nelle aree ex Whirpool, è stato avviato un impianto altamente innovativo per la produzione di celle e moduli per accumulatori al litio oltre che per la produzione della materia attiva. A fine marzo 2021 sono state completate le attività di ramp-up della capacità produttiva. L'impianto ha una capacità installata iniziale di circa 300 MWh/annui di accumulatori al litio per applicazioni Motive Power, navali, veicoli elettrici e Storage. Nella medesima area è in fase di sviluppo un secondo sito produttivo, con l'obiettivo di incrementare l'attuale capacità produttiva e installare un impianto altamente innovativo per la produzione di celle, moduli e accumulatori, in grado di soddisfare la crescente domanda del mercato. In aggiunta, è previsto lo sviluppo di una linea pilota per il riciclo degli accumulatori esausti al litio ed il recupero del materia attivo. L'area di Teverola sarà il primo cluster tecnologico per la produzione di batterie al litio in Italia ed in Sud Europa.

[21] Proposta di Regolamento COM 2020/0353 relativo alle batterie e ai rifiuti di batterie, che abroga la direttiva 2006/66/CE e modifica il regolamento (UE) 2019/1020.
[22] Allegato della comunicazione COM(2018) 293 final.
[23] COM(2020) 98 final.
[24] COM(2020) 102 final.
[25] COM(2020)789.

inefficiente del mercato unico e alla mancanza di sufficiente parità di condizioni[26] dovuta alla divergenza dei quadri normativi nel mercato interno. Tra le cause di fondo figurano l'attuazione non omogenea della direttiva sulle batterie e la mancanza di informazioni affidabili e comparabili a livello UE.

2. Il secondo gruppo di problemi riguarda il funzionamento non ottimale del mercato del riciclaggio e l'esistenza di un cerchio dei materiali non sufficientemente chiuso, che limitano il potenziale dell'UE di mitigare il rischio connesso all'approvvigionamento di materie prime. Il quadro normativo attuale presenta una serie di carenze. Tra queste, la mancanza di norme chiare e sufficientemente armonizzate, e la presenza, nella direttiva sulle batterie, di disposizioni che non tengono conto dei recenti sviluppi tecnologici e di mercato. Tali carenze riducono la redditività delle attività di riciclaggio e frenano gli investimenti nelle nuove tecnologie e nella capacità supplementare di riciclare le batterie del futuro.
3. Il terzo gruppo di problemi riguarda i rischi sociali e ambientali che attualmente non sono disciplinati dalla normativa ambientale dell'UE. Tali problemi comprendono: i) una mancanza di trasparenza in merito all'approvvigionamento di materie prime, ii) le sostanze pericolose e iii) il potenziale non sfruttato per compensare l'impatto ambientale del ciclo di vita delle batterie.

Alla base di questi problemi vi sono fallimenti del mercato e carenze informative. Entrambi questi aspetti sono connessi al funzionamento del mercato unico. Gli stessi sono inoltre esacerbati da un terzo fattore: la complessità delle catene del valore delle batterie.

La proposta si pone un triplice obiettivo: 1) rafforzare il funzionamento del mercato interno (compresi prodotti, processi, rifiuti di batterie e materiali riciclati), garantendo la parità di condizioni attraverso un insieme comune di norme, 2) promuovere un'economia circolare e 3) ridurre gli impatti sociali e ambientali in tutte le fasi del ciclo di vita delle batterie. Questi tre obiettivi sono strettamente interconnessi ed andranno ad incidere in modo significativo sulle strategie dei produttori di bus e di batterie, sostenendo in modo significativo lo sviluppo e la valorizzazione dei processi di recupero delle batterie usate ai fini della rigenerazione delle stesse.

In particolare, il Regolamento prevede che dal 1º luglio 2024 potranno essere essere immesse sul mercato industriale ed automobilistico solo pile e batterie ricaricabili accompagnate da una dichiarazione dell'impronta di carbonio. Dal 1º gennaio 2026 dovranno inoltre recare un'etichetta che ne indichi la classe di prestazioni in termini di intensità di carbonio e dal 1º luglio 2027 dovranno rispettare soglie massime per carbon footprint. La Commissione propone di mantenere le restrizioni esistenti all'uso di sostanze pericolose –mercurio e cadmio– in tutti i dispositivi di accumulo. Dal 2027, inoltre sarà obbligatorio per le unità usate da industria e automotive dichiarare il tenore di cobalto, piombo, litio e nichel riciclati. Dal 2030 le percentuali aumenteranno: 12% cobalto, 85% piombo, 4% litio e 4% nichel. Un terzo rialzo è previsto dal 2035: 20% cobalto, 10% litio e 12% nichel.

Per quanto riguarda le prestazioni e la durabilità, la proposta prevede lo sviluppo di requisiti minimi per le pile portatili di uso generale (ricaricabili e non) entro il 1º gennaio 2026, così come per le pile e le batterie industriali ricaricabili.

Inoltre, il Regolamento propone di rafforzare ulteriormente le prescrizioni vigenti in materia di rimovibilità, che impongono ai produttori di progettare gli apparecchi in modo da rimuovere facilmente i sistemi d'accumulo. La bozza istituisce anche un nuovo obbligo di sostituibilità, in forza del quale gli apparecchi devono continuare a funzionare anche sostituendo le batterie. Infine prevede di incrementare gli obiettivi di efficienza dei processi di riciclaggio e di definire un obiettivo specifico la tecnologia al litio.

[26] Per "parità di condizioni" si intende una serie di norme e regole comuni che impediscono alle imprese di un paese di ottenere un vantaggio competitivo rispetto a quelle che operano in altri paesi.

1.1.6 Sintesi e tempistiche degli indirizzi comunitari

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 motorzzazione delle flotte su strada.

Figura 8: Strumenti di policy europei in grado di incidere sulle scelte degli operatori di TPL in tema di motorizzazioni dei bus al 2025 e al 2030

POLITICHE EUROPEE E STATO DI APPROVAZIONE	SINTESI DESCRITTIVA	CRONOPROGRAMMA DEGLI IMPATTI
Direttiva UE Clean Vehicle *(approvata)*	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 *(proposta definitiva attesa entro il 2021 ed entro il 2023 l'approvazione dei Parlamenti dei rispettivi Paesi)*	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 *(proposta della Commissione Europea prevista entro il 2023 e l'approvazione dei Parlamenti dei rispettivi Paesi entro il 2025)*	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 *(proposta di regolamento presentata nel dicembre 2020 con approvazione prevista entro il 2023)*	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

1.2 Le politiche e i target a livello italiano per le flotte del trasporto pubblico locale

1.2.1 Il Piano Nazionale per la Mobilità Sostenibile del 2019

La flotta dedicata al trasporto pubblico in Italia ha un'età media di 10,5 anni, significativamente superiore alla media europea di 7 anni, con l'effetto diretto di generare un livello medio dei costi di manutenzione (per i bus nuovi il costo medio di manutenzione è sei volte inferiore rispetto ai bus con età superiore ai 15 anni) e di consumo più elevato. La flotta dedicata al TPL (urbano ed extraurbano) è composta da circa 41.000 bus, di cui il 40% è considerato ad elevate emissioni (inferiore ad Euro 4)[27].

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 locale, come evidenziato anche in Italia dal Piano 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,

[27] CDP, ASSTRA, 2019. Investire nel TPL

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.

1.2.2 Il Piano Nazionale Ripresa e Resilienza del 2021

Anche nel Piano Nazionale Ripresa e Resilienza (PNRR) presentato nel Maggio 2021, lo sviluppo di un trasporto locale più sostenibile è un obiettivo strategico, non solo ai fini della decarbonizzazione ma anche come leva di miglioramento complessivo della qualità della vita: riduzione inquinamento dell'aria e acustico, riduzione delle congestioni e integrazione di nuovi servizi. Questo obiettivo è declinato attraverso l'accelerazione della promozione di trasporto pubblico locale 'verde', con un programma di grande rinnovamento del parco bus oramai obsoleto verso soluzioni a basse/ zero emissioni (es., rinnovo parco autobus composto da 5.540 mezzi e ritiro dei mezzi EURO 0, 1, 2 e parte degli EURO 3).

Questo obiettivo è rafforzato ulteriormente dagli investimenti previsti dal 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 Piano Strategico Nazionale per la Mobilità Sostenibile (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).

In particolare, 1,095 mld di Euro sono dedicati al TPL full electric e 1,4 mld ad autobus innovativi ad emissioni zero, che permetteranno 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). Questo permetterà la sostituzione di circa l'8% della flotta bus per il TPL in Italia, con importanti effetti in termini di accelerazione delle tempistiche e di esemplificazione delle best practices, ma con complessivi effetti limitati sul settore, tenendo conto che, sulla base dei dati ANFIA, in Italia nel 2019 sono stati registrati 2.208 bus dedicati al trasporto pubblico di linea di cui 1.426 urbani. Pertanto, il fondo del PNRR nei 6 anni di intervento (2021-2026) potrà finanziare circa un terzo del numero di bus previsti per il rinnovo naturale delle flotte urbane. Circa un terzo delle risorse è destinato alle principali città italiane.

Il PNMS prevede il graduale rimpiazzo di autobus e mezzi di trasporto pubblici con nuovi veicoli meno inquinanti, in particolare veicoli elettrici. Il rinnovo del parco autobus italiano e il miglioramento del livello di servizio implicano la creazione di sufficiente capacità produttiva e un profondo rinnovo del settore, sia in termini di riconfigurazione delle industrie attuali verso nuove tecnologie sia in termini di maggiore efficienza energetica e minore impatto ambientale. L'intervento è di conseguenza finalizzato alla diffusione e promozione di trasformazione tecnologica della filiera legata alla produzione autobus in Italia, con principali obiettivi l'espansione della capacità produttiva ed il miglioramento dell'impatto ambientale.

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. Il 50% dei fondi è destinato alle Regioni del Sud Italia.

La somma degli investimenti per la flotta, per le infrastrutture e per lo sviluppo della filiera dei bus elettrici in Italia fra il 2021 e il 2026 prevista dal PNRR e dal piano complementare è pari a 3,31 mld di Euro.

Figura 9: Gli investimenti previsti dal PNRR e dal Piano complementare per il rinnovo della flotta bus e per le infrastrutture di supporto in Italia

TIPOLOGIA DI FONTE DI FINANZIAMENTO	2022	2023	2024	2025	2026	NOTE
PNRR	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
Piano complementare	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.
TOTALE	**112,12**	**205,74**	**799,01**	**873,91**	**1.024,91**	-

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

In questo contesto di policy molto favorevoli al supporto all'evoluzione delle motorizzazioni degli autobus urbani, è da rilevare come a livello italiano l'energia elettrica quale fonte energetica per il parco di bus non sia diffusa come in molti altri Paesi UE, nonostante gli studi promossi a livello europeo evidenzino la possibilità di evitare il consumo di 22.500 litri di gasolio e la riduzione di 58,5 tonnellate di CO_2[28] all'anno per ciascun bus se si passa da bus alimentato a combustibile fossile Euro 6 ad autobus full electric[29] alimentato da energia rinnovabile certificata, come ad esempio nel caso delle flotte di Milano e Torino. Questo dato evidenzia come il passaggio verso motorizzazioni full electric offra risultati particolarmente rilevanti dal punto di vista della sostenibilità ambientale.

1.2.3 La normativa italiana in tema di bus-to grid

Con l'obiettivo di accelerare la partecipazione dei veicoli elettrici al mercato dei servizi di dispacciamento (Vehicle Grid Integration) e permettere di generare ricavi ai detentori di veicoli che mettono a disposizione del gestore della rete la propria batteria, il Ministero dello Sviluppo Economico nel gennaio 2020 ha emanato un decreto[30] per consentire lo sviluppo della tecnologia vehicle to grid. Si tratta della tecnologia che permette l'interazione tra veicoli elettrici e sistema elettrico, consentendo ai veicoli di erogare, attraverso le infrastrutture di ricarica, i seguenti servizi:

- servizi di riserva terziaria e bilanciamento della rete elettrica, articolati nelle modalità «a salire» ed «a scendere», nonché' di risoluzione delle congestioni;
- ulteriori servizi tra i quali la regolazione primaria e secondaria di frequenza e la regolazione di tensione, ove tecnicamente fattibile.

In particolare, qualora i servizi predetti comportino anche iniezioni di potenza dalla batteria del veicolo verso la rete, essi sono denominati «V2G»; in casi diversi, tali servizi sono denominati «V1G». Le

[28] L'unità di conversione suggerita dalla Commissione Europea è di 1 litro di diesel pari a 2,6kg di CO2 e di calcolo è basato sui consumi medi di un bus di 12 metri che percorre 55.000km annui in ambito urbano ad una velocità media di 14 km/h.
[29] Si veda la Comunicazione 1098 del 26 febbraio 2018 della Commissione Europea "SA.48190 (2017/N) – Germany – Support scheme for the acquisition of electric buses for urban public transport".
[30] Decreto 30 gennaio 2020 Criteri e modalità per favorire la diffusione della tecnologia di integrazione tra i veicoli elettrici e la rete elettrica, denominata vehicle to grid.

condizioni e le modalità di partecipazione dei veicoli elettrici sono individuate nella regolazione delle Unità virtuali abilitate miste (UVAM), ovvero unità caratterizzate dalla presenza di unità di produzione non rilevanti (programmabili o non programmabili), unità di consumo, sistemi di accumulo e anche di veicoli elettrici collegati alla rete tramite infrastrutture di ricarica.

Dal punto di vista tecnologico, il funzionamento V2G necessita di sistemi di ricarica bidirezionale e di un opportuno software di gestione, oggetto di progetti pilota in molti Paesi, fra cui l'Italia.

La remunerazione del servizio di accumulo, che può essere reso disponibile al singolo utente, a una "comunità dell'energia" o microrete, al sistema elettrico nel suo complesso, è oggetto di approfondimenti da parte del Gestore dei Servizi Energetici (GSE), che nel Novembre 2020 ha pubblicato la Procedura informativa a tutela dei detentori dei veicoli elettrici. La procedura inquadra i soggetti coinvolti nei vari casi di ricarica privata o ad accesso pubblico e definisce per ciascuno di essi i flussi informativi, suddivisi tra informazioni rese disponibili ex-ante, prima che la ricarica e gli eventuali servizi di rete abbiano luogo, e un set informativo ex-post. Più nello specifico le informazioni ex-ante danno indicazioni sul possibile uso del sistema di accumulo del veicolo per fornire servizi di rete, prevedendo la possibilità per il detentore del veicolo di definire eventuali limiti all'uso della batteria, garantendo al contempo piena compatibilità con le proprie esigenze di ricarica.

Quelle ex-post consentono la rendicontazione trasparente dell'utilizzo dell'accumulo per i servizi di rete, esprimendo gli intervalli di tempo di uso della batteria in modalità V1G o V2G e l'eventuale energia fornita dalla stessa verso la rete.

1.3 Una visione di sintesi delle policy europee e nazionali in grado di incidere sugli scenari degli operatori di TPL in tema di flotta

La tabella successiva permette di schematizzare gli effetti degli strumenti di policy europei e nazionali, già approvati o in fase di approvazione, in grado di incidere sulle scelte strategiche degli operatori di TPL in tema di flotta. Il livello di intensità del colore utilizzato per lo sfondo della casella identifica la rilevanza dell'intervento, 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%
2. Rilevante, cioè in grado di modificare le scelte degli operatori per una quota della flotta di bus compresa fra il 10 e il 20%
3. Poco rilevante, cioè in grado di modificare le scelte degli operatori per una quota della flotta di bus inferiore al 10%.

Figura 10: Impatti degli strumenti di policy in grado di incidere sulle scelte degli operatori di TPL in tema di motorizzazione 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). 1: molto rilevante; 2: rilevante; 1: poco rilevante*					

Fonte: Elaborazione GREEN

1.4 Stime sull'evoluzione della flotta TPL urbano in Italia

Sulla base delle analisi delle Direttive Clean Vehicle ed Euro VII, emerge chiaramente come il combinato disposto di questi due strumenti di policy comunitari (uno approvato e uno in corso di approvazione), rafforzati dalle scelte del Piano Nazionale Energia e Clima, imponga limiti importanti alla possibilità di immatricolare alcune tipologie di motorizzazioni di bus che non rispettano i parametri ambientali in esse specificati.

Sulla base di tali requisiti, e partendo alla composizione attuale della flotta di autobus per TPL urbano, nonché dalla relativa evoluzione negli ultimi anni, è possibile stimare come si svilupperà la consistenza della futura flotta in termini di motorizzazioni a livello italiano.

Di seguito si elencano le principali ipotesi alla base della stima:

- La motorizzazione diesel pura potrà essere commercializzata solo fino al 2025. A partire dal 2026 non sarà in grado, da sola, di rispettare i parametri della direttiva Euro VII e andrà quindi fuori mercato.
- Le motorizzazioni diesel ibrida o mild-hybrid subentreranno man mano al posto di quella diesel e la sostituiranno completamente a partire dal 2026. In termini di quote di mercato, in accordo con la direttiva Clean Vehicle, potranno ambire alla quota residuale non normata, pari al 55% fino al 2025, quindi del 35% dal 2026.
- Le motorizzazioni elettrica e ad idrogeno, considerate ZEV ai fini della direttiva Clean Vehicle, avranno invece una quota di mercato riservata pari al 22,5% fino al 2025, quindi del 32,5% dal 2026.

L'attuale flotta italiana di autobus per TPL urbano consta in circa 18.000 veicoli, aventi un'età media di poco più di 10 anni. Se fino al 2017 le immatricolazioni di nuovi mezzi non superavano le 500 unità all'anno, nell'ultimo triennio (2018-2020) si sono superate le mille unità, attestandosi attorno alle 1.400 unità all'anno.

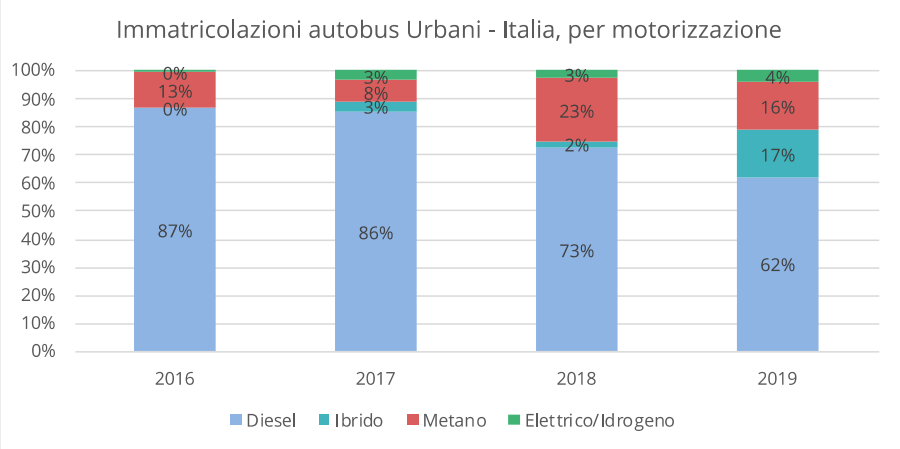
Figura 11: La consistenza del parco autobus in Italia

	2015	2016	2017	2018	2019
Autobus TPL Urbano	18.919	18.764	18.463	18.188	17.857
Autobus TPL Extraurbano	27.544	26.337	26.276	25.779	25.310
Altri autobus	51.528	52.716	54.361	56.075	56.982
TOTALE	**97.991**	**97.817**	**99.100**	**100.042**	**100.149**

Fonte: Elaborazioni GREEN su Conto Nazionale dei Trasporti 2018-19

La figura seguente mostra l'evoluzione delle varie motorizzazioni degli autobus di prima immatricolazione in Italia utilizzati per TPL urbano.

Figura 12: Quote di motorizzazione, bus TPL urbano di prima immatricolazione in Italia 2016-19

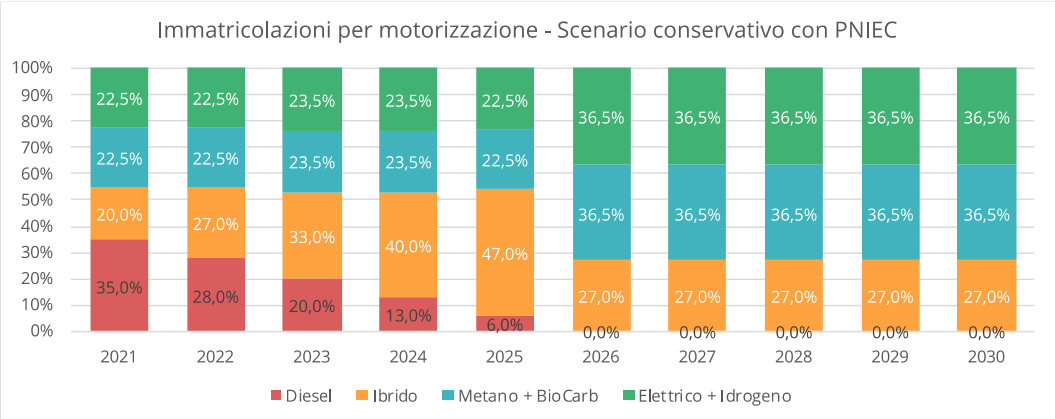


Fonte: Elaborazione GREEN su dati ANFIA

Com'è possibile osservare, la quota di mercato della motorizzazione diesel è in forte riduzione, a tutto vantaggio delle motorizzazioni a metano, ibride o elettriche e ad idrogeno.

Applicando le ipotesi di cui sopra, in ragione delle direttive citate, di seguito si ipotizza la ripartizione delle motorizzazioni dei bus TPL relative alle nuove immatricolazioni nei prossimi 10 anni in Italia. Lo scenario è conservativo, ovvero considera il rispetto minimo dei requisiti della direttiva Clean Vehicle, e di quelli previsti dal PNIEC per le città a maggior livello di inquinamento. In questo caso, le quote ZEV e LEV potranno essere superiori: del 2% (1% cad) nel 2021-2025, con una quota massima del diesel del 53%. Nel periodo 2026-2030, la quota delle ZEV e LEV può salire dell'8% (4% cad), relegando la quota del diesel/ibrido al 27%.

Figura 13: Stima conservativa delle nuove immatricolazioni di bus urbani TPL in Italia



Fonte: Elaborazione GREEN su parametri direttive Euro VII, Clean Vehicle e PNIEC

2 Parametri e ipotesi nelle valutazioni del TCRO per le flotte bus

L'analisi di benchmark ha l'obiettivo di comprendere le condizioni di contesto necessarie per poter giungere ad un'economicità operativa del servizio di TPL con bus elettrici rispetto a bus alimentati con carburanti fossili (diesel e metano), ad idrogeno o con altre fonti energetiche meno inquinanti rispetto ai carburanti fossili, in logica "Total costs and revenues of ownership" (TCRO).

Lo studio si offre come strumento di supporto alle scelte decisionali da parte delle imprese di trasporto pubblico e per gli enti appaltanti di contratti di servizio per il trasporto pubblico locale nell'ambito della scelta relativa alla motorizzazione della flotta di bus da utilizzare nel contesto di riferimento.

Questa scelta di natura strategica è divenuta particolarmente complessa nel corso degli ultimi anni per diversi fattori di policy e regolamentazione a diversi livelli (internazionali, europee, nazionali e locali), di natura organizzativa (con il coinvolgimento di nuovi operatori nel settore) e di rapida evoluzione dei modelli di produzione industriale (ingresso di nuovo produttori) schematizzabili nei seguenti elementi:

Fattori di policy:

- Il contesto di policy (europeo, nazionale o locale) può incidere su aspetti quali l'obbligo di acquisto di determinate tipologie di motorizzazione o indicare livelli differenziati di co-finanziamento dell'acquisto dei mezzi in modo da modificare le scelte di natura industriale, per tener conto di tematiche di sostenibilità e di target ambientali specifici;
- La sensibilità politica ad elementi di qualità del servizio del TPL, in termini di riduzione delle esternalità ambientali più rilevanti in ambito urbano (polveri sottili, rumore, oltre ai gas clima-alteranti), di comfort di bordo o di accettabilità sociale del rumore in particolare alle fermate, può portare a scelte da parte degli enti appaltanti con approcci e visioni più olistiche del ruolo del TPL in ambito urbano.

Fattori di natura organizzativa dei servizi di TPL:

- La visione del sistema di TPL come una rete di infrastrutture e servizi sempre più integrata, resa possibile dalle tecnologie in grado di offrire all'utenza informazioni di dettaglio in tempo reale rispetto ad aspetti organizzativi e commerciali delle diverse modalità di trasporto (servizio ferroviario metropolitano, metrò, tram, micromobilità, parcheggi di interscambio) permette una valorizzazione delle specificità funzionali degli autobus in una strategia sistemica da parte degli operatori del TPL con una profilazione delle missioni di servizio dei diversi bus in grado di affinare il processo di selezione delle motorizzazione adeguandolo alle esigenze puntuali delle linee;
- Le differenziazioni delle linee automobilistiche, in termini di lunghezza, frequenza, topografia, livello di climatizzazione necessario, possono portare a differenti esigenze di servizio o consumi differenti rispetto alla media, pertanto la scelta della tipologia di motorizzazione più idonea può cambiare molto anche fra linee con frequentazioni similari all'interno della stessa città, identificando differenti potenzialità di sostituzione delle motorizzazioni delle linee, che in casi specifici può dipendere anche dall'adeguata disponibilità o meno di aree di deposito e di rifornimento.

Fattori di natura industriale:

- Le case produttrici offrono un numero crescente di modelli di bus con motorizzazioni alternative rispetto al tradizionale diesel e con formule di acquisto sempre più articolate, per rispondere ad esigenze sempre più sofisticate rispetto ad aspetti ambientali ed economici;

- Le comparazioni devono tener conto anche di eventuali investimenti in infrastrutture di ricarica di supporto o di modifiche del lay-out dei depositi, oltreché dei costi di investimento (CAPEX) ed operativi (OPEX), comprensivi delle manutenzioni ordinarie e straordinarie;
- Le innovazioni tecnologiche sono molto rapide e possono portare a scelte che possono risultare obsolete in tempi inferiori rispetto alla vita utile del mezzo, generando potenziali svalutazioni del valore patrimoniale dell'asset a bilancio effetti di locked-in che rallentano le evoluzioni tecnologiche.;
- Le economie di scala nelle fasi produzioni degli autobus possono permettere di ridurre in modo significativo i costi di acquisto e di gestione, in particolare se il lotto di fornitura consente di attivare anche efficientamenti nei modelli organizzativi delle attività di manutenzione, oltreché nella gestione dei depositi, in particolare per le motorizzazioni, come il full-electric, l'idrogeno, il CNG e LNG che richiedono anche nuovi elementi di infrastrutturazione da ammortizzare.

Sul mercato esistono diverse tipologie di software commerciali[31] utilizzati dalle imprese di trasporto pubblico locale e dalle agenzie di bacino per il calcolo dei costi operativi dell'organizzazione dei servizi automobilistici, ma non considerano tutte le motorizzazioni e non prevedono le inclusioni dei costi di infrastrutturazione e dei possibili ricavi resi possibili dalla valorizzazione delle batterie a fine vita utile o per il dispacciamento di rete.

La rilevanza dello strumento qui proposto è legata alla necessità di evitare semplificazioni decisionali che devono tener conto dei fattori di costi legati all'acquisto del mezzo, ma anche dei servizi ad esso associato e alle infrastrutture di alimentazione necessarie per lo stesso, come dettagliato nel successivo capitolo e suggerito dalla Direttiva per la promozione di veicoli puliti e a basso consumo energetico nel trasporto su strada e dalle Linee Guida UITP[32] sull'acquisto dei mezzi pubblici.

In particolare, le Linee Guida UITP rimarcano come in media, la composizione delle voci di costo a vita intera di un bus impegnato in servizi urbani sia composta come elemento principale (51%) dai costi legati ai carburanti, per il 24% del costo di acquisto, per il 21% dalle manutenzioni e per il 4% dai costi del capitale, sottolineando così l'importanza di gestire bandi di gara in grado di tener conto di un approccio sistemico degli elementi di costo[33]. Inoltre, la diversa durata della vita utile dei bus con differenti motorizzazioni richiede elementi di parametrizzazione più articolati, che giustificano una metodologia più evoluta, come di seguito proposto.

Le attività di ricerca e approfondimento sono basate sulla disponibilità di informazioni pubbliche provenienti da analisi di settore, ricerche di natura scientifica, bilanci aziendali, esiti di bandi di gara pubblici, approfondimenti tecnici con le imprese costruttrici e, per il mercato italiano, anche attraverso il confronto con gli operatori.

In alcuni casi, in particolare in nazioni extra-UE e per le motorizzazioni GNL e ad idrogeno, è stato necessario adottare stime parametriche ed analogiche data la limitata disponibilità di informazioni di dettaglio, in considerazione dell'esiguità delle casistiche di mercato ed in generale del basso livello di maturazione dei progetti pilota relativi a motorizzazioni alternative ai combustibili fossili tradizionali in mercati non europei.

[31] Si veda, ad esempio: Optibus, Hastus Software e PtMS.
[32] UITP Report on Bus tender structure 2020.
[33] Anche il report della francese Central d'Achat du Transport Public "Etude comporative sur le differéntes motorisation de bus" del 2017 evidenzia come il costo di acquisto di un bus Euro 6 diesel sia solo il 48% dei costi totali a vita intera, con il 37% dei costi legati ai consumi e il 15% alle manutenzioni. Questi parametri, riferiti al contesto francese del 2017, cambiano nel caso di bus ad alimentazione a gas naturale compresso, che sono indicati del 3% più elevati rispetto a quelli diesel, con una percentuale relativa al costo di acquisto pari al 54%, mentre il 22% sono i consumi e il 24% le manutenzioni.

Le analisi terranno conto delle differenze fra autobus dedicati ai centri storici o a contesti a domanda debole (da 8 metri), i bus standard (12 metri) e i bus articolati tipicamente utilizzati per i servizi definiti come bus rapid trasport (BRT) da 18 metri. In tutti i casi analizzati il contesto di riferimento sono aree metropolitane dove il numero di mezzi con motorizzazioni similari potenzialmente può raggiungere le soglie minime in termini di economie di scala per una gestione efficiente della flotta.

2.1 Introduzione al concetto di TCRO

L'approccio sistemico offerto dal concetto di TCO, che include tutti i fattori relativi ai CAPEX diretti ed indiretti (ad esempio, per infrastrutture di ricarica nei depositi o ai capolinea) e agli OPEX diretti, indiretti (per le infrastrutture di supporto) ed indotti (ad esempio, quelli relativi alla formazione per gli autisti o i manutentori), implica la raccolta di informazioni di dettaglio, con unità di misura comparabili e in contesti analoghi, obbligando all'utilizzo di stime di natura parametrica ed analogica nel caso di assenza di dati.

Lo studio include oltre ai costi anche la valutazione dei potenziali ricavi (Total Cost and Revenues of Ownership, da qui l'acronimo TCRO) nel ciclo di vita del bus derivanti dalla valorizzazione di alcune componenti del bus a fine vita, generando ricavi derivante dal valore residuo sul mercato di componenti come le batterie utilizzate per l'alimentazione, o i possibili ricavi derivanti dal possibile ruolo nei momenti in cui i bus sono in deposito delle batterie quali stabilizzatori della rete elettrica, in logica Bus2Grid. Nella figura seguente è sintetizzata la metodologia di analisi del TCRO.

Figura 14: Schema metodologico di analisi del TCRO dei bus

COMPONENTE DI COSTO AZIENDALE	
Costi di investimento	***Costi operativi***
Costo di acquisto iniziale dei bus	Costi energetici per trazione
Costo di acquisto iniziale delle infrastrutture nei depositi e ai capolinea	Manutenzione ordinaria dei bus
	Manutenzione straordinaria dei bus
	Manutenzione delle Infrastrutture
COMPONENTE DI RICAVO AZIENDALE	
Ricavi da vendita di assets	***Ricavi da vendita di servizi alla rete elettrica***
Valorizzazione a fine vita delle batterie (2ND LIFE)	Bus2Grid (B2G)
COMPONENTE DI COSTO PER LA COLLETTIVITÀ	
Esternalità ambientali: inquinanti locali, gas clima-alteranti, rumore, well to thank.	

Fonte: Elaborazione GREEN

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

Figura 15: Componenti del TCRO dei bus

COMPONENTE DI COSTO AZIENDALE	**DESCRIZIONE**
Costo di acquisto iniziale 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 eventuale 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**
Esternalità ambientali[34]	E' 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[35]) ed evidenzia i potenziali risparmi sui costi indiretti per il sistema sanitario e in termini di morte premature evitate da una maggior sostenibilità ambientale dei mezzi.

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

Le componenti del TCRO dipendono da numero di 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.

2.1.1 I vantaggi del modello di TCRO

Il modello di analisi del TCRO offre la possibilità di avere una visione sistemica di tutte le componenti reddituali e di costi nell'arco di vita utile del mezzo, con una visione integrata dell'investimento (mezzo + infrastrutture di supporto all'approvvigionamento energetico), 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 B2G.

Questo approccio di natura strategica fornisce le indicazioni utili per poter selezionare le diverse tipologie di modelli di bus utilizzabili per determinate contesti, permettendo di comprendere attraverso le analisi di sensitività i possibili effetti di specifici strumenti di policy o la modifica di determinati parametri operativi, quali ad esempio, le percorrenze.

In particolare, il modello TCRO permette di considerare i possibili effetti di strumenti di policy che sono fra le priorità a livello europeo e nazionale quali, ad esempio, quelli di incentivazione del B2G, della valorizzazione delle batterie a fine vita utile o della modifica della tassazione sui carburanti o sull'energia.

La comprensione degli switching value derivanti dalla modifica di parametri operativi o di strumenti di policy permette di adattare lo strumento non solo ai diversi contesti di mercato, ma anche a calibrare

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

[35] 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.

le iniziative al livello centrale o locale per il raggiungimento degli obiettivi di efficientamento del TPL dal punto di vista economico o ambientale.

2.1.2 I limiti del modello di TCRO

L'approccio utilizzato nelle analisi di TCRO richiede delle semplificazioni, in quanto per definizione non può essere declinato nei dettagli di costo richiesti dalle valutazioni delle singole linee, che necessitano informazioni puntuali, ad esempio, sulle velocità commerciali o sui profili altimetrici e i livelli di carico. Inoltre, non permette di valutare tutte le possibili ipotesi tecnologiche, come ad esempio il mix di opportunità di ricarica dei mezzi elettrici o le dimensioni delle batterie, o considerare possibili sinergie con infrastrutture esistenti, quali ad esempio elettrolizzatori per la produzione di idrogeno già presenti nell'area di riferimento, o la disponibilità di depositi già adeguatamente attrezzati, che permetterebbero di avviare sinergie e riduzioni di costi di investimento ed operativi.

Il diverso livello di maturità tecnologica delle motorizzazioni considerate, in particolare quelle più innovative come l'idrogeno o LNG, comporta differenti livelli di affidabilità complessiva dei mezzi, che possono tradursi in necessità di mezzi di scorta disponibili per sostituzioni impreviste o limitare l'interscambiabilità in casi emergenziali e, pertanto, generare costi aggiuntivi indiretti, che nel modello proposto non vengono presi in considerazione.

Le analisi sono basate sull'ipotesi semplicistica di riuscire ad attivare le economie di scala e di specializzazione necessarie per poter intraprendere evoluzioni delle flotte verso motorizzazioni alternative ai motori endotermici classici, ipotizzando ad esempio che la realizzazione di depositi attrezzati per gli approvvigionamenti energetici richiesti o gli opportunity charger siano a servizio di un numero ottimale di mezzi. In realtà, in particolare nel mercato italiano che è frammentato in circa 700 imprese di TPL, le dimensioni di scala non sono facilmente raggiungibili, se non attraverso forme di aggregazione e di condivisione di infrastrutture fra operatori, che richiederebbero in parallelo a scelte strategiche in tema di motorizzazione anche evoluzioni di tipo organizzativo del mercato.

L'approccio prevede una modalità di calcolo basata su parametri annuali e su un numero di km medi percorsi per ciascuna tipologia di mezzo, ma non considera eventuali tipici elementi di inefficienza, dettati da lunghezze delle linee molto diverse fra loro o le percorrenze a vuoto per raggiungere determinati e specifici depositi in grado di permettere l'approvvigionamento energetico corretto.

2.2 Rassegna della letteratura scientifica

La letteratura scientifica ha cominciato ad occuparsi di TCO degli autobus all'inizio degli anni 2000, quando gli studi in tema di sostenibilità della mobilità urbana hanno cominciato a spostarsi dai modelli organizzativi delle reti di trasporto alle differenti possibili alimentazioni dei mezzi. Uno dei primi studi è predisposto nel 2002 dall'International Energy Agency (OECD - IEA 2002), che analizza il tema della mobilità dapprima proponendo modelli innovativi nella fornitura dei servizi con sistemi di "bus rapid transit", quindi analizza le innovazioni tecnologiche disponibili per le motorizzazioni a diesel pulito, CNG, ibrido e a celle combustibili, testati in sei differenti città del mondo.

Fra gli studi più recenti di maggior interesse vi è quello coordinato per l'associazione Transport & Environment da Lucien M. nel 2018. Nello studio si confronta il TCO degli autobus diesel rispetto alle motorizzazioni innovative elettrico con ricarica notturna ed elettrico con *opportunity charging*, ma considera solamente autobus da 12 metri, una loro vita utile di soli 8 anni ed una produzione di quasi 80.000 BusKm all'anno; si limita inoltre al solo territorio europeo, tra l'altro non considerando le profonde differenze di costo tra i vari Stati. Il risultato a cui giunge è che le motorizzazioni elettriche

sono più convenienti di quella diesel solamente se si considerano anche i costi esterni in termini di sanità, clima, rumore, inquinamento ed emissioni di gas serra.

La Vrije Universiteit Brussels e lo European Copper Institute[36] hanno sviluppato un'analisi di TCO raffrontando i veicoli diesel con tre altre motorizzazioni innovative: CNG, ibrido plug-in PHEV, ed elettrico, nelle varianti con ricarica in deposito o con *opportunity charging*. Lo studio considera solamente autobus di 12 metri, prevedendo una vita utile di 10 anni ed una produzione di 60.000 BusKm all'anno. Il risultato a cui giunge lo studio è che, senza considerare i costi esterni, potrebbe esserci un vantaggio operativo degli autobus elettrici, ma solamente se con carica in deposito, in quanto l'infrastrutturazione per l'*opportunity charging* aumenterebbe i costi a livelli troppo elevati.

Anche uno studio di Bloomberg del 2018[37] giungeva al medesimo risultato. Confrontando il TCO dei bus alimentati a diesel e CNG rispetto agli autobus elettrici in tre varianti (bus da 250 kWh con ricarica lenta in deposito, bus da 110 kWh con ricarica rapida opportunity charging e bus da 110 kWh con ricarica lenta in deposito) giunge ad evidenziare come solo la variante elettrica da 110 kWh con ricarica lenta in deposito raggiunge lo stesso livello di TCO della motorizzazione diesel, evidenziando invece come la ricarica rapida ai terminali o maggiore potenza implichi investimenti che fanno lievitare i costi oltre a quelli dello scenario base con motorizzazione diesel. Nel caso specifico, lo studio considera autobus da 12 metri con una vita utile di 15 anni ed una produzione di 60.000 BusKm all'anno, pur in seguito facendo analisi di sensitività con produzioni inferiori e superiori. Anche lo studio in analisi non considera i costi esterni.

Del caso messicano, benché supportati anche da dati di TBM di Madrid, si sono occupati Barraza ed Estrada (Barraza O, Estrada M, 2018), i quali hanno calcolato il TCO di autobus da 12 e 18 metri nella città di Guadalajara, in Messico. Il confronto viene effettuato tra autobus diesel convenzionali o Euro VI e autobus elettrici, considerandoli sia con ricarica notturna che con opportunity charging. Nel caso specifico la vita utile dei mezzi viene assunta in 15 anni e la produzione è stimabile in circa 80.000 BusKm all'anno[38].

Come evidenziato dalla tabella sottostante, molteplici sono quindi gli studi relativi al TCO degli autobus urbani con differenti motorizzazioni, ma le metodologie utilizzate ed i parametri sia operativi che di costo sono spesso molto differenti.

Figura 16: Riepilogo parametri TCO da letteratura

STUDIO	AUTOBUS *(lungh. m)*	MOTORIZZAZIONI	VITA UTILE *(anni)*	PRODUZIONE ANNUA *(BusKm)*	ESTERNALITÀ AMBIENTALI	AREA
Lucien M. 2018	12	Diesel, elettrico	8	80.000	Si	Europa
Copper Institute 2019	12	Diesel, CNG, PHEV, elettrico	10	60.000	No	Europa
Bloomberg 2018	12	Diesel, CNG, elettrico	15	30/60/80.000	No	USA
Barraza O. Estrada M. 2018	12, 18	Diesel, elettrico	15	80.000 (stima)	Si	Messico
Motus-E 2021	12	Diesel, elettrico	13	50.000	No	Italia
CADTP 2017	12	Diesel, CNG, Etanolo, Ibrido, Elettrico	12	40.000	No	Francia
Allora F.M. 2015	12	Diesel, CNG, Elettrico, Idrogeno	12	60.000	Si	Italia
World Bank 2019	12	Diesel, Biocarburante, Elettrico	10	20-120.000	No	America Latina

[36] Vrije Universiteit Brussels and European Copper Institute "Analysis of the potential for electric buses", 2019
[37] Bloomberg, "Electric bus in cities. Driving towards cleaner air and lower CO2", 2018
[38] L'ipotesi è di utilizzo del mezzo per 16 ore al giorno per 330 giorni all'anno ed una velocità media di 30Km/h, a cui vengono aggiunte ulteriori ipotesi di accelerazione e decelerazione, nonché di incarrozzamento passeggeri. Nell'ipotesi semplificatrice di una velocità media effettiva pari alla metà dei citati 30Km/h la produzione annua risulta di 79.200 BusKm.

STUDIO	AUTOBUS *(lungh. m)*	MOTORIZZAZIONI	VITA UTILE *(anni)*	PRODUZIONE ANNUA *(BusKm)*	ESTERNALITÀ AMBIENTALI	AREA
C40, 2018	12, 18	Diesel, CNG, Ibrido, PHEV, Elettrico, Idrogeno	12	80.000	No	Colombia, Messico, Sudafrica, Cina
RSE 2020	12	Diesel, CNH, LNG, Ibrido, Elettrico, Idrogeno	13	44.000	No	Italia
UITP 2021	10/12	Diesel, Ibrido, CNH, Elettrico	8	64.000	No	Cina

Fonte: Elaborazione GREEN

Le grandi differenze riscontrate sui parametri operativi (tra gli altri non evidenziati in tabella, vita utile variabile dagli 8 ai 15 anni, produzione annua variabile dai 30.000 agli 80.000 BusKm annui) ed in termini di metodologia (considerazione o meno dei costi esterni, piuttosto che sensitivity analysis effettuate su parametri e con modalità differenti) sono da ricondursi alla grandissima variabilità sia del settore che delle soluzioni tecnologiche implementate sui mezzi che, infine, dei fattori territoriali che caratterizzano le aree geografiche oggetto di studio e, al loro interno, delle varie specifiche reti di trasporto cittadine.

La tipologia di rete di trasporto sulla quale vengono impiegati i mezzi è una delle principali determinanti che influenzano la scelta dei parametri operativi: reti di "bus rapid transit", caratterizzate da corsie dedicate e velocità medie medio-alte, possono comportare consumi di carburante, ma soprattutto percorrenze medie differenti. Da notare infatti come la maggior parte degli studi che analizza casi studio in America Latina (Barraza-Estrada 2018, World Bank 2019, C40 2018) considerano percorrenze medie di circa 80.000 BusKm annui, molto superiori ad esempio alle percorrenze medie considerati dagli studi europei (circa 40-60.000) in ragione della maggiore diffusione in quell'area del continente americano di sistemi di trasporto rapido su gomma. Degno di nota lo studio World Bank del 2019 [39] che effettua una sensitivity analysis sulle percorrenze medie considerando un campo di variazione dai 20.000 fino addirittura ai 120.000 Km annui.

Le caratteristiche territoriali spiegano anche differenti livelli di consumo, derivanti principalmente dalle diverse pendenze delle strade e temperature medie annue, che influenzano direttamente i costi operativi sia di locomozione che per l'alimentazione degli impianti di riscaldamento e condizionamento. Alcuni studi, soprattutto quelli che analizzano il caso della motorizzazione elettrica, eseguono analisi di sensitività o considerano casi studio differenti per verificare come le differenti temperature medie incidono sulla durata delle batterie.

Le differenze sulle motorizzazioni raffrontate possono invece essere spiegate, come ad esempio gli studi sui casi cinesi, dalla forte politica pubblica di incentivo e sviluppo al settore degli autobus elettrici (UITP 2021 e Zhang et al., 2014).

Si evidenzia, infine, come le analisi sulla motorizzazione ad idrogeno siano meno numerose e concentrate negli ultimi anni: se si tralascia lo studio di Allora F.M. del 2015, nel quale si ammetteva la non maturità del settore, si riscontrano solamente due studi del 2018 da parte di C40 e del 2020 di UITP, entrambe associazioni di categoria. Come anticipato, il settore dell'idrogeno per la propulsione dei veicoli adibiti a trasporto pubblico urbano non è ancora giunto a maturità ed anche le soluzioni tecnologiche sono ancora in via di sviluppo.

[39] World Bank "Green your bus ride. Clean buses in Latin America", 2019

Questa breve rassegna di letteratura evidenzia come la convenienza economica delle motorizzazioni elettriche sia stata raggiunta nonostante il costo di investimento iniziale (principalmente determinato dal costo delle batterie), grazie soprattutto ai minori costi operativi.

Come si è visto, al netto di alcuni singoli studi specifici, non sono presenti in letteratura analisi internazionali complessive sul TCO degli autobus per i diversi sistemi di propulsione e per i differenti territori. Le motivazioni, come visto, sono molteplici e soprattutto riconducibili alle grandi differenze territoriali degli input di costo e nei parametri operativi tipici. Nessuno studio, inoltre, adotta l'approccio del TCRO, considerando quindi anche le fonti di ricavo che potrebbero sorgere con l'ottimizzazione dei veicoli, in particolar modo di quelli elettrici.

Il presente si pone invece come tentativo di elaborare un'analisi sul TCRO su 11 differenti territori (Italia, Spagna, Cile, Stati Uniti d'America, Messico, Colombia, Brasile, Australia, Uruguay, Perù e Regno Unito), 4 differenti motorizzazioni (diesel, metano, elettrico e idrogeno) e tre modelli di autobus (8 metri, 12 metri e 18 metri) utilizzando la medesima metodologia di base.

Quasi tutti gli studi, compreso il presente, limitano l'analisi agli autobus urbani, lasciando invece scoperta l'analisi di impatto delle motorizzazioni alternative di cosiddetti pullman, ovvero dei mezzi per il trasporto passeggeri in ambito extraurbano o sulle lunghe distanze. La stessa Commissione Europea riconosce come in quest'ultimo settore lo sviluppo tecnologico e del mercato sia ancora non del tutto maturo, lasciando quindi spazio a possibili future evoluzioni sia industriali che scientifiche.

2.3 L'approccio delle imprese di TPL e dei produttori

2.3.1 Aggregazione della domanda in Italia

In un mercato, come quello della produzione dei veicoli, in cui le economie di scala possono divenire molto rilevanti con l'incremento dei volumi di produzione, anche la domanda si organizza così da poterne beneficiare.

A livello italiano nell'ultimo lustro, al pari con la ripresa degli investimenti da parte delle imprese di TPL in nuovi mezzi, si è notata una nuova strategia di approvvigionamento, che mira alla standardizzazione del prodotto ed alla grande dimensione dei lotti di gara.

Lo stesso Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibile (MIMS), consapevole delle opportunità derivanti dagli acquisti aggregati, ha posto come condizione per la fruizione del cofinanziamento di cui al D.M. 25/2017 per il rinnovo dei parchi autobus TPL, il ricorso ad una centrale unica di committenza nazionale, identificata in Consip. Lo stesso DM prevede che la centrale di committenza unica proceda alla sottoscrizione di un Accordo Quadro di cui possono fruire tutti gli enti e le imprese locali di TPL.

La prima gara effettuata con tale approccio, pubblicata da Consip in data 12/05/2017, prevedeva 9 lotti per un totale di 1.600 autobus ed un valore a base d'asta di 650 milioni di euro. Sono stati aggiudicati 8 dei 9 lotti (l'unico non aggiudicato è stato quello per autobus elettrici da 8 metri) ed il ribasso medio d'asta è stato del 22%. Di seguito si riepilogano le caratteristiche dei mezzi richiesti.

Figura 17: Bando di gara Consip "Autobus 3" del 12/05/2017

Lotto	Lunghezza	Motorizzazione	Quantità	Uso	Base d'asta bus	Base d'asta Manut /Km	Base d'asta lotto	Aggiudicazione lotto	Ribasso d'asta	Prezzo bus	Prezzo Manut /Km
1	8 m	Full Electric	50	Urbano	280.000 €	0,35 €	17.742.565 €	non aggiudicata	n.d.	n.d.	n.d.
2	10 m	Diesel	200	Urbano	257.000 €	0,30 €	70.808.260 €	60.590.917 €	-14%	219.916 €	0,26 €
3	12 m	Diesel	350	Urbano	277.000 €	0,30 €	130.297.955 €	105.272.609 €	-19%	223.799 €	0,24 €
4	12 m	CNG	200	Urbano	302.000 €	0,30 €	80.613.260 €	66.178.519 €	-18%	247.923 €	0,25 €
5	18 m	Diesel	100	Urbano	390.000 €	0,30 €	51.208.050 €	44.060.500 €	-14%	335.564 €	0,26 €
6	12 m	Ibrido	100	Urbano	547.000 €	0,30 €	67.142.880 €	51.428.675 €	-23%	418.979 €	0,23 €
7	10 m	Diesel	100	Extraurbano	290.000 €	0,30 €	37.118.880 €	27.785.815 €	-25%	217.083 €	0,22 €
8	12 m	Diesel	300	Extraurbano	315.000 €	0,30 €	118.394.390 €	81.352.420 €	-31%	216.446 €	0,21 €
9	12 m	Diesel	200	Extraurbano	300.000 €	0,30 €	76.281.260 €	57.959.000 €	-24%	227.942 €	0,23 €
* Mancando i dati disaggregati delle offerte per Bus e Manutenzione, i prezzi finali sono calcolati applicando indistintamente alle due componenti il medesimo ribasso d'asta medio											

Fonte: Elaborazione GREEN su dati Consip

Il lotto 1, per 50 autobus elettrici, non aggiudicato, è stato ribandito successivamente (gara *Autobus 3-bis* del 9/11/2018) modificando i requisiti: al posto che richiedere autobus da 8 metri sono stati richiesti autobus da 12 metri e la base d'asta è stata rettificata in 560.000€ ad autobus per la fornitura e 1€/Km per la manutenzione full service, elevato a 2€/Km nel caso in cui il servizio venga richiesto per una flotta inferiore alle 5 unità.

Le amministrazioni e le aziende di trasporto che acquistano tramite la convenzione Consip, possono quindi avere accesso al Fondo per il rinnovo straordinario del parco materiale rotabile su gomma messo a disposizione dal MIT, che copre fino al 60% del valore del mezzo. Il restante 40% può essere coperto da ulteriore cofinanziamento regionale oppure dagli operatori stessi. Degna di nota la previsione che possano accedere all'accordo quadro anche soggetti che finanziano l'acquisto con risorse diverse da quelle statali e/o regionali.

La modalità di approvvigionamento tramite accordi quadro gestiti da Consip si è ripetuta anche successivamente, con due gare:

- Gara Autobus Extraurbani del 30/04/2020 che prevede un accordo quadro per la fornitura di massimo 880 autobus suddivisi in 6 lotti, tutti a motorizzazione diesel, senza l'opzione per la manutenzione full service, e che ha visto un ribasso di gara medio del 26%;
- Gara Autobus Urbani del 25/01/2021 che prevede un accordo quadro per la fornitura di massimo 1.000 autobus suddivisi in 8 lotti, con differenti motorizzazioni (diesel, metano, elettrico), senza l'opzione per la manutenzione full service, e che ha visto un ribasso di gara medio del 35%; con il maggiore sconto (43%) registrato sul modello elettrico da 12 metri.

Di seguito si riepilogano i dati relativi a quest'ultima gara, la più recente di cui si dispongono informazioni.

Figura 18: Bando di gara Consip "AQ Autobus Urbani" del 25/01/2021

Lotto	Lunghezza	Motorizzazione	Quantità	Uso	Base d'asta bus		Base d'asta lotto	Aggiudicazione lotto	Ribasso d'asta	Prezzo bus*
1	8 m	Diesel	80	Urbano	210.000 €		20.136.900 €	15.784.670 €	-22%	164.612 €
2	8 m	Full Electric	80	Urbano	435.200 €		41.488.900 €	32.674.694 €	-21%	342.743 €
3	10 m	Metano	100	Urbano	310.000 €		36.561.400 €	25.570.171 €	-30%	216.807 €
4	12 m	Diesel	140	Urbano	298.400 €		51.466.300 €	32.104.521 €	-38%	186.141 €
5	12 m	Metano	200	Urbano	363.400 €		85.585.600 €	52.488.364 €	-39%	222.868 €
6	12 m	Mild Hybrid	140	Urbano	313.500 €		53.601.300 €	36.906.032 €	-31%	215.854 €
7	12 m	Ibrido	140	Urbano	444.000 €		71.729.300 €	45.878.902 €	-36%	283.988 €
8	12 m	Full Electric	120	Urbano	738.400 €		103.197.300 €	58.503.600 €	-43%	418.606 €
* Prezzo medio dei modelli di autobus ammessi all'accordo quadro nell'ambito dello specifico lotto, tra cui gli enti aderenti all'AQ possono scegliere										

Fonte: Elaborazione GREEN su dati Consip

Da notare come i bandi contemperino le esigenze di standardizzazione, necessaria per ottenere consistenti ribassi d'asta, con quelle di personalizzazione per i singoli servizi specifici: essi prevedono infatti la possibilità per gli operatori utilizzatori dei contratti quadro di fornitura, di richiedere eventuali ulteriori equipaggiamenti per i bus ordinati, i quali vengono comunque previsti come opzioni aggiuntive negli accordi quadro nazionali. I bandi specificano una lunga serie di tali opzioni, tra cui: colorazione personalizzata, cabina di protezione per il conducente, sistema AVM, validatrici, conta-passeggeri, indicatori di linea e di percorso, sistema informativo multimodale, videosorveglianza, sviluppo e integrazione dei dispositivi ITS di bordo ed altri optional. I bandi specificano inoltre la possibilità, per gli operatori che dovessero attivare l'acquisto di flotte tramite l'accordo quadro, di richiedere al fornitore il servizio di manutenzione full service, con la limitazione che il numero di mezzi da mantenere sia di almeno 15.

Gli accordi quadro sono molto utili per le piccole imprese di trasporto, che da sole non sono in grado di esprimere una domanda di mezzi tale da consentire rilevanti economie di scala e di troverebbero quindi, se andassero da sole sul mercato, a dover pagare prezzi maggiori. Le grandi imprese di trasporto sono invece spesso in grado di esprimere una domanda sufficientemente elevata e, a volte, anche condizioni contrattuali più favorevoli di quelle offerte da Consip, così da poter ottenere migliori prezzi pur procedendo all'acquisto in autonomia. È il caso, ad esempio, di ATM Milano, GTT Torino o Cotral Lazio.

Cotral ha esperito con successo 2 gare negli ultimi 3 anni per la fornitura complessiva di 900 autobus. Il primo, del febbraio 2018, prevede un totale di 400 autobus in 2 lotti (300 + 100), tutti da 12 metri e motorizzazione diesel. Il secondo, di primavera 2019, prevede un totale di 500 autobus in 2 lotti (360 + 120), tutti da 12 metri e motorizzazione diesel. Da notare come l'accordo quadro preveda quantitativi minimi garantiti da 20 a 50 veicoli per lotto, quindi la possibilità di concludere ulteriori contratti integrativi, ma anche questi con un quantitativo minimo di 10 mezzi per contratto. Si osserva, infine, come la terza gara, che prevedeva un quantitativo di soli 20 autobus da 8 metri, sia andata deserta. GTT, infine, ha esperito 4 gare negli ultimi 3 anni per la fornitura complessiva di 292 autobus. Da notare come i lotti di gara, benché di dimensione inferiore a quelli delle gare Cotral, risultano sempre consistenti, mai inferiori alle 40 unità. La strategia di GTT è stata parzialmente differente, richiedendo anche motorizzazioni non tradizionali: 142 autobus a metano e 100 autobus elettrici.

2.3.2 Finanziamento

Il finanziamento dell'acquisto delle flotte può avvenire con i metodi più classici, dal finanziamento bancario al leasing operativo, quest'ultimo molte volte offerto direttamente dai produttori o altre nuove realtà del settore come EnelX all'interno di un unico pacchetto integrato *as a service* ricomprendente anche la fornitura del veicolo, full service infrastruttura elettrica, le stazioni di ricarica e la relativa manutenzione.

Nel caso siano previsti finanziamenti pubblici per l'acquisto dei mezzi, l'operatore può mantenere distinto il rapporto di credito con l'ente finanziatore e quello di debito con il fornitore, oppure formulare soluzioni finanziarie differenti. Un caso peculiare è quello del bando emesso da GTT in data 5/03/2019, con il quale si prevede il pagamento del fornitore con due differenti modalità:

- GTT cede all'aggiudicatario il credito vantato nei confronti di Regione Piemonte relativo al contributo da quest'ultima determinato per l'acquisto dei veicoli stessi, per un ammontare massimo pari al 50% del costo dei mezzi;
- GTT chiede all'aggiudicatario di finanziare la rimanente parte tramite finanziamento della durata di 8 anni, ad un tasso di interesse fissato a base d'asta pari all'Euribor + 300 punti base, ma rilanciabile in diminuzione oppure anche in aumento fino ad un massimo di Euribor + 500 punti

base. Tale finanziamento è garantito da GTT tramite cessione parziale di un credito vantato verso la Città di Torino[40].

[40] Nello specifico, si tratta del credito vantato verso la Città di Torino per rate di mutuo (capitale ed interessi) afferenti alle motrici della linea 4 di cui all'accordo programmatico 26/4/2018 sottoscritto con la Città.

3 I parametri generali e le specificità delle diverse motorizzazioni

I parametri e le assunzioni prese in considerazione in questo studio possono essere suddivisi in due categorie. I primi sono gli elementi generali condivisi fra le diverse motorizzazioni e i diversi orizzonti temporali (2021, 2025 e 2030) e sono strettamente legati a profili di missione di servizio tipici del TPL in ambito urbano. La seconda categoria è specifica per le diverse motorizzazioni, in modo da poter tener in considerazioni i fattori caratterizzanti che incidono sui CAPEX, sugli OPEX e sui potenziali ricavi.

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 alle scelte strategiche derivanti da diverse tipologie di fattori, oltre a quelle derivanti dalle dinamiche competitive nel mercato dei bus, tenendo conto che questo aspetto può essere molto differente fra i diversi continenti, con il risultato che la stessa tipologia di bus può avere valori di mercato differenti fra i diversi mercati:

- 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) e, soprattutto la dimensione dei lotti di acquisti e le caratteristiche delle manutenzioni richieste alle imprese produttrici, due fattori che incidono in maniera particolarmente significativa sul costo di acquisto. In particolare, i lotti di piccole dimensioni (sotto i dieci mezzi) sono caratterizzati da prezzi di acquisto molto elevati rispetto alla media, specialmente nel caso di mezzi di tipo 8 metri o 18 metri, così come i successivi costi di manutenzione, che spesso sono esclusi dalle convenzioni CONSIP nel caso di un numero di bus inferiore ai dieci.

3.1 I parametri generali

Le analisi tengono conto delle differenti missioni di servizio di 3 fra le più diffuse tipologie di mezzi, tipicamente classificati per dimensioni della lunghezza:

- 8 metri, i bus tipicamente utilizzati nei centri storici o in contesti a domanda debole, che nelle stime indicate percorrono 45.000 Km annui;
- 12 metri, i bus standard per i contesti urbani, con percorrenza annua pari a 55.000 km
- 18 metri, i bus articolati tipicamente utilizzati per i servizi definiti come bus rapid trasport (BRT), con percorrenza annua di 60.000km.

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

- Diesel Euro VI e in futuro (prevedibilmente dopo il 2026) Euro VII
- CNG-LNG e biometano
- Elettrica
- Idrogeno

Ciascuna delle tecnologie adottate per le motorizzazioni dei bus qui presi in considerazione offre dei vantaggi e degli svantaggi di natura economica ed ambientale, oltreché di performance prestazionali e di affidabilità. La tabella successiva schematizza i principali aspetti, che saranno approfonditi successivamente nei paragrafi specificamente dedicati a ciascuna motorizzazione.

Figura 19: Schematizzazione dei vantaggi e svantaggi delle diverse motorizzazioni dei bus

MOTORIZZAZIONE	VANTAGGI	SVANTAGGI
Diesel Euro VI e dal 2026 Euro VII	• Tecnologia matura • Costo di acquisto minore rispetto a tutte le tipologie di bus • Non richiede nuovi investimenti infrastrutturali nei depositi o ai capolinea • Livelli di emissioni decrescenti nel corso dei prossimi anni per poter rispettare le normative relative agli standard Euro VII previsti dal 2026 e della normativa Fuel Quality (dal 2026) • Mercato dell'usato noto	• Necessità di adeguamenti tecnologici per rispettare le normative EuroVII • Livello di emissioni di gas clima-alteranti e d inquinanti locali elevato • Incertezze sulle disponibilità dei carburanti a minor contenuto di zolfo • Necessità di un revamping dopo 10 anni per poter allungare la vita utile • Costi di manutenzione crescenti a causa della complessità della motorizzazione e delle usure legate alle vibrazioni in fase di trasmissione • Accettabilità sociale in calo anche a causa del rumore e delle emissioni alle fermate
Gas Naturale Compresso (CNG)	• Tecnologia matura e disponibile • Costo di acquisto con differenze limitate rispetto al diesel • Costi di carburante minori rispetto al diesel, anche grazie ad agevolazioni fiscali	• Riduzione del livello di emissioni di gas clima-alteranti limitate rispetto al diesel • Necessità di investimenti infrastrutturali nei depositi • Necessità di un revamping dopo 10 anni per poter allungare la vita utile • Costi di manutenzione crescenti a causa della complessità della motorizzazione e delle usure legate alle vibrazioni in fase di trasmissione • Accettabilità sociale in calo a causa del rumore e delle emissioni alle fermate
Biometano	• Il biometano può essere utilizzato in percentuali variabili e fino al 100% nei motori alimentati a gas naturale • Significativo abbattimento delle emissioni di CO2 • Costo di acquisto con differenze limitate rispetto al diesel • Costi di carburante minori rispetto al diesel, anche grazie ad agevolazioni fiscali • Carburante circolare nel caso di produzione da rifiuti	• Necessità di un revamping dopo 10 anni per poter allungare la vita utile • Costi di manutenzione crescenti a causa della complessità della motorizzazione e delle usure legate alle vibrazioni in fase di trasmissione • Accettabilità sociale in calo a causa del rumore e delle emissioni alle fermate • Probabile ricorso all'ibrido, anche per rispettare standard Euro VII
Gas Naturale Liquido (LNG)	• Tecnologia nuova ma in crescente diffusione nei veicoli industriali • Costo di acquisto con differenze limitate rispetto al diesel • Costi di carburante minori rispetto al diesel, anche grazie ad agevolazioni fiscali	• Necessità di un revamping dopo 10 anni per poter allungare la vita utile • Costi di manutenzione crescenti a causa della complessità della motorizzazione e delle usure legate alle vibrazioni in fase di trasmissione • Accettabilità sociale in calo a causa del rumore e delle emissioni alle fermate • Si tratta di un combustibile fossile, pertanto + prevedibile l'eventuale ricorso al più costoso bioGNL • Prevedibile ricorso all'ibrido, anche per rispettare standard Euro VII

MOTORIZZAZIONE	VANTAGGI	SVANTAGGI
Elettrica a batterie	• Inquinanti locali ridotti rispetto alle altre motorizzazioni e gas clima-alteranti azzerati nel caso di approvvigionamento dell'energia elettrica con 100% rinnovabili • Costi di manutenzione (pari a circa il 50% rispetto al diesel) e di gestione (pari a circa il 35% del diesel) ridotti • Costi delle batterie in calo nel tempo • Possibilità di ottenere ricavi in fase di gestione nel caso di B2G e dalla cessione della batteria per la seconda vita utile • Maggior vita utile del mezzo, dopo la sostituzione della batteria • Maggior accettabilità sociale del servizio grazie al rumore ridotto in fase di accelerazione e fermata, con possibilità di avere fermate al chiuso	• Costo di investimento iniziale particolarmente elevato e necessità di sostituzione della batteria dopo 8 anni • Valore dell'usato incerto sia per il mezzo sia per le batterie dovuto alla rapida obsolescenza tecnologica • Necessità di investimenti per le infrastrutture di ricarica in deposito e nel caso di utilizzo di bus su linee particolarmente lunghe anche dei costi di infrastrutturazione per opportunity charger ai capolinea • Necessità in alcuni casi di riprogettare l'attuale servizio di trasporto pubblico tenendo conto dei vincoli degli autobus elettrici sull'autonomie, tempi e modalità di ricarica
Idrogeno	• Inquinanti locali ridotti rispetto alle altre motorizzazioni e gas clima-alteranti azzerati nel caso di approvvigionamento dell'idrogeno da fonti basate su 100% rinnovabili • Costi di manutenzione del motore inferiore ai motori endotermici, ma è richiesta una specifica manutenzione dei serbatoi dell'idrogeno	• Costi di investimento molto elevati tenendo conto che si tratta di una tecnologia ancora poco matura (< 2000 bus su strada) • Numero di produttori e di modelli disponibili molto limitato • Costi operativi elevati anche nel lungo periodo • Nessun vantaggio ambientale in caso di idrogeno grigio e blu • Necessità di attività di manutenzione ad alta intensità tecnologica • Costo delle infrastrutture di ricarica (elettrolizzatore) molto elevato • Incertezza del valore del bus usato a causa della rapida obsolescenza tecnica

Fonte: Elaborazione GREEN su dati imprese produttrici (Daimler, Volvo) e report della World Bank (2019), TOI (2018)

3.2 Il caso delle motorizzazioni diesel

Di seguito si riepilogano i parametri relativi alle motorizzazioni diesel e ibride in relazione ai costi di acquisto, costi di manutenzione, consumo, vita utile e percorrenze medie. Le fonti dei dati sono via via specificate nei paragrafi successivi. Non sono state valorizzate le informazioni relative agli autobus extraurbani per la parziale differente conformazione e missione di servizio che portano ad alterare in modo anche significativo i parametri oggetto di analisi.

3.2.1 Ambito di mercato, prospettive di efficientamento, ed evoluzione dei costi

La transizione verso forme di alimentazione meno inquinanti in quasi tutti i paesi del mondo rende il ruolo della motorizzazione diesel sempre meno importante. Ciò nonostante, le innovazioni tecnologiche possono senza dubbio aiutare a preservare un'importante quota di mercato anche per questa motorizzazione. In particolare, le motorizzazioni ibrida, mild-hybrid e plug-in-hybrid, possono contribuire a raggiungere i target di emissioni e dunque di utilizzare i bus diesel non solo sulle lunghe distanze, laddove il mercato ancora non è ancora in grado di fornire soluzioni tecnologiche a zero emissioni a costi e condizioni che le rendano competitive.

In Europa, la Direttiva 1161/2019 in tema di promozione di veicoli puliti e a basso consumo energetico nel trasporto su strada, fissa quote minime di acquisto di veicoli LEV e ZEV: almeno il 45% dei nuovi autobus devono essere LEV fino al 2025, quindi dal 2026 almeno il 65%. La direttiva impone inoltre che almeno la metà di tali quote devono essere acquisite come ZEV. A partire dal 2026, dunque, le motorizzazioni diesel potranno avere accesso solo, al massimo, al 35% del mercato degli autobus dei principali paesi europei.

La motorizzazione ibrida è in grado di ridurre le emissioni di CO2 fino ad oltre l'80%. Uno studio condotto sull'operativo della rete urbana di trasporto pubblico di Hong Kong mostra come i bus ibridi EuroVI riescono ad abbattere le emissioni di CO2 fino all'82%, passando da 3,745 g/kWh a 0,655 g/kWh. Dallo stesso studio è inoltre desumibile come la funzionalità start&stop è in grado di abbattere le emissioni di CO2 del 5,45% rispetto alla versione senza tale funzionalità.

Oltre ai requisiti della Direttiva 1161/2019 che restringono progressivamente il mercato accessibile ai mezzi non LEV e ZEV, entro il 2026 sono attesi entrare in vigore i limiti relativi alla regolamentazione Euro VII, i quali dovranno essere raggiunti anche dai veicoli non ZEV/LEV e saranno una condizione necessaria per poter accedere al mercato.

Le tecnologie correntemente utilizzate per l'abbattimento delle emissioni dei motori diesel così da soddisfare i limiti della regolamentazione Euro VI si basano soprattutto sulla riduzione catalitica selettiva (SCR), molto efficiente in condizioni operative normali, ma non ottimali in condizioni di basso carico, basse velocità ed avviamento a freddo, come quelle incontrate nella guida urbana (Badshah & Rodríguez, 2021). Ciò richiede l'introduzione di ulteriori tecnologie di controllo. Alcuni studi (ICCT, 2021) hanno provato ad immaginare l'architettura necessaria per riuscire a rispettare i limiti della regolamentazione Euro VII per i veicoli pensanti ed i relativi costi, i quali vengono riassunti di seguito.

Figura 20: Maggiori costi HDV per rispetto limiti Euro VII (vs Euro VI)

CONFIGURAZIONE TECNICA	∂ COSTI 2021	∂ COSTI 2025	∂ COSTI 2030
Basilare (Config. 1)	+ 1.658 €	+ 1.547 €	+ 1.438 €
Massima (Config. 3 + 48V)	+ 5.006 €	+ 4.678 €	+ 4.268 €
*da aggiungere costi batteria (≈1.500-2.500€)			

Fonte: Elaborazione GREEN su dati ICCT 2021

Si fa notare come tutte e tre le soluzioni prevedono una parziale ibridizzazione, dunque una transizione alla motorizzazione almeno mild-hybrid.

Le principali conclusioni dello studio ICCT 2021 sulla frontiera tecnologica necessaria per rispettare i limiti Euro VII da parte dei veicoli pesanti diesel sono le seguenti:

- La maggior parte delle tecnologie necessarie per i veicoli pesanti sono già comuni nei veicoli leggeri, le rimanenti sono già in produzione o prossime alla commercializzazione.
- Si prevede che queste tecnologie possano comportare un aumento di prezzo dei veicoli pesanti compresi tra il 2% e il 5% (al netto del costo delle batterie).
- Il richiesto aumento dei requisiti di durata dei sistemi di post-trattamento potrebbe aumentare ulteriormente i costi di circa 1.000€, ovvero meno dell'1% del costo del veicolo.

L'analisi induce a concludere che, per rispettare le normative di cui sopra il prezzo di acquisto dei veicoli diesel crescerà di circa 7.000€ nel 2025, per poi ridursi ad un incremento di 6.000€ nel 2030.

3.2.2 Acquisto

I prezzi di acquisto dei bus diesel sono stati ricavati dalle principali gare d'appalto bandite a livello nazionale dal 2017 al 2021. In totale, sono stati considerati 26 lotti di gara banditi da Consip, ATAC,

Trentino Trasporti, Cotral e GTT. Di seguito si riassumono gli intervalli relativi alle basi d'asta e i migliori prezzi di aggiudicazione noti.

Figura 21: Costi di acquisto bus diesel, gare Italia

Lunghezza	Base d'asta	Miglior prezzo noto	Rif. gara
8 m	165-210.000	163.350 €	*Atac 19/2/20*
12 m	243-298.000	223.799 €	*Consip 12/5/17*
18 m	390-411.000	335.000 €	*Consip 12/5/17*

Fonte: Elaborazione GREEN

Si fa notare come il valore di 163.350€ relativo al bus diesel da 8 metri, per il quale il mercato è meno profondo, è il prezzo di aggiudicazione della gara ATAC bandita il 19/02/20. Tale valore risulta coerente con il risultato atteso dalla gara bandita da Consip il 25/01/2021. Tale gara prevede una base d'asta di 210.000 Euro, ma si può presumere uno sconto del 21%, pari alla media dei ribassi di tutte le gare censite per autobus con motorizzazione diesel. Per i segmenti a 18m e, soprattutto, a 12m il mercato è più profondo e sono disponibili più fonti di dati che confortano i parametri individuati sopra e ripresi di seguito.

La stima dell'evoluzione dei costi di acquisto al 2025 e 2030 si basa su quanto analizzato nel precedente paragrafo 3.2.1, cioè che la motorizzazione diesel dovrà migrare verso la tecnologia mild-hybrid per riuscire a soddisfare i requisiti della regolamentazione Euro VII. Le elaborazioni sono effettuate considerando sia gli attuali prezzi di aggiudicazione dei bus ibridi e mild-hybrid che le stime di costo incrementale necessario per l'adeguamento del mezzi diesel alla nuova frontiera tecnologica elaborati da ICCT.

Di seguito si riepilogano i parametri di costo considerati agli orizzonti temporali 2021, 2025 e 2030, per segmento di mezzo.

Figura 22: Parametri costo acquisto bus diesel 2021/25/30

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*

Fonte: Elaborazione GREEN

3.2.3 Manutenzione

I costi di manutenzione sono desunti dalle basi d'asta dei bandi di gara Consip, GTT, ATM e Cotral nonché dagli studi Motus-E (2021) e Copper Institute (2019). Le relative evoluzioni sono stimate sulla base di quanto analizzato nel precedente paragrafo 3.2.1, ovvero in relazione ai differenziali di costo tra i bus a motorizzazione diesel e mild-hybrid.

Nonostante alcuni casi prevedano una riduzione del costo di manutenzione full service per i primi anni di operatività, in conseguenza alla bassa età del mezzo ed alla garanzia prestata dal costruttore, si è ritenuto opportuno valorizzare un solo parametro medio annuale valido per tutti i periodi del ciclo di vita del mezzo in ragione delle differenti durate della manutenzione e delle riduzioni di costo conseguenti (GTT prevede 2 anni, Consip almeno 2 eventualmente incrementabili, ATM 6…).

Di seguito si riepilogano i parametri relativi il costo di acquisto e manutenzione agli orizzonti temporali 2021-2025-2030.

Figura 23: Parametri costo manutenzione bus diesel 2021/25/30

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*

Fonte: Elaborazione GREEN

3.2.4 Consumi e costi di trazione

3.2.4.1 I consumi

Di seguito si riassumono i valori relativi ai consumi di carburante per segmento di flotta.

Figura 24: Consumi autobus diesel

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

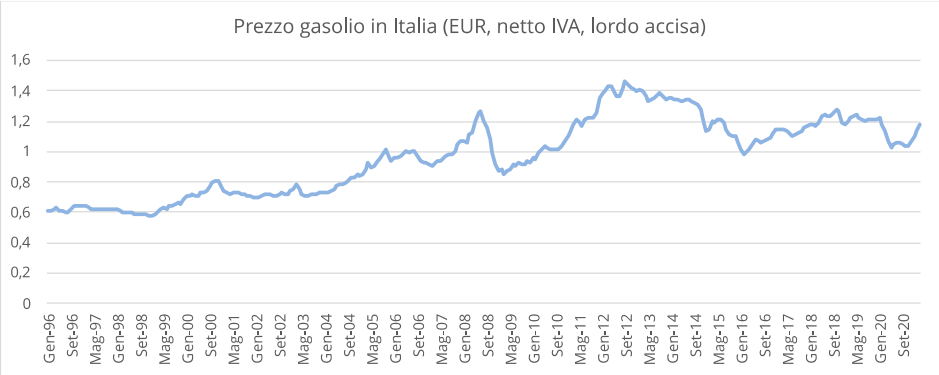
Fonte: Elaborazione GREEN

Se ne deduce che la motorizzazione ibrida, ovvero quella verso la quale migrerà la maggior parte del parco bus diesel al 2025 per rispettare le normative ambientali, consuma circa il 18% in meno rispetto a quella diesel pura.

3.2.4.2 Il costo del carburante e la sua probabile evoluzione

Il costo del carburante, dopo aver mostrato una crescita costante nel primo decennio del nuovo millennio, ha cominciato un trend decrescente a seguito della crisi del 2008-2011 e si è assestato nel 2021 attorno a 1,2€ al litro. Di seguito si espone il trend storico del costo del gasolio al netto dell'IVA ed al lordo dell'accisa, in relazione alla quale la normativa vigente prevede per l'anno in corso un rimborso pari a 0,21€/l in favore degli operatori del trasporto.

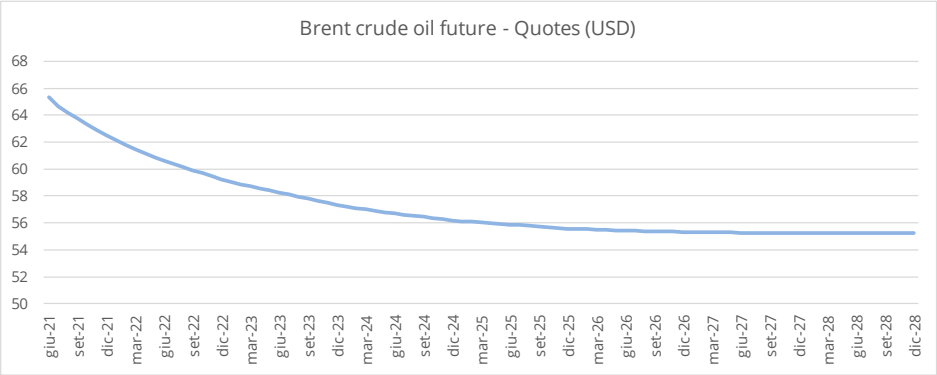
Figura 25: Costo gasolio Italia



Fonte: Elaborazione GREEN su dati MISE/MITE

Anche i future sul prezzo del petrolio si sono stabilizzati a partire dal 2015 e la dinamica futura desumibile a maggio 2021 è per un trend di decrescita, che potrà portare ad un ribasso del prezzo del 15% entro il 2025, per poi stabilizzarsi a quel nuovo livello.

Figura 26: Future sul Brent, per scadenza



Fonte: Elaborazione GREEN su dati CMEGroup (maggio 2021)

Numerosi studi internazionali stimano un possibile aumento del prezzo del petrolio nel prossimo futuro. Pare, però, che le ipotesi alla base dei modelli ipotizzati non considerino adeguatamente i trend di efficientamento dal lato della domanda, potenzialmente molto impattanti nella riduzione dei prezzi. Si rimane quindi più confidenti del trend ribassista determinato dai futures, rappresentando questi ultimi dei contratti già sottoscritti di compravendita di carburante.

L'unica incognita al rialzo potrebbe essere rappresentata dalla parziale riduzione o completa eliminazione dell'agevolazione a favore degli operatori del trasporto che, al 2021, consiste nel rimborso di 0,21€/l di accisa sul carburante, in quanto rientrano nella categoria dei Sussidi Ambientalmente Dannosi (SAD) predisposta dal Ministero della Transizione Energetica.

Al netto del rischio di riduzione delle agevolazioni fiscali, ci si può quindi aspettare che entro il 2026 il prezzo del gasolio decresca di circa il 10-15%.

3.2.4.3 I costi di alimentazione

Di seguito si riepilogano i parametri relativi il costo di esercizio relativo al carburante agli orizzonti temporali 2021-2025-2030 elaborati sulla base dei dati e dei parametri desunti nei paragrafi precedenti relativi ai consumi ed all'evoluzione del prezzo del petrolio.

Si evidenziano i seguenti parametri utilizzati:

- consumi come quanto evidenziato in tabella precedente;
- costo del diesel in Italia al 2021: 1€/litro[41];
- ipotesi riduzione del costo del gasolio del 10% al 2025
- ipotesi riduzione dei consumi del 18% al 2025 come conseguenza della migrazione dei mezzi verso le motorizzazioni ibride e mild-hybrid.

Figura 27: Parametri costo di esercizio - carburante bus diesel 2021/25/30

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

Fonte: Elaborazione GREEN

[41] Il prezzo del diesel al consumo a maggio 2021 (1,448€/l - Fonte: https://it.globalpetrolprices.com/diesel_prices/) è stato considerato al netto dell'IVA (22%) e del rimborso delle accise (0,21€/l). Il prezzo netto sarebbe di 0,98€/l; si considera 1€/l.

Si evidenzia come al 2025 due differenti fenomeni contribuiranno alla riduzione del costo di alimentazione: da una parte la riduzione del prezzo del petrolio e, dall'altra, la riduzione dei consumi per la migrazione verso le motorizzazioni ibride.

3.2.5 La vita utile e i costi di revamping

Benché alcuni capitolati di gara richiedano di considerare una vita utile dei mezzi pari a 12 anni, la maggior parte delle gare, degli studi e dei documenti individua una vita utile dei mezzi diesel pari a 10 anni. Non si riscontrano differenze tra le differenti lunghezze dei mezzi.

Per allungare la vita utile del mezzo è possibile, e praticato molto spesso, effettuare un revamping quando ha raggiunto un esercizio di circa 600.000Km, ovvero all'incirca all'ottavo anno. Il costo, sulla base del confronto con gli operatori italiani, si attesta sui 50.000€ per il bus a 12 metri e consente di prolungare la vita utile fino a 14 anni.

Di seguito i parametri di revamping.

Figura 28: Parametri costo di revamping bus diesel

Lunghezza	Costo	*Fonti*
8 m	38.929 €	*Elaborazione GREEN su dati Motus-E*
12 m	51.380 €	*Elaborazione GREEN su dati Motus-E*
18 m	78.562 €	*Elaborazione GREEN su dati Motus-E*

Fonte: Elaborazione GREEN

L'analisi dei capitolati tecnici di gara per l'approvvigionamento di autobus individua un parametro di percorrenza media pari a poco meno di 60.000 Km annui; la percorrenza massima richiesta viene invece individuata attorno ai 70.000 Km annui.

Non si riscontrano differenze tra le differenti lunghezze dei mezzi.

3.2.6 Costi di impianto di rifornimento

Per una corretta comparazione con le altre motorizzazioni, è bene considerare anche i costi relativi agli impianti di rifornimento. In particolare, per la motorizzazione diesel è necessario computare i seguenti costi[42]:

- Stazione di rifornimento: investimento di 420.000€ e ammortamento in 20 anni (21.00€/anno)
- Manutenzione: 1.550€/anno
- Capacità: fino a 90 autobus

3.3 Il caso delle motorizzazioni CNG/LNG e biometano

Gli autobus a metano compresso sono presenti in diverse flotte urbane in attività in tutta Europa, diversi i modelli acquistabili nelle misure a 8, 12 e 18 metri.

L'Italia è primo il Paese per parco circolante – 4.158 più 654 metano- benzina a fronte di 93.607 unità diesel, considerando tutti gli autobus con ptt superiore a 3.500 kg (ACI, 2020) – seguito da Francia e Spagna. Dagli anni '80 del secolo scorso le motorizzazioni a gas naturale compresso (CNG) sono diventate per convenienza economica, in particolare minor spesa per il carburante, e vantaggio

[42] Fonte: Copper Institute (2019)

ambientale l'unica possibile alternativa al diesel, almeno fino all'avvento della motorizzazione elettrica con accumulatori.

Anche l'utilizzo del gas naturale nel TPL sta evolvendo sia lungo il sentiero della sostenibilità, grazie al biometano, sia possibilità di utilizzo, grazie al gas naturale liquefatto (GNL) che a partire dal 2016, anno dell'esordio, ha guadagnato spazio nei veicoli industriali.

GNL, che proprio in virtù dello stoccaggio in forma liquida, possiede i tipici punti di forza dei prodotti petroliferi: elevata densità energetica, facilità e sicurezza di movimentazione e d'uso finale, ampia disponibilità, con in più un vantaggio economico e ambientale. Il passaggio, tramite raffreddamento e condensazione, da stato gassoso a stato liquido riduce, infatti, il volume specifico del gas naturale di circa 600 volte, cosa che permette di immagazzinare una grande quantità di energia in poco spazio. Caratteristica che ne facilita il trasporto su gomma ed è anche la ragione dell'utilizzo nei veicoli industriali, che sono appunto dotati di appositi serbatoi criogenici (I-Com, 2019). Serbatoi che sono montati anche sugli autobus in luogo dei caratteristici bomboloni per il CNG e a differenza di questi ultimi non necessitano dell'onerosa revisione quadriennale ma solo decennale.

Gli autobus a LNG ben si prestano alle lunghe percorrenze – tanto che con due serbatoi si superano i 1.000 km di autonomia – hanno esordito infatti, a fine 2019, con 15 automezzi a pianale alto sulle linee extraurbane bolognesi sia di pianura sia tra il capoluogo e la montagna. A questi, a luglio 2020, si sono aggiunti, sempre a Bologna, i primi autobus da 12 metri a pianale basso, parte di una commessa per 31 unità destinate a linee periferiche. Anche in questo caso si tratta mezzi con lunghe percorrenze come specifica missione (fino a 1.000 km con quattro serbatoi).

3.3.1 Il biometano

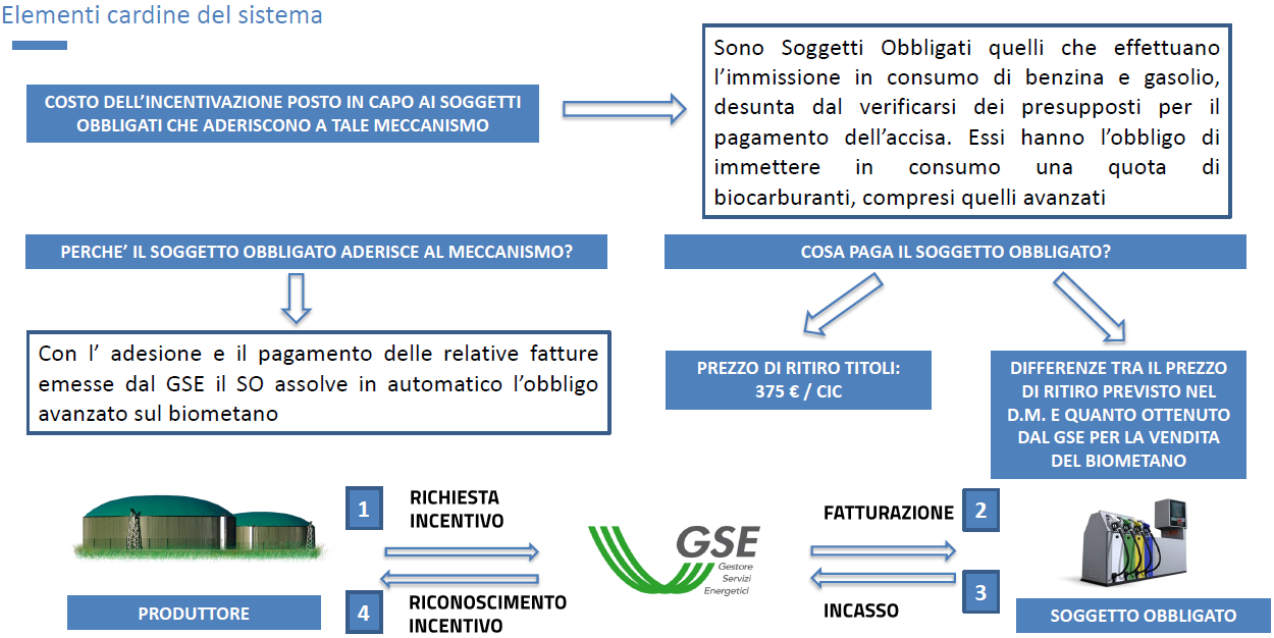
In Italia, anche più che altrove, non si può osservare il gas naturale senza focalizzarsi sul biometano. Una delle fonti con buone prospettive di crescita all'interno del futuro scenario dei trasporti, nonostante permangano ancora problematiche legate principalmente alla convenienza economica e alla diffusa avversione della popolazione verso le infrastrutture legate ai rifiuti. Il biometano, infatti, può essere prodotto non solo da deiezioni animali, da attività agricole e forestali, ma anche dalla frazione organica del rifiuto solido urbano (FORSU). Normalmente, il biometano si ottiene attraverso l'upgrading del biogas (composto dal 50-65% di metano, da 35-50% di CO2 e da piccole quantità di altri gas e impurità), cioè attraverso la separazione del metano dagli altri componenti del biogas.

Se è vero che il processo di "upgrading", la cattura della CO_2[43], che segue il pretrattamento a base di acido solfidrico e ammoniaca, risulti una tecnologia piuttosto onerosa, è altrettanto vero che il sistema di incentivazione introdotto con il decreto interministeriale 2 marzo 2018[44] sta dando i suoi frutti. Lo schema di incentivazione all'immissione in rete di biocarburanti basato sui CIC (certificati d'immissione in consumo), spinge fortemente i soggetti obbligati e i produttori ad aderire al meccanismo gestito dal GSE in quanto in grado di dare maggiori garanzie sia ai primi che ai secondi. Inoltre, sono state disposte tutte le misure per coprire i costi del programma mettendolo a carico dei distributori di carburanti e, in definitiva, degli automobilisti e trasportatori (Green, 2019).

[43] Le diverse tecnologie, assorbimento ad acqua, le membrane, PSA (*Pressure Swing Absorption*), reagenti chimico-fisici, hanno specificità differenti in base alle diverse tipologie di biogas da trattare.

[44] Promozione dell'uso del biometano e degli altri biocarburanti avanzati nel settore dei trasporti del Ministero dello sviluppo economico di concerto con il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare e il Ministero delle Politiche agricole alimentari e forestali.

Figura 29: Schema di incentivazione biometano ai sensi del DM 2 marzo 2018



Fonte: GSE, 2019

Anche il PNIEC conferisce ai biocarburanti avanzati e al biometano un ruolo significativo tra le energie *green* che guideranno la transizione verso la decarbonizzazione della mobilità, prevedendo un contributo dell'8% della quota totale riservata alle rinnovabili (22%) nei trasporti. Entro il 2030, secondo il documento programmatico, il biometano dovrebbe coprire il 75% della quota totale destinata ai biocarburanti avanzati (0,8 Mtep) e arrivando a 1,1 miliardi di mc. E diverse sono le previsioni che stimano al 2030 un incremento delle alimentazioni alternative e dei biocarburanti (miscelati), tra queste il biometano avrà un ruolo rilevante tra i biocarburanti (0,9 Mtep su 2,7 totali (Unione Petrolifera, 2020).

Da notare tuttavia che gli impianti di produzione di biometano, anche nel caso di (semplice) upgrading di un impianto a biogas già esistente, sono frequentemente oggetto di contestazioni nei territori che li ospitano. A fronte di 817 milioni di mc di gas naturale globalmente consumati nell'autotrazione nel 2020 (1.038 milioni nel 2019) circa 155 milioni sono stati i metri cubi di biometano prodotti da 22 impianti (Federmetano, 2021).

Lecito dunque attendersi un crescente contributo del biometano anche al gas naturale utilizzato nel TPL (v. *infra*).

Per quanto riguarda invece il prezzo del biometano anche se usato tal quale può essere considerato analogo a quello del CNG.

L'utilizzo diretto ed esclusivo del biometano ha bisogno di una filiera per la produzione del gas e di partnership come nel caso di Bologna, dove il biometano fornito da Hera è consumato non solo dagli autobus TPER, ancorché solo 4, ma anche da 20 taxi della cooperativa CO.TA.BO.

Il PNRR destina significative risorse per la produzione di biometano: oltre 1,9 mld di Euro in conto capitale con investimenti complessivi di cinque miliardi di Euro tra il 2022 e il 2026, utilizzando come fonte di finanziamento la tariffa di trasporto pagata dalla generalità dei consumatori di gas naturale[45].

[45] Ci riferiamo al "piano biometano" illustrato nel dettaglio nelle schede (circa 2.500 pagine in tutto) allegate al PNRR.

L'obiettivo è produrre 2,3 mld di mc che si aggiungono ai 1,1 mld di mc che rappresentano il limite massimo di producibilità ammessa al meccanismo di incentivazione previsto dal decreto del 2018.

3.3.2 Ambito di mercato e possibilità di efficientamento

Come già scritto le motorizzazioni a gas naturale sono considerate meno impattanti in termini di emissioni dalle norme europee (Direttiva 1161/2019, Direttiva 2014/94/UE), con un indubbio vantaggio rispetto ad altre motorizzazioni endotermiche, che potrà crescere all'aumentare dell'utilizzo di biometano (miscelato con il gas naturale o anche tal quale). Ciononostante, come per il diesel, anche per le motorizzazioni a gas naturale è lecito attendersi un progressivo ricorso alle motorizzazioni ibride. Cosa già riscontrabile anche in acquisti recenti[46].

A differenza di quelle diesel, le motorizzazioni a CNG potranno percorrere un doppio binario per migliorare le performance ecologiche. Da un lato gli interventi sulle propulsioni, necessari anche per far fronte a limiti sempre più stringenti (Direttiva Euro VII) e dunque ricorso all'ibridizzazione con costi del tutto paragonabili a quelli del diesel. Dall'altro lavorando sul carburante, incrementando il ricorso al biometano che potrà essere utilizzato anche per l'LNG, anch'esso dunque destinato a diventare sempre più bioGNL. Il ricorso al metano in forma liquida, tuttavia, appare più destinato alle missioni di medio e lungo raggio – dove viene anche specificatamente incentivato dal PNRR – che a quelle tipiche del TPL.

La consolidata presenza delle alimentazioni a CNG in diverse città italiane, citiamo solo Bologna e Brescia per tutte, è il più importante presupposto per il riacquisto di autobus CNG nei prossimi anni. Va detto, tuttavia, che l'ottimizzazione sistemica perseguita negli anni dalle realtà in cui il metano nel TPL è molto diffuso e può dirsi rafforzato dall'approccio di filiera necessario per l'utilizzo virtuoso e conveniente del biometano, difficilmente potrà essere replicata altrove con altrettanta efficienza e sostenibilità ambientale, ricorso al biometano per l'appunto.

3.3.3 Acquisto

I prezzi di acquisto degli autobus a CNG scontano uno storico gap nei confronti dei mezzi diesel compensato dalla minor spesa per il carburante. Tendenza che è stata confermata anche nella nostra indagine e che dovrebbe permanere nel prossimo decennio. Questo perché le motorizzazioni a gas naturale dovranno sostenere costi analoghi alle diesel e dunque una progressiva ibridizzazione per ottemperare agli stringenti limiti del nuovo standard Euro VII. L'inserimento dei parametri potrebbe altresì comportare una restrizione dell'offerta e dunque una minor concorrenza tra produttori e tipologie di autobus.

Un significativo esempio in tal senso è la decisione di Daimler-Mercedes[47] di non aggiornare il motore M936 NGT che equipaggia anche il bus Citaro per rispondere allo step E, dell'Euro VI, in vigore dal settembre 2020 per le nuove omologazioni e per tutti i veicoli prodotti dal settembre 2021. Con una motivazione che è una dichiarazione di impegno per gli autobus elettrici e a idrogeno: *"Siamo chiaramente impegnati negli obiettivi dell'Accordo di Parigi sulla protezione del clima e quindi nella decarbonizzazione della nostra industria. Il trasporto veramente neutro in termini di CO2 funziona solo con l'azionamento a batteria o sulla base dell'idrogeno e delle celle a combustibile. Siamo convinti che dobbiamo scegliere oggi le fonti di energia su cui vogliamo contare a lungo termine. Questo è l'unico modo per affrontare con successo le immense sfide della protezione del clima e della*

[46] Ibrido CNG, 12 metri, acquistato da TPER a 279.900,00 € (ricambi inclusi).
[47] Che a novembre 2017 ha interrotto la produzione della Classe B a metano (B 200 c), l'ultima a CNG della Casa di Stoccarda, a novembre 2017.

trasformazione dell'industria automobilistica. Ecco perché vogliamo evitare, per quanto possibile, le tecnologie ponte che permettono i singoli passi ma non il grande salto. La nostra ambizione è di offrire solo veicoli nuovi in Europa, Giappone e Nord America che siano CO2-neutrali nel funzionamento tank-to-wheel entro il 2039. Il trasporto su strada a zero emissioni di CO2 entro il 2050 è il nostro obiettivo finale."[48]

Va notato che il Citaro con motore M936 NGT era già disponibile anche in versione ibrida a 48 volt sia versione 12 metri che in allestimento articolato da 18 metri. Primo bus urbano e primo veicolo commerciale ad essere equipaggiato con tale tecnologia, accreditata di un aggravio di massa di soli 156 kg e un risparmio di carburante fino all'8,5%, in alcune versioni.

Figura 30: Prezzo di acquisto autobus CNG

Tipologia di bus	Costo *(€)*			Fonte
	2021	2025	2030	
8 metri CNG	207.000 €	190.771 €	187.955 €	Elaborazione GREEN su stime e dati di vari: ANAV, GTT
12 metri CNG	230.000 €[49]	232.000 €	240.000 €	Elaborazione GREEN su dati ANAV - analisi di mercato
18 metri CNG	380.000 €	382.000 €	386.000 €	Elaborazione GREEN su gara GTT Torino 2021
12 metri GNL	258.065 €	250.000 €	263.500 €	Elaborazione GREEN su stime e dati operatori

Fonte: Elaborazione GREEN

Da segnalare l'acquisto del primo ibrido a Bologna: il MAN Lion's City Efficient Hybrid Cng da 12 metri, un'anteprima dei 40 che seguiranno, per 279.900 € (ricambi inclusi).

3.3.4 Costi di manutenzione e di consumo

Partendo dai dati di mercato sono stimate le evoluzioni dei costi di manutenzione per tutte le tipologie di bus. Negli anni il divario con le motorizzazioni diesel a sfavore del gas naturale permane perché entrambe devono affrontare analoghe complicazioni. L'utilizzo del biometano, anche al 100% o in forma liquida, non comporta differenze di costo apprezzabili.

Figura 31: Costi manutenzione autobus CNG

Tipologia di bus	Costo *(€/km)*		
	2021	2025	2030
8 metri CNG	0,22	0,24	0,24
12 metri CNG	0,37	0,41	0,41
18 metri CNG	0,49	0,53	0,53
12 metri GNL	0,37	0,41	0,41

Fonte: Elaborazione GREEN su stime e dati ANAV e operatori

Come per le motorizzazioni diesel anche per tutte le tipologie a gas naturale non è peregrino prevedere un incremento di efficienza, con un crescente ricorso a soluzioni ibride (v. *supra*). È altresì lecito attendersi il permanere del minor costo del carburante, anche grazie al crescente apporto del biometano. Quest'ultimo, infatti, proprio in ragione dei benefici ambientali ad esso connaturati, potrà mantenere un vantaggio (anche fiscale) rispetto al gasolio.

A meno dell'introduzione di un'incentivazione *ad hoc* il maggior costo del bioGNL – vale a dire utilizzo di biometano in forma liquida – è destinato a permanere anche negli a venire.

Figura 32: Costi di esercizio – carburante autobus CNG

Tipologia di bus	Costo *(€/km)*

[48] In risposta a Metanoauto.com: http://www.metanoauto.com/modules.php?name=News&file=article&sid=9633 il 28 aprile 2021.

[49] Recenti tuttavia sono assegnazioni con valori maggiori, quali i 247.000 € degli autobus acquistati a Torino.

	2021	2025	2030
8 metri CNG	0,22	0,21	0,20
12 metri CNG	0,36	0,34	0,32
18 metri CNG	0,43	0,42	0,41
12 metri GNL	0,43	0,42	0,41
12 metri bioGNL	0,52	0,49	0,46

Fonte: Elaborazione GREEN su stime e dati RINA e operatori

3.3.5 Le prospettive future

Le alimentazioni a gas naturale in Italia possono contare su radicata diffusione che, come accennato, in particolare in alcune città può contare su approccio di filiera che potrà beneficiare dei fondi dedicati dal Piano completare al PNRR– oltre 600 milioni nel periodo 2022-2026 – al rinnovo della flotta di autobus extraurbani e interurbani più ecologici, alimentati a metano, a batterie elettriche, ad idrogeno e per una quota massima del 15% a GNL, con il risultato che l'impegno del nostro Paese nel biometano nel esce rafforzato.

Tuttavia, per quanto riguarda segnatamente il TPL, se da un lato è molto probabile che chi ha molto investito sul (bio)metano probabilmente continuerà a farlo, e del resto non mancano le dichiarazioni e gli impegni delle aziende in tal senso, dall'altro è altrettanto vero che le condizioni, le ottimizzazioni sistemiche e i costi di chi è più legato al gas naturale sono, e saranno nei prossimi anni, difficilmente replicabili dagli altri.

3.4 Il caso dei bus elettrici

Il mercato dei bus elettrici ha avuto una forte espansione nel corso dell'ultimo decennio, raggiungendo al 2020 il numero di circa 500.000 immatricolazioni complessive, di cui il 98% sul mercato in Cina. In Europa nel 2020 sono stati registrati poco più di 2.000 bus con questa alimentazione, rispetto ai soli 100 del 2015. A livello italiano nel corso del 2020 sono stati immatricolati solo 97 bus elettrici.

Questo differente livello di maturità dei mercati mondiali si traduce in una maggior capacità competitiva dei produttori cinesi, che si avvantaggiano di importanti economie di scala e di esperienza ed è alla base delle forti differenziazioni di prezzi applicate dai produttori nei diversi mercati continentali. Per esemplificare con pochi dati questa differente maturazione del mercato, si evidenzia come fra il 2012 e il 2020 i due principali produttori europei (VDL Bus&Coach e Solaris) hanno venduto rispettivamente 791 e 732 bus elettrici, quando i principali produttori cinesi (Yutong e BYD) hanno venduto oltre 50.000 bus ciascuno. L'ampliamento dell'estensione geografica della diffusione degli e-bus è uno dei driver principali per accompagnare le innovazioni di natura industriale, tecnologica e organizzativa che prevedibilmente porteranno a rilevanti sviluppi in termini di riduzioni ed avvicinamento dei CAPEX fra i diversi mercati nei prossimi anni.

Gli e-bus hanno numerose differenziazioni nella motorizzazione, derivanti da elementi chiave relativi alle componenti e capacità ed autonomie delle batterie, a loro volta derivanti dalla scelta di operare o meno con ricariche di tipo flash od opportunity in linea o basarsi solo sulle ricariche notturne. Questa scelta dipende specificamente dalle missioni di servizio del mezzo, tenendo conto che i bus da 18 metri impegnati in servizi di tipo BRT hanno una frequenza maggiore nel ricorso ad opportunity charger al capolinea o alle fermate intermedie, mentre i bus con dimensioni minori hanno in modo prevalente una ricarica in deposito. Altri elementi differenziali derivano dalla presenza o meno di un motore endotermico dedicato al condizionamento del mezzo in quanto questo aspetto può modificare radicalmente i consumi e le performance della batteria.

L'inserimento dei bus elettrici in flotta per un'impresa di TPL richiede una visione di sistema, in quanto sono necessari differenti approcci alle valutazioni economiche del TCRO, con un forte spostamento sui CAPEX rispetto agli OPEX e di conseguenza una maggior attenzione alla vita utile del mezzo. La vita utile dei mezzi elettrici è stata stimata in 15 anni, con una sostituzione della batteria all'ottavo anno.

Le stime per le tre tipologie di mezzi qui considerati per il mercato italiano sono sintetizzate nella tabella successiva tenendo conto di un modello standard alimentato esclusivamente in deposito per i mezzi di 8 e 12 metri, mentre per il 18 metri è prevista una differente batteria per poter gestire anche le ricariche veloci al capolinea. Le stime sono state proposte tenendo conto dei valori emersi dagli esiti dei bandi di aggiudicazione delle principali imprese italiane, quali TPER, ATM, GTT, AMT Genova, Comune di Pescara e importi di gara di CONSIP nel corso del 2020 e 2021 e tenendo conto dell'idea che la stima sia la più generalizzabile possibile e non tenga conto di particolari requisiti richiesti da specifici contesti in termini di allestimenti o di incrementi di potenza delle batterie[50].

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 avvicina 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.

Figura 33: 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)

3.4.1 I trend di costo delle batterie

Allo stato attuale della tecnologia, le batterie elettrochimiche sono il principale limite alla diffusione degli e-buses in quanto incidono in modo significativo sui costi del mezzo e sono caratterizzate da valori di densità energetica significativamente inferiori rispetto ai combustibili convenzionali. Pertanto, il peso complessivo di un bus elettrico è superiore rispetto al peso dei veicoli tradizionali di

[50] In particolare i valori del modello 12 metri sono derivanti dagli esiti dei bandi di gara di GTT (relativo a 100 bus 12 metri ed assegnato nel 2020 ad un prezzo di 395mila Euro a BYD), di TPER (relativo a 20 bus dotato di pantografo da 12 metri assegnato a 499mila Euro, di cui 85.000 Euro per il pacco batterie idoneo alla ricarica in deposito, nell'aprile 2021 assegnato a VDL) e ATM (relativo a 100 bus dotati di predisposizione per ricarica in deposito da 100kw e per ricarica opportunity da 200kw, con batteria tipo NMC da 370kWh e predisposizione per alimentazione a pantografo, assegnati a 550mila Euro nel 2020 a Solaris). 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, in cui sei delle principali case produttrici hanno presentato i seguenti valori, indicati in ordine crescente di offerta economica: Karsan con il modello KRS EV12 (capacità batteria 449 kWh) a 388.306 Euro, Otokar modello e-Kan (capacità batteria 280 kWh) a 406.750 Euro, Solaris modello Urbino 12 E (capacità batteria 316,8 kWh) a 412.300 Euro, Iveco modello E-way (capacità batteria 334 kWh) a 430.000 Euro, Man modello Lyon City (capacità batteria 480 kWh) a 476.000 Euro, Mercedes Benz modello e-Citaro a 488.000 Euro. Per il modello di 8 metri sono stati presi in considerazione l'aggiudicazione del febbraio del 2021 da parte del Comune di Pescara per un lotto di 5 bus elettrici assegnato per 447.750 Euro a Rampini Spa., oltre al bando di gara di AMT Genova aggiudicato nel luglio 2020 per 10 bus e relativa ricarica in deposito a Carlo Rampini Spa e Siemens Spa per 6,099 milioni di Euro. AMT Genova il 17 Dicembre 2019 ha aggiudicato per 7,421 mln di Euro un lotto di 14 bus elettrici di 10,5 metri e relativa infrastruttura di ricarica in deposito. Per quanto riguarda l'Accordo Quadro Consip del 2021 (lotto da 80 mezzi con batteria compresa fra i 160KWh e 250KWh per cui era stato indicato un importo di 435.200 Euro, gli esiti hanno evidenziato due valori ben differenti da parte dei due partecipanti: il produttore Karsan (capacità batteria 220 KWh) ha indicato un valore di 294.614 Euro per il modello ATAK, mentre Rampini, con il modello E80 (capacità batteria 200 KWh) ha indicato 430.000 Euro.

3-4 tonnellate, con una conseguente riduzione della capacità di trasporto passeggeri, che nel caso dei bus a 12 metri è compresa fra il 10 e il 15%. Tuttavia, questo svantaggio, che tenderà a ridursi e poi azzerarsi già nei prossimi anni grazie all'utilizzo di componentistica derivante dal mondo aeronautico per la scocca dei bus e per il maggior livello di efficienza delle batterie, è compensato dalla maggiore efficienza della propulsione elettrica rispetto ai sistemi di propulsione basati su motore endotermico.

Oltre agli attuali limiti tecnologici legati alla densità di energia, altri aspetti da prendere in considerazione nella scelta del sistema di accumulo riguardano i fattori di densità di potenza, vita utile, costi e sicurezza[51]. In particolare, le nuove tecnologie sono caratterizzate da una maggiore densità di potenza, che consente di supportare il veicolo durante le fasi di accelerazione e ricaricare il pacco batteria in tempi piuttosto ridotti, senza andarne ad intaccare la vita utile. Le problematiche di sicurezza, relative all'elevata reattività dei sistemi di accumulo al litio, e di affidabilità sono in genere gestite attraverso l'impiego di Battery Management Systems (BMS). Tali sistemi sono rivolti a garantire il bilanciamento di tensione tra le singole celle del pacco batteria, durante le fasi sia di carica che di scarica, e a prevenire condizioni di funzionamento (temperature elevate, sovracorrenti, sovratensioni, etc.) che possano comportare rischi e/o danneggiare la vita utile del pacco batteria. I BMS devono essere sostituiti nel caso di utilizzo della batteria fini differenti rispetto a quelli della trazione.

I principali trend nel settore, in realtà caratterizzato da un ampio ventaglio di tipologie di batterie, vedono a confronto le due tecnologie prevalenti per le batterie, quella Lithium Iron Phosphate (LFP), tipicamente utilizzata nei casi in cui l'utilizzo prevalente è per la ricarica notturna e da produttori quali BYD e Yutong, e la Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (NMC), con un miglior rapporto peso/volume, ma maggior costo rispetto a quelle LFP, ed utilizzata da produttori quali Solaris e Daimler.

L'evoluzione delle modalità di offerta da parte dei produttori ha reso possibile l'ipotesi di scorporare dal costo di acquisto dei di bus elettrici il costo delle batterie, con formule di leasing delle batterie che trasferiscono sul produttore gli oneri di eventuali problematiche operative e di gestione a fine vita della stessa, rafforzando gli elementi di garanzia, che tipicamente sono di 8 anni di vita utile a fronte di una percorrenza massima di 500-600.000km.

Questa vita utile viene garantita a fronte di un ciclo di ricariche coerente con la tipologia di batterie, tenendo conto che le batterie al litio-ferro-fosfato utilizzati da produttori di bus come BYD per capacità di 350KWh non possono essere caricate ad alta potenza, pertanto sono utilizzabili solo per ricariche notturne in deposito, mentre altre, come quelle al nichel, cobalto manganese possono essere caricate ad alta potenza (sino a 600KW) e pertanto utilizzabili anche in contesti dove è necessaria l'alimentazione di tipo fast o opportunity in linea o al capolinea. Queste ultime possono essere impiegate con capacità inferiore sui bus e, quindi, con un costo di acquisto iniziale inferiore, a fronte di un maggior costo di infrastrutturazione di supporto lungo la linea. Inoltre, hanno un maggior durata di vita utile, in quanto non vengono completamente scaricate durante l'utilizzo giornaliero.

BloombergNEF nel rapporto Electric Vehicle Outlook 2020 evidenzia come nel corso degli ultimi 10 anni il prezzo delle batterie a ioni di litio, ponderato per il volume necessario ad esprimere una capacità di 1 KWh, sia passato da 1.191 USD (a parità di potere d'acquisto al 2020) del 2010, ai 592 USD del 2014 e ai 137 USD del 2020 (-88% nel decennio). La riduzione dei costi delle batterie così come il continuo miglioramento delle loro performance permetterà ai bus elettrici di coprire agevolmente la gran parte dei casi d'uso del trasporto pubblico su gomma nel breve periodo. A livello di performance ne è una dimostrazione il test del MAN Lion's City 12 E impiegato per la "MAN eBus Efficiency Run" sulle linee 176 e X80 gestite dalla società tpl di Monaco (MVG) dove ha superato i 550 km di autonomia. L'autobus

[51] Per i dettagli si veda Saldaña, G. (2019) e report della Commissione Europea del 2020 State of the Art on Alternative Fuels Transport Systems in the European Union

urbano completamente elettrico è rimasto infatti in funzione per 24 ore esatte sui percorsi tra Karlsfelder Straße, Moosacher e la stazione di Puchheimer, con i conducenti MAN ProfiDrive al volante.

Nell'ambito del trasporto pubblico urbano anche con un'autonomia di 400 o 300 chilometri i bus elettrici riescono tipicamente a coprire rispettivamente il 98 e l'89 percento delle tratte urbane nei contesti di grandi città.

Sulla base delle informazioni indicate nel Piano Industriale 2021-2025 di uno dei principali produttori di batterie LFP[52] il prezzo medio di vendita del pacco batterie, che saranno prodotti con il progetto IPCEI (Important Projects of Common European Interest), oscillerà, tenuto conto delle attuali previsioni di mercato e della diversa tipologia di prodotti offerti, tra 180 e 220 Euro per KWh nel mercato europeo. Per le stime al 2025 si utilizzerà il parametro di 250 Euro[53], che si prevede possa scendere ulteriormente a 180 Euro al 2030, da una base che al 2021 è di 400 Euro a KWh.

Le stime per le tre tipologie di mezzi qui considerati sono sintetizzate nella tabella successiva e sono validi per le sostituzioni delle batterie alla scadenza della garanzia o a fine vita utile, indicata tipicamente in 7-8 anni.

Figura 34: 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)

Le stime espresse in Euro/Km per le tre tipologie di mezzi qui considerati, sulla base di una vita utile della batteria di 8 anni e percorrenza annua di 45.000 Km per il bus da 8 metri, di 55.000 per quello da 12 metri e di 60.000 per il 18 metri sono sintetizzati nella tabella successiva

Figura 35: Stima dei costi delle batterie LFP per i bus elettrici di 8, 12 e 18 metri (in Euro/km)

TIPOLOGIA DI BUS	NUMERO DI KM MEDI ANNUI PERCORSI	2021	2025	2030
8 metri	45.000	0,222	0,139	0,100
12 metri	55.000	0,318	0,199	0,143
18 metri	60.000	0,458	0,286	0,206

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

3.4.2 I trend dei consumi elettrici degli e-bus

I dati relativi ai consumi, espressi in KWh per km percorso, dipendono da molti fattori, fra cui lo stile di guida dell'autista, la qualità del manto stradale, il numero di passeggeri a bordo, la velocità media, le caratteristiche altimetriche del percorso e, soprattutto, la necessità o meno di condizionamento

[52] Comunicato agli Investitori di Seri Industrial del 30 marzo 2021 per la presentazione del nuovo sito produttivo di Teverola. Come evidenziato le Bilancio 2020 di Seri Industrial, la capacità produttiva dello stabilimento di Teverola, a regime, sarà pari a stimati 7,3-8,3 GWh/anno. Per Teverola 1 (capacità di 300 MWh/anno) è previsto un prezzo medio di vendita, nel periodo di piano 2021- 2025, di 400 Euro per KWh, tenuto conto dei differenti prezzi del pacco batteria per i diversi mercati di riferimento (navale, militare, difesa, trasporto pubblico, trazione pesante, trazione leggera e storage di piccole e grandi dimensioni). Per Teverola 2 sono in corso le valutazioni dei prezzi medi target, da considerare nel periodo di piano, che saranno ricompresi, come da previsioni di mercato, tra 180 e 220 Euro a KWh, per il pacco batteria, in considerazione della maggiore incidenza, nelle previsioni di vendita, dei prodotti destinati al mercato della trazione leggera.

[53] Le stime della Commissione Europea del 2016, contenute nel documento "Become competitive in the global battery sector to drive e-mobility forward" e riprese dalla Vreije Universiteit del 2019 indicano un valore atteso di 90 Euro/KWh al 2022, che appare ottimistico alla luce delle esigenze di performance di sicurezza ed affidabilità del settore del TPL. Tsiroupolus et al. (2018) indicano una prospettiva di costo compresa fra i 75 e i 100 Euro/KWh al 2025-2030.

climatico a bordo. Quest'ultimo fattore può quasi raddoppiare i consumi in caso di situazioni di particolare freddo o caldo.

Sulla base dei consumi medi certificati da ViriCiti nel 2020 in Olanda, calcolati su oltre 100 bus monitorati per 10 mesi, emerge un consumo medio pari a 1,15 KWh/km per i bus da 12 metri e 1,63KWh/km per i bus da 18 metri, e sulla base dei dati certificati da Rina sul mercato italiano e ripresi da MOTUS –E pari a 1,16KWh/km per i 12 metri, si ottengono dati molto similari, pertanto si utilizzerà il valore di 1,15KWh. I dati relativi ai consumi del modello 8 metri, pari a 0,9KWh/km sono indicati sulla base dell'esperienza GTT a Torino.

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[54] e scelte innovative dei materiali della scocca mutuate dal settore aerospaziale[55]) sia a miglioramenti delle performance energetiche, perseguibile grazie anche al miglioramento del processo di recupero di energia in fase di frenatura, resa possibile dalle tecnologie che prevedono un crescente utilizzo di accorgimenti tecnici innovativi, fra cui i motori elettrici in corrispondenza dei mozzi ruota e il pacco batterie sotto il pavimento calpestabile del bus.

Figura 36: 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)

Questi dati possono variare del 14% nel caso di necessità di riscaldamento a bordo per temperatura compresa fra i 10 e il 19 gradi o del 9% in caso di climatizzazione per rinfrescare nel caso di una temperatura esterna massima di 29 gradi, sulla base del report di ViriCiti.

Il costo dell'energia elettrica a livello italiano è pari a 0,14-0,17 Euro/KWh (fonte Enel) ed è un valore che non gode di agevolazioni fiscali[56], al contrario di quanto accade in diversi altri paesi europei come la Germania o la Francia dove sono previste riduzioni degli oneri di sistema o delle accise per favorire la mobilità elettrica. Tenendo conto degli obiettivi europei e nazionali in tema di decarbonizzazione, della prevedibile revisione degli schemi di tassazione dell'energia a livello europeo e dell'ipotesi di revisione del decreto energivori a livello italiano, che prevedibilmente potrà essere esteso alle imprese di trasporto pubblico locale, si stima che il costo medio dell'energia elettrica per il settore del TPL possa scendere del 10% al 2025 e stabilizzarsi su questo nuovo valore sino al 2030.

Figura 37: Stima del costo dell'energia elettrica per il TPL in Italia (espresso in Euro/KWh)

2021	2025	2030
0,15	0,135	0,135

Fonte: Elaborazione GREEN

3.4.3 Il costo delle manutenzioni full service degli e-bus

Sulla base degli esiti di gara più recenti, quali quelli di GTT a Torino e di ATM a Milano, il costo medio del servizio full service di manutenzione per bus di 12 metri (compresa la componentistica e la

[54] Ad esempio, nel nuovo modello presentato nel marzo 2021 dal produttore di bus olandese VDL (Cilea New generation) la densità energetica della batteria prodotta da CATL è pari a 160 Wh/kg rispetto ai 130 Wh/Kg dei produttori best in class su questo tema (Volvo e Solaris) sino a quel momento.

[55] Questo aspetto è particolarmente evidente, ad esempio nel passaggio dal modello Ebusco 2.2. Ebusco 3.0 la cui produzione è stata avviata ad inizio 2021, con un peso che è passato da 12 tonnellate ad 8,5 tonn, a parità di prestazioni e di batteria.

[56] Il TPL, in genere, non beneficia degli sgravi per le Aziende previsti dal «Decreto Energivori» (Decreto MISE 21/12/2017).

manodopera) è di circa 10.500 Euro l'anno per i primi 10 anni, corrispondente a 0,21 Euro/km nel caso di 50.000 km annui, con una stima di 55.000km annui il valore sale a 11.550. Questo valore pari a 0,126 per l'8 metri Euro/km e 0,280 Euro/km per il 18 metri che non muta nei diversi scenari temporali in considerazione sia della rilevanza dei costi della manodopera rispetto a questo valore, sia della prevedibile maggior necessità di sostituzioni di componentistica legata alla sensoristica e all'elettronica di bordo sempre più complessa, compensata da una maggior standardizzazione del servizio e dalla valorizzazione di logiche di manutenzione predittiva.

3.4.4 La valorizzazione della batteria a fine vita utile per la mobilità

Come evidenziato nel paragrafo 1.1.4, alla luce delle evoluzioni attese imposte dai previsti regolamenti europei in tema di batterie e di rifiuti da batterie[57], che promuovono in modo pervasivo un'economia circolare e una riduzione degli impatti sociali ed ambientali in tutte le fasi del ciclo di vita delle batterie, sono numerose le iniziative pilota promosse in modo congiunto da produttori di bus e di batterie per una piena valorizzazione a fine vita utile[58].

Tipicamente la batteria viene considerata non più valorizzabile ai fini della mobilità e di conseguenza sostituita con una nuova e rigenerata, quando la capacità è degradata al 70-80% dei valori originari. Il produttore può valorizzare la batteria per la "seconda vita" ai fini di applicazioni stazionarie di vario tipo, fra cui l'accumulo a supporto di impianti di generazione elettrica da fonti rinnovabili non costanti o a supporto della stabilizzazione delle potenze del deposito dei bus.

La nuova proposta di Regolamento UE sulle batterie indica come di particolare importanza il requisito di avere un Battery Passport (identificativo unico, informazioni tecniche accessibili online, ecc.) e ciò dovrebbe consentire uno snellimento dei processi e l'abbattimento dei costi e dei tempi per la rifunzionalizzazione delle batterie. L'introduzione del Battery Passport è prevista dal 1° gennaio 2027.

Il valore residuo delle batterie (2ND LIFE) da considerare all'interno di un'analisi di TCRO da parte delle imprese di TPL deve tener conto di diversi elementi:

- Il prezzo delle batterie nuove, che in tutti gli scenari proposti dai principali analisti è stimato in forte calo come evidenziato nel paragrafo 3.4.1;
- 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 alcune 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;
- 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.

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

[57] In particolare, il più incisivo è la proposta di Regolamento COM 2020/0353 relativo alle batterie e ai rifiuti di batterie, che abroga la direttiva 2006/66/CE e modifica il regolamento (UE) 2019/102, oltre al più strategico piano di azione della Circular Economy (A New Circular Economy Action Plan for a Cleaner and More Competitive Europe, 2020)

[58] A livello europeo i progetti sono stati promossi, ad esempio, da Volvo Bus (per un deposito stazionario a Gothenbourg in ambito residenziale), da Solaris Bus&Coach (in collaborazione con il National Centre for Research polacco con diverse ipotesi di utilizzazione delle batterie), da Irizar (in collaborazione con Repsol in Spagna per innovative stazioni di ricarica per auto elettriche) e con Daimler Bus per il recupero dell'energia prodotta in frenata da parte dei tram ad Hannover).

battery management system, il valore residuo al 2025 può essere stimato in 60 Euro per KWh, che è superiore rispetto ai 40 Euro per KWh[59] stimati 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; 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). Questo valore di 60 Euro per KWh è relativo al mercato italiano, dove si prevede un forte sviluppo di industrie di recupero e riassemblaggio delle batterie, in particolare di quelle al Litio presso lo stabilimento di Teverola di Seri Industrial, che permette di stimare un prezzo più elevato della media del Sud Europa grazie anche ai minori costi di trasporto delle batterie a fine vita utile verso gli impianti di riassemblaggio. Inoltre, a livello italiano sono spesso necessari nuovi depositi per accogliere i bus elettrici in modo ottimale e questo rilevante costo di investimento iniziale può essere valorizzato anche attraverso pianificazioni innovative che permettono un utilizzo delle batterie a fine vita utile all'interno degli stessi depositi di bus. Questo aspetto può contribuire a valorizzare l'innovazione eco-sistemica relativa al concetto stesso di deposito che può divenire un elemento centrale delle reti elettriche urbane sia come produttore, grazie ai pannelli fotovoltaici sul tetto, sia per contribuire al bilanciamento della rete elettrica, in logica bus2grid, come meglio descritto nel successivo paragrafo.

3.4.5 I costi delle infrastrutture di ricarica e lo sviluppo del bus2grid

Lo sviluppo di flotte di e-bus richiede un adeguato ammodernamento dei depositi per poter ospitare le infrastrutture di ricarica notturna o nelle fasce di morbida della seconda parte della mattina, tipicamente in grado di gestire le ricariche attraverso erogazioni comprese fra i 50 e i 100 kw. Indipendentemente dalla tipologia di ricarica utilizzata, considerando che le più diffuse sono di tipo plug-in o a pantografo, in questa fase si considera un rapporto di 1:1 fra numero di bus e numero di colonnine. Ciascuna colonnina viene indicata ad un costo medio di 28.000, che comprende una quota parte degli oneri di investimento necessari per l'installazione di cabine di media tensione, il cui costo è stato stimato in 1,2 milioni di Euro, da suddividere per 50 bus in media, generando un onere di infrastrutturazione di 24.000 Euro per ciascun bus, oltre al costo della colonnina di 4.000 Euro.

Per gli autobus autoarticolati da 18 metri è necessario considerare un sistema di ricarica al capolinea ("opportunity charging") con un costo stimato di 110.000 Euro (ricarica rapida da 200KW con un utilizzo medio di 8 minuti), ciascuno dei quali viene utilizzato da 40 bus, per un utilizzo medio giornaliero di 5 ore e 20 minuti. Il costo medio di manutenzione è stimato in 11.000 Euro l'anno e la vita utile dell'opportunity charger è stimata in 15 anni al pari dei bus. I costi operativi aggiuntivi per l'autobus da 18 metri che utilizza l'opportunity charger sono quindi stimati in 6.600 Euro per l'intero ciclo di vita indicato in 15 anni. Tenendo conto dei 60.000 Km annui stimati, si tratta di un valore pari a 0,00785 Euro a km.

La tabella di sintesi di seguito schematizza i risultati precedentemente descritti, non prevedendo riduzioni di costo nell'arco temporale fra il 2025 e il 2030. Dopo una riduzione del 5% fra il 2021 e il 2025 resa possibile dallo sviluppo delle economie di scala legate alla rapida accelerazione della domanda di infrastrutture di ricarica in deposito.

Figura 38: Stima dei costi medi (Euro/km) dovuti all'utilizzo di specifiche infrastrutture di ricarica

TIPOLOGIA DI BUS	INFRASTRUTTURA A DEPOSITO (COSTO)	INFRASTRUTTURE A CAPOLINEA (COSTO)	KM A CICLO DI VITA	2021	2025	2030
8 metri	28.000	-	675.000	0,041	0,039	0,039
12 metri	28.000	-	825.000	0,034	0,032	0,032

[59] Fonte: Vrije Universiteit Brussels and European Copper Institute (2019) e Tsiroupoulus 2018.

18 metri	28.000	6.600	900.000	0,038	0,036	0,036

Fonte: Elaborazione GREEN su stime e dati di varie fonti (ATM, MOTUS-E)

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 sono molto recenti a livello italiano.

Sulla base degli studi preliminari CESI-RSE[60] sul tema, si può stimare che la dimensione dei mercati può consentire per i proprietari di auto elettriche con capacità della potenza della infrastruttura di ricarica di soli 7KW di ottenere una remunerativitá di alcune centinaia di euro/anno già in modalità V1G che significa una riduzione del Total Cost of Ownership (TCO) di diversi punti percentuale rispetto a ricarica senza funzionalità smart. Il V2G rispetto al V1G incrementerebbe sicuramente la rimunerativitá e aggiungerebbe opportunità di funzionamento per evitare il taglio di overgeneration di sistema, sono però da valutare i costi aggiuntivi che la tecnologia di ricarica comporta rispetto a colonnine V1G oltre a verificare (e monetizzare) il degrado della batteria del veicolo a causa dei servizi offerti.

In questa prima fase di stima, in via prudenziale e basandoci sulle prime stime di RSE[61], ipotizzando che la banda di disponibilità messa a disposizione dal veicolo sia di 50 KW[62] si prevede che il B2G possa permettere di azzerare i costi di infrastruttura in deposito e generare ricavi annui aggiuntivi pari a 1.000 Euro per bus. 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.

3.5 Il caso dei bus ad idrogeno

L'idrogeno è tornato protagonista del dibattito in materia di energia, cosa che accade da ormai cinquant'anni ciclicamente tanto nella produzione che nella distribuzione e negli utilizzi (Zollino, 2020).

Le ragioni di tanta attesa vanno ascritte al fatto che l'idrogeno (la cui combustione produce solo acqua) viene percepito come la soluzione definitiva per affrancarci dalle fonti fossili e dall'economia 'al carbonio'. Inoltre, l'idrogeno, il cui stoccaggio è, almeno in linea di principio, più semplice rispetto a quello dell'energia elettrica, potrebbe rappresentare una soluzione per il problema dell'intermittenza con cui l'energia elettrica è generata dalle fonti rinnovabili. Si produce idrogeno da queste ultime, si può immagazzinarlo e in seguito trasformarlo in energia elettrica quando necessario.

Il settore dei trasporti, come noto, è tra i più difficili da decarbonizzare. Un ambito complesso, in cui da tempo si parla del possibile ruolo dell'idrogeno quale carburante alternativo; già nel 1992, infatti, con l'Energy Policy Act (EPAct) negli USA veniva annoverato insieme a biodiesel, energia elettrica, etanolo, gas naturale e GPL.

Oggi, gli sforzi sono concentrati sul ricorso alla *fuel cell*, un dispositivo elettrochimico che permette di convertire direttamente l'energia chimica del combustibile in energia elettrica senza che avvenga alcun processo di combustione termica. La pila a combustibile, invero, è un'invenzione di fine '800, come, del resto, lo è anche l'automobile elettrica, che utilizza come fonte di energia primaria l'energia

[60] Risultati Workshop del 27 Luglio 2019 organizzato da CESI e MOTUS-E.
[61] RSE Progetto "Scenari e strumenti per la mobilità elettrica e relativa integrazione e interazione con il sistema elettrico" del dicembre 2019
[62] Questa indicazione sottende il fatto che, nelle ore in cui il veicolo partecipa al mercato – tipicamente fra le 14 e le 20 dei giorni feriali tenendo conto del contesto italiano – vi sia una disponibilità massima del prelievo pari a tale valore.

chimica immagazzinata in batterie ricaricabili e resa disponibile da queste al motore sotto forma di energia elettrica.

Gli autobus alimentati idrogeno abbinati alla *fuel cell*, specie in ambito urbano, sono stati sperimentati, con alterne e non eccelse fortune, anche in Italia – a Torino, Bolzano, Trento, Milano – già a partire dai primi anni Duemila. Con una stagione avviata dal programma CUTE (Clean Urban Transport for Europe) che ha portato alla sperimentazione di 27 autobus Mercedes Citaro Fuel cell e relative infrastrutture (più altri tre veicoli a Reykjavik, progetto Ectos) dal 2003 al 2005. Diversi altri progetti si sono susseguiti nel tempo, sostenuti dalla Comunità Europea o finanziati in proprio da consorzi o Enti locali, fino ai più recenti JIVE, JIVE 2 e H2BUS Europe.

Figura 39: I progetti europei per il finanziamento di bus ad idrogeno dal 2001 al 2021

PROGETTO	NUMERO AUTOBUS	LOCALITÀ	BUDGET (mln€)
CUTE (2001-2006) Clean Urban Transport for Europe	27	Amburgo, Londra, Barcellona, Stoccolma, Porto, Stoccarda, Amsterdam, Lussemburgo, Madrid	21
HYFLEET-CUTE (2006-2009)	47	Amsterdam, Amburgo, Barcellona, Berlino, Londra, Lussemburgo, Madrid, Perth, Reykjavik	43
CHIC (2010-2016) Clean Hydrogen in European Cities	56	Aargau, Amburgo, Bolzano, Colonia, Londra, Milano, Oslo, Whistler	81,8
HYTRANSIT (2012-2018)	6	Aberdeen	
HIGH V. LO CITY (2012-2018)	14	Aberdeen, Anversa, Sanremo	
JIVE (2017-2023) Joint Initiative for hydrogen Vehicles across Europe	139	Aberdeen, Birmingham, Bolzano, Colonia (regione), Charleroi, Dundee, Londra, Reno-Meno, Olanda Meridionale, Wuppertal	32
JIVE 2 (2018-2024)	152	Auxerre, Barcellona, Brighton, Colonia, Dundee, Emmen, Gheldria, Groningen, Pau, Olanda Meridionale, Tolosa, Velenje, Wuppertal	25
H2BUS EUROPE (2019)	600	Danimarca, Lettonia, Regno Unito	40

Fonte: Fuel Cell Electric Buses

Tutti questi progetti hanno concorso alla diffusione dell'idrogeno in Europa, Germania in testa, dove le stazioni di rifornimento sono passate da 20 del 2016 a 91 di maggio di 2021, mese in cui si sono consumate 13,4 tonnellate di idrogeno a fronte delle 2,1 consumate a settembre 2016[63].

Gli autoveicoli alimentati con idrogeno, del resto, al pari di quelli che usano energia elettrica sono significativamente incentivati dalle norme europee, tanto dal Regolamento UE 2019/631 per le autovetture e i veicoli commerciali leggeri, tanto dal Regolamento Ue 2019/1242 che – per la prima volta – impone obiettivi di riduzione delle emissioni di CO2 dei veicoli pesanti nuovi[64].

Tuttavia, se gli autoveicoli elettrici sono ormai da considerarsi dei concorrenti, invero ormai temibili, dei veicoli a combustione interna, lo stesso non può dirsi per gli automezzi alimentati a idrogeno e tra questi ultimi gli autobus non costituiscono un'eccezione.

[63] Da h2.live, consultata il 4 giugno 2021.
[64] Analogamente a quando già visto nei regolamenti (CE) n. 443/2009 e (UE) n. 510/2011 per auto e furgoni i cui obiettivi e sanzioni, hanno significativamente spinto tanto l'offerta quanto la domanda di autoveicoli elettrici e ibridi plug-in.

3.5.1 I costi di acquisto

I costi, tutt'altro che modesti, derivanti dai progetti sperimentali condotti in Italia nel recente passato, che hanno anche superato il perimetro del TPL, come nel caso della linea Sanremo-Taggia[65], non possono essere considerati ancora validi.

Più utili le informazioni desumibili dalla consegna di 12 Solaris Urbino 12 hydrogen, avvenuta a maggio 2021 a Bolzano. Tanto più che i nuovi mezzi vanno ad aggiungersi ai 5 Mercedes-Benz Citaro - operativi anche a Milano per Atm - entrati in servizio dall'autunno del 2013 nell'ambito progetto CHIC (Clean Hydrogen in European Cities)[66].

I Solaris – acquistati con gara nel 2019 nell'ambito del progetto JIVE con un budget a disposizione di 12,8 milioni[67] –sono stati assegnati all'unico concorrente per un valore unitario di 650.000€ per autobus in versione base più "200.000€ di personalizzazione"[68]. Al di là della curiosa coincidenza dei costi di personalizzazione con l'importo del contributo europeo va segnalato che probabilmente a Bolzano si è pagato il prezzo di essere arrivati tra i primi. A Barcellona, infatti, sono a settembre 2020 sono stati assegnati 8 bus Caetano H2.City Gold, previsti in servizio per il 2022, acquistati da TBM Barcelona sono costati 6,4 milioni di euro, per un importo unitario di 661.700€, alla gara con tre concorrenti ha partecipato anche Solaris che per l'Urbino 12 hydrogen ha offerto 675.000€.

3.5.2 I costi dell'infrastruttura

I Solaris Urbino da 12 metri saranno alimentati da una stazione di rifornimento di idrogeno installata all'interno del deposito dell'azienda di trasporto pubblico SASA non ancora realizzata al momento della stesura del presente lavoro. Mentre l'impianto attualmente in funzione a Bolzano, l'unico aperto al pubblico in Italia, nel 2014 è costato complessivamente 11,3 milioni di euro, per la produzione (con tre elettrolizzatori), lo stoccaggio e la distribuzione dell'idrogeno (verde) e di tutte le opere edilizie.

Per un valore più attuale e con una valenza commerciale va considerato un importo senz'altro inferiore. Per una stazione in grado di rifornire 25 autobus al giorno nei prossimi anni il costo dovrebbe aggirarsi intorno ai 5 milioni di euro, prendendo come riferimento valori commerciali degli Stati Uniti. Tale cifra risulta peraltro di poco inferiore a quanto unitariamente previsto dal PNRR per la realizzazione di 40 stazioni entro il 2026.

3.5.3 I costi operativi

I cinque Citaro Fuel Cell del progetto CHIC operativi a Bolzano dal 2013, probabilmente i mezzi a idrogeno che hanno percorso più chilometri in Italia, a fronte di un significativo risparmio di CO2 hanno presentato costi di manutenzione e di consumo rilevanti, questi ultimi nel 2017 ammontavano a 0,94 Euro/km[69].

---

[65] Una sperimentazione dagli esiti disastrosi, avviata con anni di ritardo (in particolare per la realizzazione della stazione di rifornimento) culminato con la restituzione di 2 dei 5 bus VanHool acquistati con un investimento di 3,4 milioni europei e 3 dal territorio ligure.

[66] Con una percorrenza stimata di 5 mila km/mese.

[67] 12 autobus urbani (di cui 2 opzionali) 12 m a pianale integralmente ribassato, a celle a combustibile alimentati a idrogeno, classe I per il trasporto pubblico di linea nell'area di Bolzano/Merano, dotati di sistemi ausiliari per l'esercizio, ai sensi del D.M. 8 maggio 2012.

[68] Interrogazione Nr. 166 trasporto pubblico in Alto Adige del 8 maggio 2019.

[69] Interrogazione n. 3257/18 – Mobilità a metano – elettrico – gasolio – trasporto pubblico locale. Al 31/12/2017 i cinque autobus avevano percorso un totale di 930.424 km, risparmiando circa 1.115 tonnellate di CO2. Parecchia elevata la manutenzione, in media 2,68 Euro/km.

Per utilizzare parametri più attuali si è optato per valori di letteratura, in particolare i dati riportati in Fuel Cell Electric Buses: Proven Performance and the Way Forward, di Ballard, di gennaio 2021 che restituisce una fotografia accurata dello stato dell'arte degli autobus a idrogeno circolanti nel mondo, a partire dai dati consumo medio (circa 12,5 km con un kg di idrogeno) è stato calcolato un costo di 0,8 €/km, con un decremento atteso per i prossimi anni sia in ragione dell'incremento di efficienza del bus sia nella produzione, nello stoccaggio e nella distribuzione dell'idrogeno, con un conseguente calo del prezzo al kg.

Figura 40: Parametri costo di esercizio – consumo combustibile in €/km al 2021/2025/2030

TIPOLOGIA DI BUS	2021	2025	2030
12 metri	0,80	0,72	0,54

Fonte: Elaborazione GREEN su stime e dati Ballard

I costi di manutenzione invece, 0,33 €/km, sempre desunti dallo studio Ballard – anche in analogia agli autobus elettrici – sono stati ipotizzati pressoché constanti per il prossimo decennio. Questo perché i miglioramenti attesi, meglio le riduzioni di costo, sono più da ricondursi all'intero sistema, e dunque alla produzione, allo stoccaggio, al trasporto e alla distribuzione, che specificatamente al mantenimento dell'efficienza operativa dei mezzi.

3.5.4 Le prospettive future

L'idrogeno è potenzialmente molto versatile e può dunque essere visto sia come un vettore energetico a sé stante sia come una fonte di flessibilità complementare allo sviluppo delle rinnovabili nella generazione elettrica. Inoltre, l'idrogeno è una materia prima per alcune applicazioni industriali (industria siderurgica, raffinerie, fertilizzanti). Oggi, tuttavia solo in alcuni settori l'idrogeno può essere considerato una tecnologia matura, dove in verità è usato non come combustibile ma come reagente chimico per la creazione di prodotti chimici di base, l'ammoniaca su tutti e non ancora per decarbonizzare.

La possibilità di utilizzare l'idrogeno, nel settore dei trasporti, nella generazione elettrica o come vettore termico, dipende dallo sviluppo di tecnologie e da innovazioni, anche regolatorie, che ne garantiscano l'effettiva economicità. Tutti questi possibili usi se da un lato possono rappresentare un fattore di spinta e di probabili sinergie, dall'altro rappresentano un elemento di concorrenza tra gli usi stessi. Concorrenza che potrà riflettersi anche nelle policies di incentivazione: difficile incentivare contemporaneamente tutti gli usi.

Inoltre, non vi è evidenza in Italia, come altrove, di investimenti prioritari per l'uso dell'idrogeno nei trasporti e nel TPL in particolare. Benché, non manchino i produttori automotive impegnati nell'uso dell'idrogeno, Toyota[70] e Hyundai in testa, rispettivamente impegnati anche nei bus[71] e nei truck[72], come va menzionato il programma Hydrogen Fuel Cell di Stellantis per i veicoli commerciali di Peugeot, Citroen e Opel, che pure beneficia dell'appoggio del governi francese e tedesco[73], è opinione diffusa che l'idrogeno verde per alimentare autobus e autocarri pesanti sia una possibilità per la seconda metà di questo decennio, anche perché i produttori dovranno adeguarsi a obiettivi di

[70] Il colosso giapponese per dimostrare l'impegno (e la non pericolosità) dell'idrogeno, in attesa di mostrare i muscoli alle sfortunate Olimpiadi di Tokyo 2020, si impegnata anche nell'utilizzo nel motorsport di idrogeno compresso direttamente nel motore endotermico.
[71] Mille i camion XCient Fuel Cell da circa 32 tonnellate, con possibilità di rimorchio, con due pile a combustibile da 95 da 95 kW che alimentano un motore elettrico da 350 kW, una batteria elettrochimica da 73,2 kWh, previsti in Svizzera già nel 2023.
[72] Adozione della fuel cell e del serbatoio di idrogeno a 700 bar per i furgoni elettrici costruiti sulla piattaforma EMP2.
[73] 25 le stazioni di rifornimento in Francia, 90 in Germania, una sola in Italia.

emissione più severi[74], come ad esempio scrive S&P Global Ratings nel recente ed evocativo "The Hydrogen Economy: For Light Vehicles, Hydrogen Is Not For this Decade".

A ciò che va aggiunto che utilizzare l'idrogeno nei trasporti implica utilizzare una tecnologia sistemica che coinvolge numerosi attori, ambito in cui l'Italia non è certo tra i Paesi più all'avanguardia[75].

Se dunque, come prevede anche il PNRR, non dovrebbero mancare gli investimenti nell'idrogeno, è difficile prevedere una significativa riduzione del gap, a cominciare dal prezzo d'acquisto dei bus, rispetto alle altre alimentazioni nel medio termine.

Figura 41: Prezzo medio di acquisto autobus esercizio, con previsione al 2025 e al 2030

TIPOLOGIA DI BUS	2021	2025	2030
12 metri	670.000	480.000	380.000

Fonte: Elaborazione GREEN

Peculiare iniziativa italiana, infine, è l'utilizzo dell'alimentazione a idrogeno sul motore endotermico[76], la cui prima applicazione realizzata da Industria Italiana Autobus, con il supporto di Landi Renzo, per fine 2022 su autobus che sarà testato da Tper.

[74] Per i Paesi dell'Unione europea basti pensare al già citato Regolamento Ue 2019/1242 o all'introduzione dello standard Euro VII.
[75] Basti pensare al ritardo accumulato dal progetto 3eMotion con due gare deserte, nel 2018 e nel 2020, per 5 autobus destinati ad essere sperimenti nella Capitale (costo stimato 850.000 Euro).
[76] A partire da un'unità motrice diesel di 6,6 litri di cilindrata, per 200 kW di potenza.

4 Il calcolo del TCRO per il mercato italiano

In questo capitolo vengono presentati i parametri chiave selezionati e i risultati del calcolo di TCRO e TCO per quanto riguarda il mercato italiano degli autobus per le motorizzazioni rilevanti. È proposta inoltre una definizione delle ipotesi di base e del processo di costruzione del modello analitico che hanno portato all'elaborazione dei risultati, con riferimento sia al presente che agli scenari relativi agli anni 2025 e 2030.

4.1 La definizione del modello di calcolo TCO / TCRO

Per l'elaborazione degli scenari temporali, il modello tiene innanzitutto conto dell'evoluzione attesa delle tecnologie nelle motorizzazioni in termini di costi e performance, delle normative e delle strategie, analizzata nel dettaglio nei capitoli precedenti. 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.

A titolo esemplificativo si presenta di seguito la tabella esplicativa delle ipotesi di percorrenza media, elaborata attraverso analisi di benchmark delle informazioni disponibili fornite da operatori di trasporto pubblico locale e produttori di autobus. I valori medi si differenziano in maniera sostanziale tra le tre dimensioni considerate in particolare per i bus più piccoli, influenzando la rilevanza finale dei costi operativi nella quantificazione di TCO e TCRO.

Figura 42: Percorrenze medie dei veicoli per dimensione, km/anno

	2021	2025	2030
Autobus 8m	45.000	45.000	45.000
Autobus 12m	55.000	55.000	55.000
Autobus 18m	60.000	60.000	60.000

Fonte: Elaborazione GREEN, benchmark operatori e produttori

Un secondo aspetto qui esplicitato è quello della stima della vita utile dei veicoli, che dipende da una pluralità di fattori. Essa è infatti influenzata nella realtà sia dalla tipologia di utilizzo che dalle strategie aziendali degli operatori, che dalle opportunità di rinnovo del parco veicolare fornite dai piani di finanziamento pubblico.

Per la costruzione del modello si è ipotizzato, a partire dalle analisi di benchmark condotte sui dati di operatori e produttori, di differenziare le ipotesi di vita utile media sia per alimentazione che in base alla scelta di effettuare o meno un overhaul/revamping dei mezzi una volta raggiunto il limite stimato per estenderne la vita utile.

La tabella di seguito riporta i parametri di vita utile considerati per il calcolo, tenendo conto che per il calcolo di TCO e TCRO per tutte le alimentazioni è stata adottata l'ipotesi di estensione attraverso overhaul/revamping.

Figura 43: Vita utile media dei veicoli per alimentazione, anni

	2021	2025	2030
Vita utile bus EV	8	8	8
Vita utile bus EV con overhaul	15	15	15
Vita utile diesel	10	10	10
Vita utile Diesel con revamping	14	14	14

Vita utile CNG	10	10	10
Vita utile CNG con revamping	14	14	14
Vita utile LNG	10	10	10
Vita utile LNG con revamping	14	14	14
Vita utile Idrogeno	10	10	10
Vita utile Idrogeno con revamping	14	14	14

Fonte: Elaborazione GREEN, benchmark operatori e produttori

Per il calcolo di TCO e TCRO sono stati considerati elementi specifici di costo relativi alle differenti motorizzazioni confrontate, suddivise tra costi operativi e in conto capitale. Nello specifico, per ciascuna alimentazione sono inclusi nel modello:

- i costi relativi al veicolo (acquisto e overhaul/revamping);
- i costi di manutenzione (stimati generalmente sulla base di contratti full service);
- i costi relativi al consumo di energia/carburante;
- i costi di infrastruttura per ricarica/rifornimento.

Nell'elaborazione del TCRO sono stati ovviamente inclusi anche i principali elementi di ricavo che caratterizzano gli autobus elettrici e il loro ruolo all'interno della rete elettrica, ovvero le potenzialità del "Bus to Grid" e la valorizzazione delle batterie a fine vita utile (second life) per operatività diverse dalla mobilità.

Un elemento caratterizzante del modello 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.

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.

L'elenco completo dei valori utilizzati per il calcolo di TCO e TCRO e delle fonti di riferimento è presentato in appendice.

4.2 I risultati del modello al 2021

Di seguito si riportano i risultati del calcolo di TCO e TCRO relativi all'anno 2021, per le differenti dimensioni di bus considerate (8, 12 e 18 metri) e per le tipologie di alimentazione rilevanti.

I risultati sono esposti sia in formato tabellare, per permettere l'analisi di dettaglio delle differenti componenti di costo e ricavo, sia attraverso la rappresentazione grafica in istogrammi per consentire un confronto visivo tra le differenti alimentazioni rilevanti per ciascuna dimensione considerata.

4.2.1 Risultati 8M

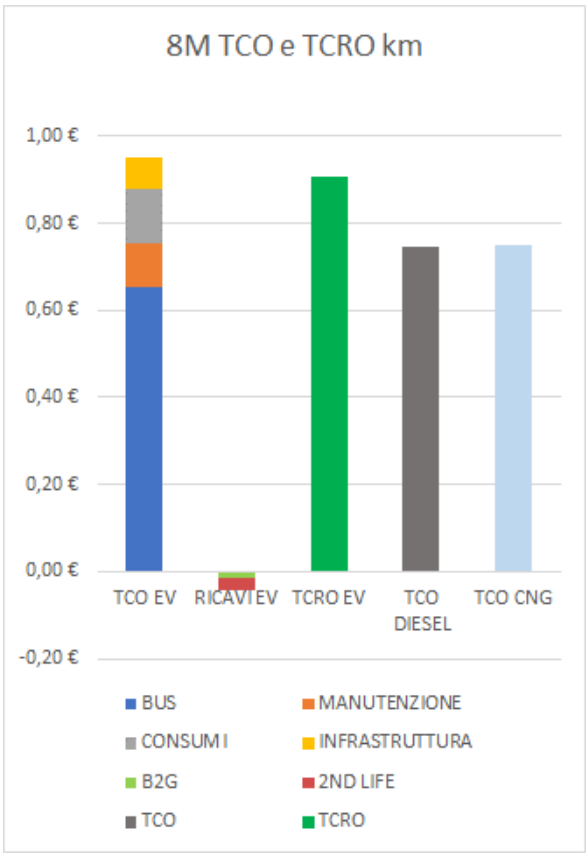
Per quanto riguarda la versione 8 metri, i veicoli FULL ELECTRIC scontano in particolare il fattore costo di acquisto, a fronte di risparmi più contenuti nei costi operativi a causa del limitato chilometraggio. Le alimentazioni rilevanti per questa dimensione sono diesel e CNG, entrambe maggiormente economiche al 2021 sia in termini di TCO (con risparmi di 20 e 21 cent al km) che di TCRO. Il contributo dei ricavi alla formazione del TCRO per i bus elettrici è pari a 4 cent al km.

Figura 44: Costi e ricavi per tipologia 8M, anno 2021

	FULL ELECTRIC	DIESEL	CNG
Bus	0,654 €	0,300 €	0,369 €
Manutenzione	0,102 €	0,171 €	0,181 €
Consumi	0,124 €	0,270 €	0,182 €
Infrastruttura	0,071 €	0,004 €	0,017 €
B2G	- 0,013 €	-	-
2nd life	- 0,029 €	-	-
Totale TCO	0,950 €	0,744 €	0,748 €
Totale TCRO	0,908 €	0,744 €	0,748 €

Fonte: Elaborazione GREEN

Figura 45: TCO e TCRO per tipologia 8M, anno 2021



Fonte: Elaborazione GREEN

4.2.2 Risultati 12M

Dall'analisi per la versione 12 metri, risulta come i veicoli FULL ELECTRIC siano maggiormente competitivi rispetto al caso precedente, scontando tuttavia ancora circa 6 cent di euro al 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 di TCO e TCRO. 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 gli autobus FULL ELECTRIC presentano un vantaggio competitivo in

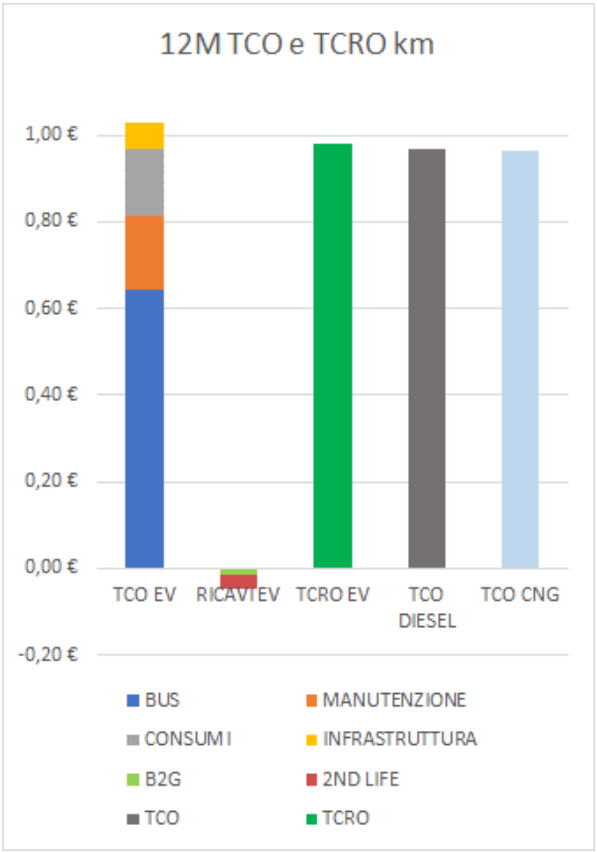
termini di TCO in particolare per quanto riguarda i costi operativi (e rispetto all'idrogeno anche di costo di acquisto).

Figura 46: 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 €

Fonte: Elaborazione GREEN

Figura 47: TCO e TCRO per tipologia 12M, anno 2021



Fonte: Elaborazione GREEN

4.2.3 Risultati 18M

Per quanto riguarda i bus 18 metri, anche in questo caso il FULL ELECTRIC è caratterizzato da una elevata incidenza del prezzo di acquisto. Sebbene per questa tipologia si aggiunga ai costi di infrastruttura considerati (*overnight charging*) anche il costo pro quota dell'*opportunity charging*, questo influisce in maniera contenuta sul TCO (inferiore all'1%).

Il gap in termini di TCO è nell'ordine dei 6 cent al km rispetto al diesel, e 15 rispetto al CNG che si dimostra la scelta più economica in questa fase per la tipologia in questione. Il ruolo dei ricavi è

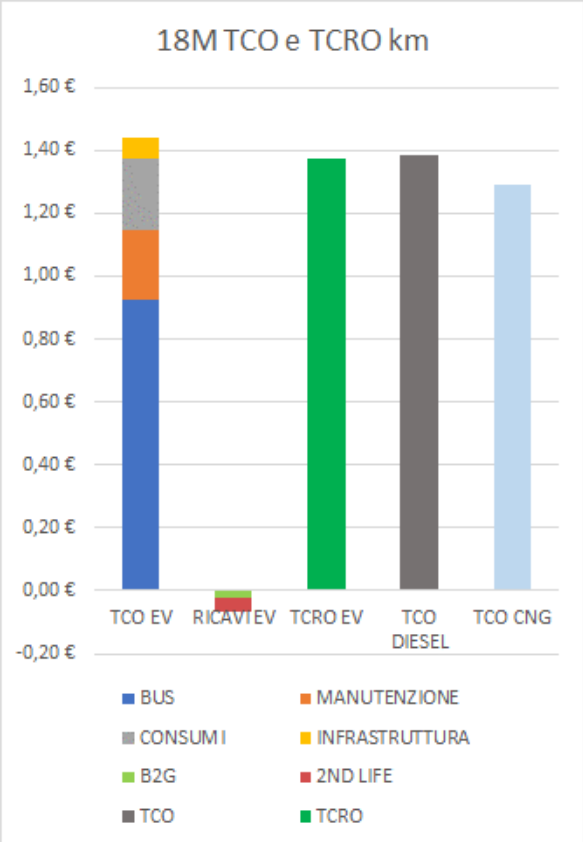
particolarmente importante in quanto consente al veicolo elettrico di attestare il TCRO al di sotto del TCO del diesel.

Figura 48: Costi e ricavi per tipologia 18M, anno 2021

	FULL ELECTRIC	DIESEL	CNG
Bus	0,923 €	0,462 €	0,514 €
Manutenzione	0,226 €	0,381 €	0,407 €
Consumi	0,224 €	0,538 €	0,355 €
Infrastruttura	0,067 €	0,003 €	0,013 €
B2G	- 0,022 €		
2nd life	- 0,047 €		
Totale TCO	1,440 €	1,383 €	1,289 €
Totale TCRO	1,371 €	1,383 €	1,289 €

Fonte: Elaborazione GREEN

Figura 49: TCO e TCRO per tipologia 18M, anno 2021



Fonte: Elaborazione GREEN

4.2.4 La composizione percentuale del TCO

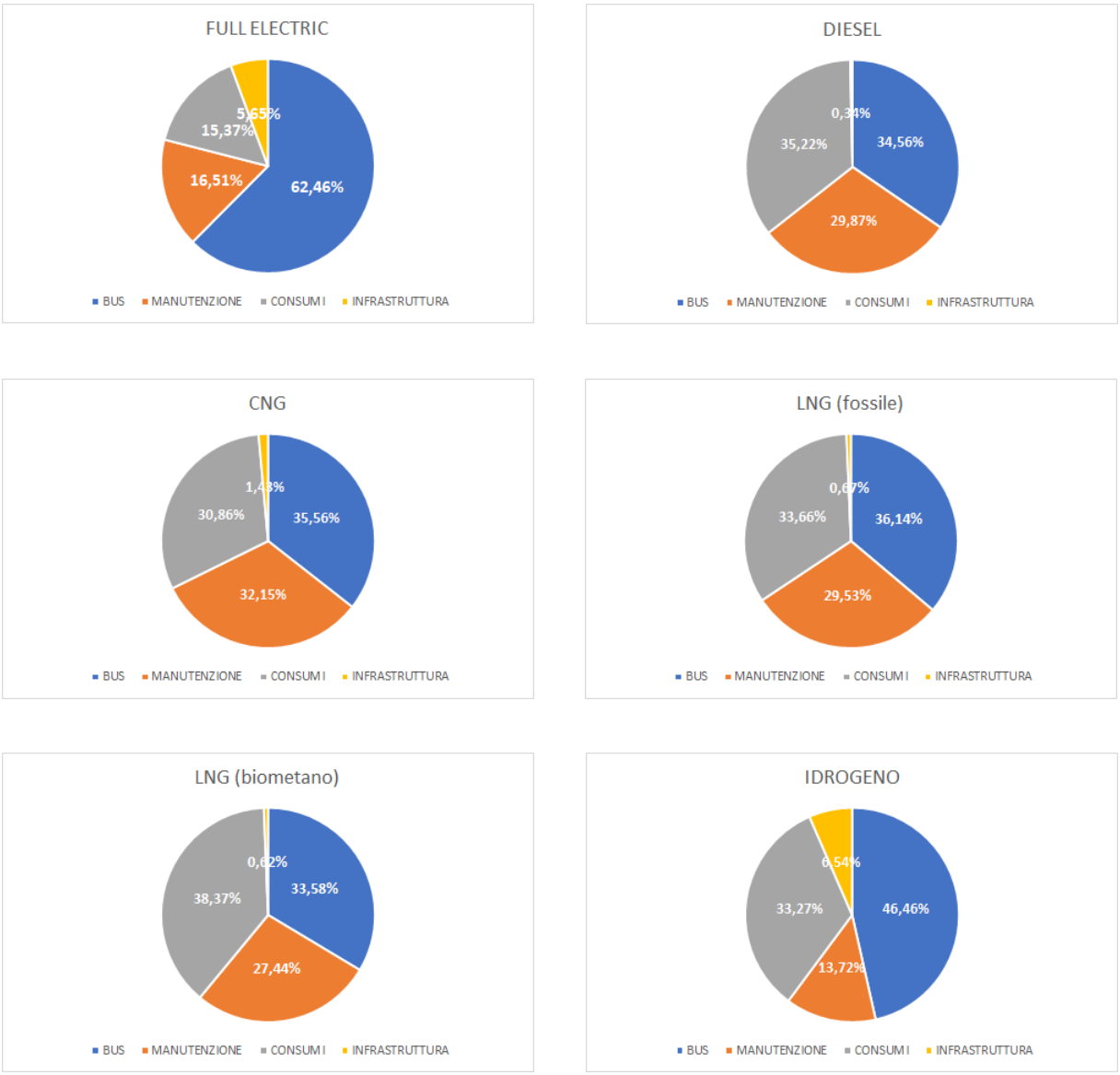
La composizione percentuale del *Total Cost of Ownership* merita un breve approfondimento. A questo scopo è stato preso in considerazione il confronto tra differenti alimentazioni nella versione autobus 12 metri in quanto maggiormente rappresentativa all'interno delle flotte esistenti.

Come evidenziano i grafici seguenti, il veicolo FULL ELECTRIC è quello per cui i costi di investimento risultano in percentuale maggiormente rilevanti, superando il 62%. Al contrario, per quanto riguarda le versioni endotermiche le componenti preponderanti sono rappresentate dai costi operativi

(manutenzione e consumi), la cui somma si attesta per il DIESEL sopra il 65% e per il CNG intorno al 63%.

Un discorso diverso riguarda i veicoli a Idrogeno per i quali, a fronte di valori assoluti più alti, oltre ai costi di investimento risultano particolarmente rilevanti quelli relativi ai consumi, legati ai costi di produzione del vettore energetico.

Figura 50: TCO per tipologia distribuzione percentuale - 12M, anno 2021, Italia



Fonte: Elaborazione GREEN

4.3 Una stima dei risultati al 2025 e al 2030

Di seguito si riportano i risultati del calcolo di TCO e TCRO relativi agli anni 2025 e 2030, per le differenti dimensioni di bus considerate (8, 12 e 18 metri) e per le tipologie di alimentazione rilevanti.

I risultati sono esposti in formato tabellare per l'anno 2030, mentre attraverso la comparazione dei grafici a istogrammi per gli scenari temporali 2021, 2025 e 2030 è possibile apprezzare le dinamiche

evolutive di TCO e TCRO nel tempo rispetto alle alimentazioni maggiormente competitive (diesel e CNG).

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).

Lo scenario prevede una ulteriore diminuzione del costo al km dell'energia elettrica del 10%, dovuto principalmente all'efficientamento dei mezzi. 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 (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).

4.3.1 Risultati 8M

Al 2030, nella versione 8 metri, si evidenziano differenze di TCO a favore dell'elettrico di 19 cent € rispetto al diesel, di 22 cent € rispetto a CNG.

La dinamica temporale mostra come la diminuzione del TCO stimata al 2025 renda competitiva l'alimentazione elettrica dapprima nei confronti del CNG, mentre un leggero gap rispetto al diesel rimane (2 cent al km) ma può essere ampiamente colmato dai 4 cent al km di ricavi generati da B2G e second life nel TCRO.

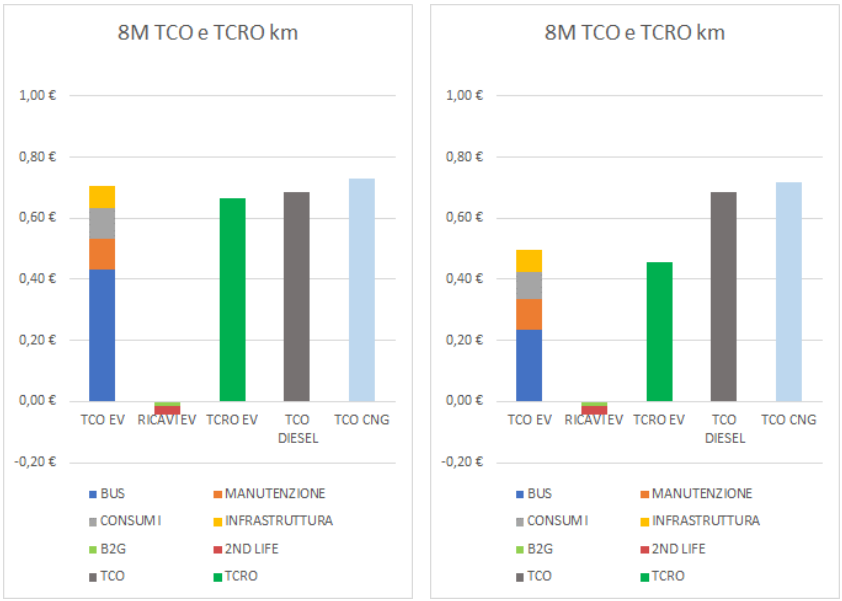
Guardando invece allo scenario finale al 2030 come detto, sia in termini di TCO che di TCRO l'alimentazione elettrica risulta nettamente più competitiva rispetto alle alternative.

Figura 51: Costi e ricavi per tipologia 8M, anno 2030

	FULL ELECTRIC	DIESEL	CNG
Bus	0,234 €	0,309 €	0,337 €
Manutenzione	0,102 €	0,186 €	0,197 €
Consumi	0,090 €	0,186 €	0,165 €
Infrastruttura	0,071 €	0,004 €	0,017 €
B2G	- 0,013 €		
2nd life	- 0,029 €		
Totale TCO	0,497 €	0,685 €	0,716 €
Totale TCRO	0,455 €	0,685 €	0,716 €

Fonte: Elaborazione GREEN

Figura 52: TCO e TCRO per tipologia 8M, anni 2025-2030



2025 2030

Fonte: Elaborazione GREEN

4.3.2 Risultati 12M

Con riferimento all'orizzonte temporale 2030, i risultati delle analisi 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 al km rispetto al diesel e 25 al CNG, 35 e 39 rispetto al LNG (fossile e biometano), e 66 cent 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.

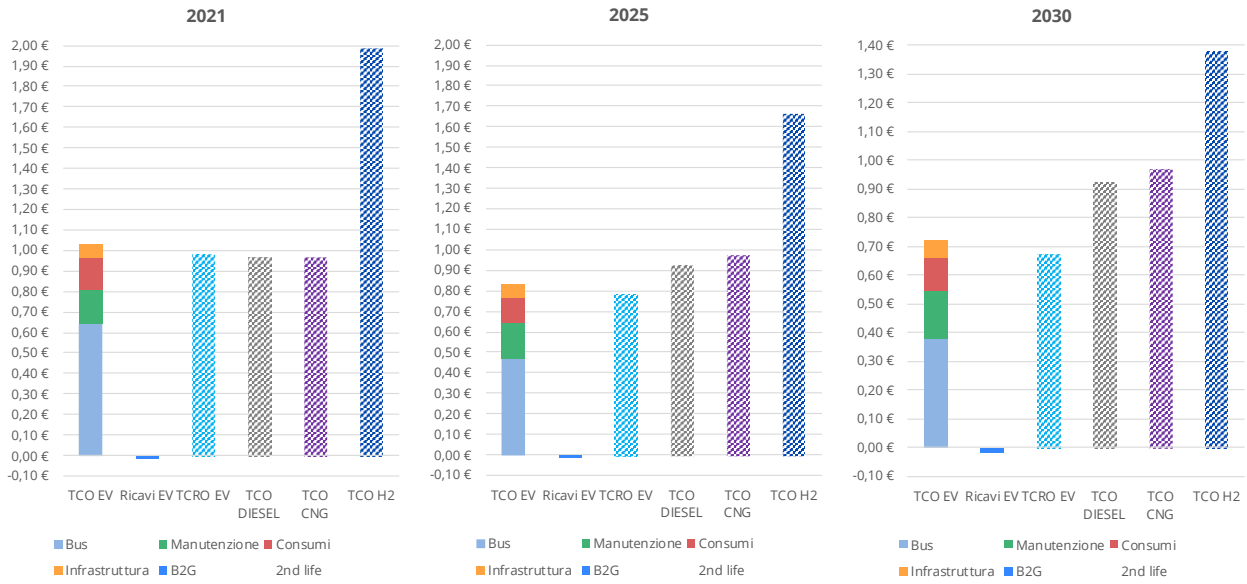
Guardando alle dinamiche intermedie, nel caso del 12 metri, a differenza di quello precedente, i vantaggi sostanziali del FULL ELECTRIC rispetto alle altre alimentazioni è già fortemente consolidato, con un risparmio che tocca i 10 cent al km rispetto al diesel e i 15 nei confronti del CNG.

Figura 53: Costi e ricavi per tipologia 12M, anno 2030

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

Fonte: Elaborazione GREEN

Figura 54: TCO e TCRO per tipologia 12M, anni 2021-2025-2030



Fonte: Elaborazione GREEN

4.3.3 Risultati 18M

Anche per quanto riguarda i 18 metri, l'orizzonte temporale 2030 conferma un vantaggio sostanziale rispetto alle alternative endotermiche. Infatti, il differenziale risulta positivo sia rispetto al diesel (20 cent al km), che al CNG (26 cent al km).

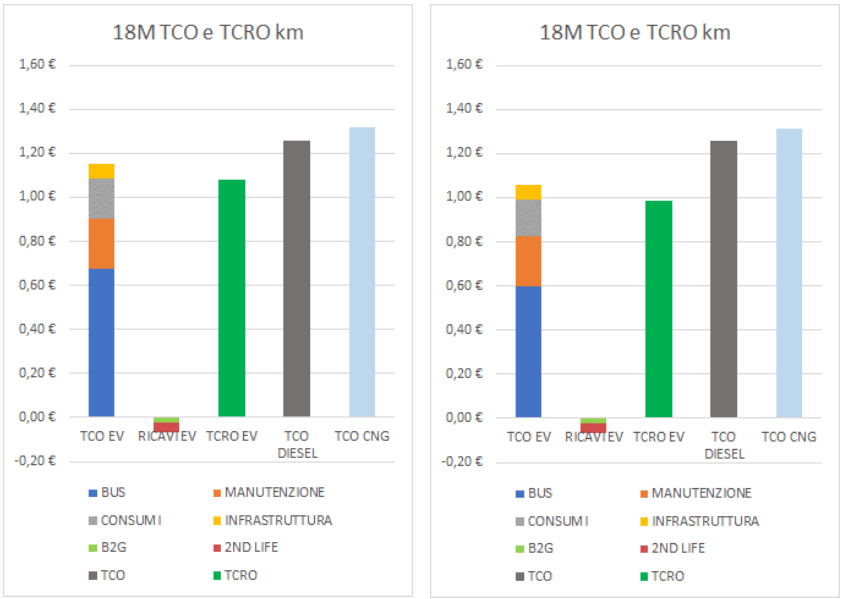
Come nel caso precedente, le dinamiche temporali mostrano come il risultato positivo del FULL ELECTRIC rispetto alle alternative considerate sia già consolidato al 2025, quando il vantaggio nei confronti di diesel e CNG è rispettivamente pari a 11 e 17 cent al km.

Figura 55: Costi e ricavi per tipologia 18M, anno 2030

	FULL ELECTRIC	DIESEL	CNG
Bus	0,600 €	0,469 €	0,522 €
Manutenzione	0,226 €	0,413 €	0,442 €
Consumi	0,163 €	0,371 €	0,339 €
Infrastruttura	0,067 €	0,003 €	0,013 €
B2G	- 0,022 €		
2nd life	- 0,047 €		
Totale TCO	1,057 €	1,255 €	1,315 €
Totale TCRO	0,988 €	1,255 €	1,315 €

Fonte: Elaborazione GREEN

Figura 56: TCO e TCRO per tipologia 18M, anni 2025-2030



2025 2030

Fonte: Elaborazione GREEN

4.3.4 Analisi di sensitività

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.

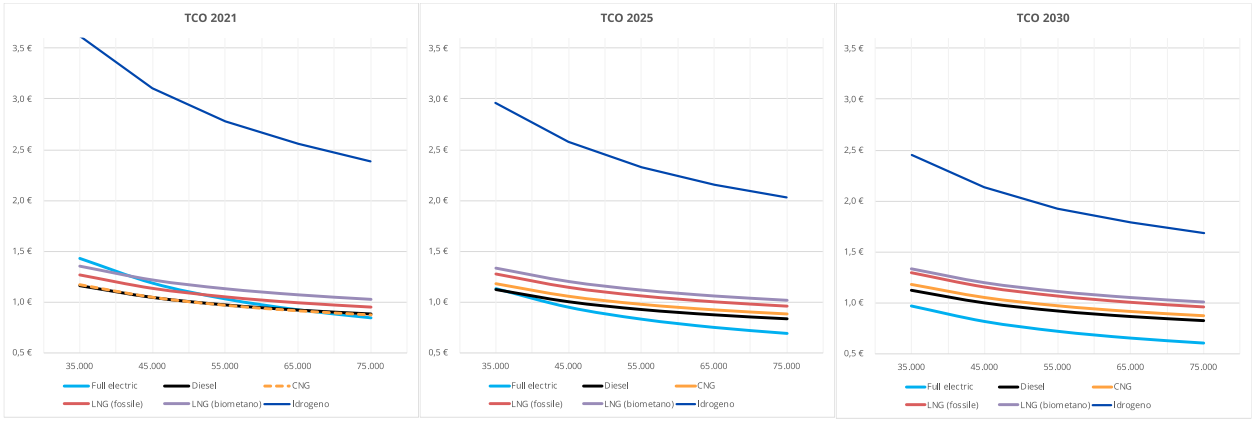
L'analisi di sensitività è stata condotta per la tipologia di bus più diffusa, ovvero il 12 metri.

Come si evince dal confronto tra i grafici di sensitività del TCO, 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.

Essendo da modello l'ipotesi di percorrenze medie annue per gli autobus di 12 metri pari a 55.000 km, si può inferire che il *break even* relativo della scelta elettrica si raggiunge ampiamente al secondo anno di utilizzo anche con ipotesi di chilometraggio inferiori.

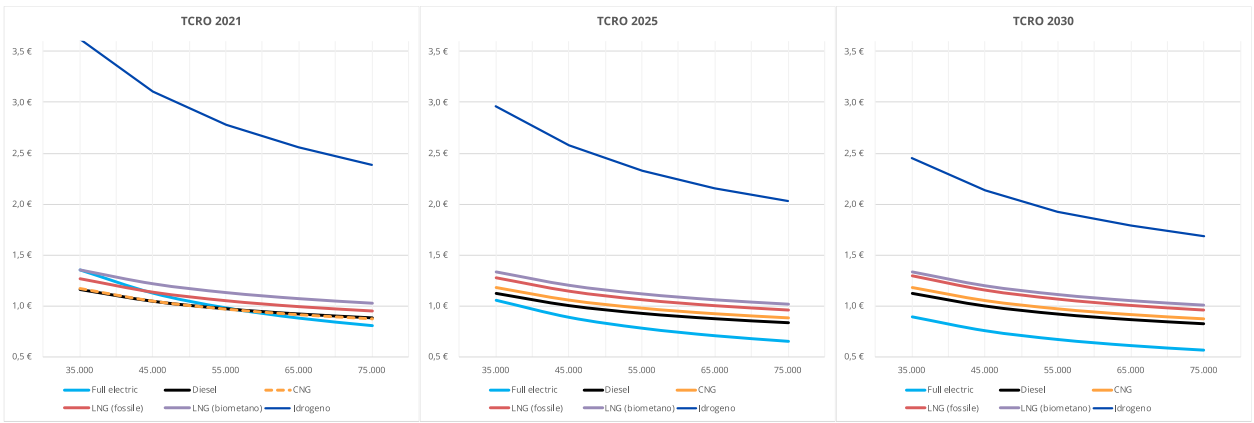
Ripetendo l'esercizio di sensitività per il TCRO, i risultati mostrano come il punto di convenienza rispetto a diesel e CNG si sposti ulteriormente verso sinistra, al di sotto dei 60.000 km annui di percorrenza, rendendo ancora più rapido il raggiungimento del *break even* relativo.

Figura 57: Le analisi di sensitività del modello (TCO 12M, km percorsi) anni 2021, 2025, 2030



Fonte: Elaborazione GREEN

Figura 58: Le analisi di sensitività del modello (TCRO 12M, km percorsi) anni 2021, 2025, 2030



Fonte: Elaborazione GREEN

Una ulteriore analisi di sensitività è stata condotta per identificare il prezzo di acquisto di un bus FULL ELECTRIC che consentirebbe di raggiungere la parità in termini rispettivamente di TCO e TCRO già nell'anno 2021.

Le tabelle seguenti mostrano i risultati di tale analisi condotta rispetto alle alternative DIESEL e CNG, evidenziando il prezzo di equilibrio nonché la differenza rispetto al prezzo attuale in termini assoluti e percentuali.

Figura 59: TCO e TCRO: prezzo di break-even di un bus elettrico 12M rispetto a Diesel e CNG, 2021

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

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

Fonte: Elaborazione GREEN

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 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.

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 *Second Life*.

5 Bibliografia

APTA – American Public Transport association, "Public Transit Leading in Transition to Clean Technology", 2019

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

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.

Carlstart "The advanced technology transit bus index: a North American ZEB inventory report" December 2020

Central d'Achat du Transport Public "Etude comporative sur le différéntes 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.eliptic.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

Hurtubia R., Leonhardt J. "The Experience of Reforming Bus Concessions in Santiago de Chile", ITF-OECD Discussion paper n°9, 2021

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.

I-Com, "Rapporto Osservatorio Innov-E 2019. Il rebus della transizione. L'innovazione energetica, chiave dello sviluppo" 2019.

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.pd

Kivekas, K.; Lajunen, A.; Vepsalainen, 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. Available online:https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/Electric%20buses%20arrive%20on%20time.pdf

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 2021. Guidebook for Deploying Zero-Emission Transit Buses. Washington, DC: 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.

Topal O., Nakir I, "Total Cost of Ownership Based Economic Analysis of Diesel, CNG and Electric Bus Concepts for the Public Transport in Istanbul City" Energies 11(9):2369, 2018.

Tong, F., Hendrickson, C., Biehler, A., Jaramillo, P. & Seki, S. Life cycle ownership cost and environmental externality of alternative fuel options for transit buses. Transportation Research Part D: Transport and Environment 57, 287 – 302 (2017). URL http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136192091630476X.

Transports Metropolitans de Barcelona, "Memòria de sostenibilitat 2020" Informe de Gestió 2020

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.

Vrije Universiteit Brussels and European Copper Institute "Analysis of the potential for electric buses", 2019.

World Bank "Green your buses ride. Clean Buses in Latin America" Summary report, January 2019.

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.

ZEBRA (Zero Emission Bus Rapid-deployment Accelerator) "From pilots to scale Lessons from electric bus deployments in Santiago de Chile", 2020

ZeEUS, 2018. www.zeeus.eu

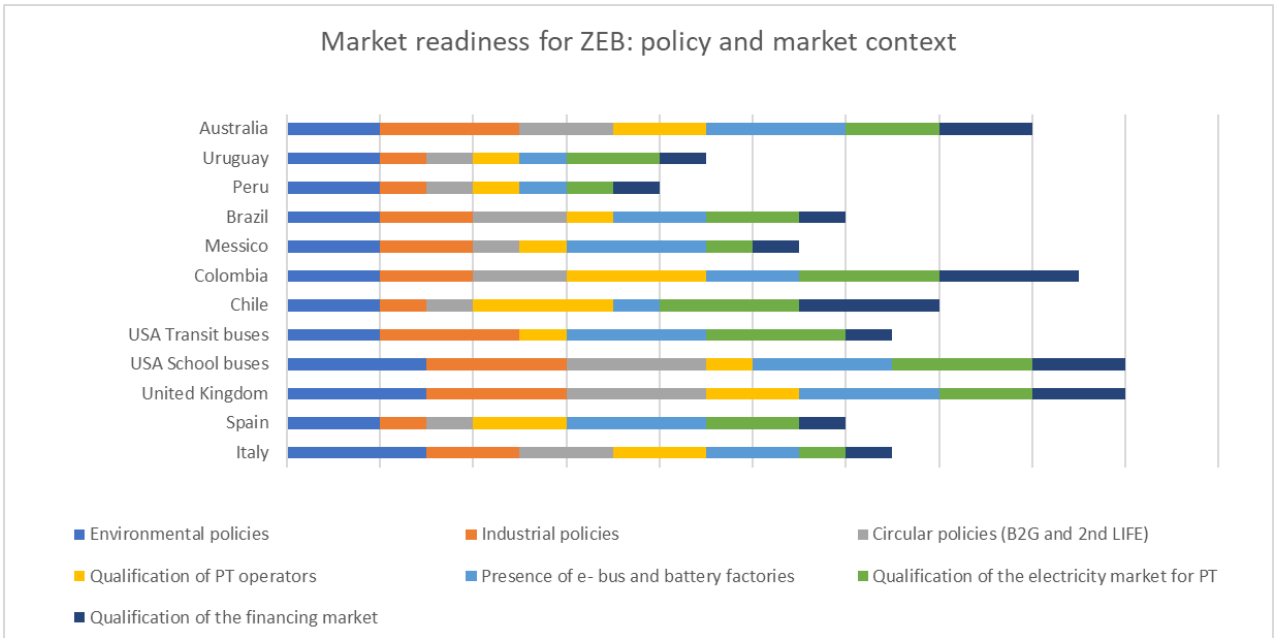
Zollino, G., "L'irresistibile leggerezza dell'idrogeno", Energia 2/2020.

Appendice 1 - L'approccio metodologico alla comprensione della market readiness nell'analisi di benchmark fra 11 Paesi

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).

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.

La tabella di seguito sintetizza i risultati dell'analisi di benchmark internazionale ed evidenzia la posizione intermedia del mercato italiano.



Fonte: Elaborazione GREEN

Appendice 2 - Dati input e fonti per il calcolo di TCO e TCRO

CATEGORIA	ASSUNZIONE/ PARAMETRO	VALORE 2021	VALORE 2025	VALORE 2030	UNITÀ	UTILIZZO	FONTE
Servizio	Percorrenza media annuale 8M	45.000	45.000	45.000	km	opex, capex	benchmark operatori e produttori
Servizio	Percorrenza media annuale 12M	55.000	55.000	55.000	km	opex, capex	benchmark operatori e produttori
Servizio	Percorrenza media annuale 18M	60.000	60.000	60.000	km	opex, capex	benchmark operatori e produttori
Bus	Vita utile bus EV	8	8	8	anni	opex, capex	benchmark operatori e produttori
Bus	Vita utile bus EV con overhaul	15	15	15	anni	opex, capex	benchmark operatori e produttori
Bus	Vita utile diesel	10	10	10	anni	opex, capex	benchmark operatori e produttori
Bus	Vita utile Diesel con revamping	14	14	14	anni	opex, capex	benchmark operatori e produttori
Bus	Vita utile CNG	10	10	10	anni	opex, capex	benchmark operatori e produttori
Bus	Vita utile CNG con revamping	14	14	14	anni	opex, capex	benchmark operatori e produttori
Bus	Vita utile LNG	10	10	10	anni	opex, capex	benchmark operatori e produttori
Bus	Vita utile LNG con revamping	14	14	14	anni	opex, capex	benchmark operatori e produttori
Bus	Vita utile Idrogeno	10	10	10	anni	opex, capex	benchmark operatori e produttori
Bus	Vita utile Idrogeno con revamping	14	14	14	anni	opex, capex	benchmark operatori e produttori
Bus	EV 8M costo	390.000,00 €	260.000,00 €	136.000,00 €	€	capex	Elaborazione GREEN su stime e dati di varie fonti (GTT,TPER,ATM,CONSIP, AMT, EC 2020, Rampini, Vreje Universiteit, BNEF 2020, Seri Industrial 2021)
Bus	EV 12M costo	440.000,00 €	332.000,00 €	273.000,00 €	€	capex	Elaborazione GREEN su stime e dati di varie fonti (GTT,TPER,ATM,CONSIP, AMT, EC 2020, Rampini, Vreje Universiteit, BNEF 2020, Seri Industrial 2021)
Bus	EV 18M costo	690.000,00 €	520.000,00 €	480.000,00 €	€	capex	Elaborazione GREEN su stime e dati di varie fonti (TMB Barcelona e KVB Colonia, EC 2020, Rampini, Vreje Universiteit, BNEF 2020, Seri Industrial 2021)
Bus	Diesel 8M costo	163.350,00 €	170.350,00 €	169.350,00 €	€	capex	Elaborazione GREEN su dati ATAC, CONSIP e stime su parametri ICCT
Bus	Diesel 12M costo	223.779,00 €	230.779,00 €	229.779,00 €	€	capex	Elaborazione GREEN su dati ATAC, CONSIP e stime su parametri ICCT

CATEGORIA	ASSUNZIONE/ PARAMETRO	VALORE 2021	VALORE 2025	VALORE 2030	UNITÀ	UTILIZZO	FONTE
Bus	Diesel 18M costo	335.564,00 €	342.564,00 €	341.564,00 €	€	capex	Elaborazione GREEN su dati ATAC, CONSIP e stime su parametri ICCT
Bus	CNG 8M costo	207.000,00 €	190.771,20 €	186.955,78 €	€	capex	Elaborazione GREEN su stime e dati di varie fonti (ANAV, GTT)
Bus	CNG 12M costo	230.000,00 €	232.000,00 €	240.000,00 €	€	capex	Elaborazione GREEN su dati ANAV - analisi di mercato
Bus	CNG 18M costo	380.000,00 €	382.000,00 €	386.000,00 €	€	capex	Elaborazione GREEN su gara GTT Torino 2021
Bus	LNG 12M costo	258.065,00 €	250.000,00 €	263.500,00 €	€	capex	Elaborazione GREEN su stime e dati operatori
Bus	Idrogeno 12M costo	670.000,00 €	480.000,00 €	380.000,00 €	€	capex	Elaborazione GREEN su stime e dati operatori
Bus	Overhaul batterie EV 8M costo	70.000,00 €	44.000,00 €	30.000,00 €	€	capex	Elaborazione GREEN su stime e dati di varie fonti (EC 2020, BNEF 2020, Seri Industrial 2021)
Bus	Overhaul batterie EV 12M costo	122.500,00 €	77.000,00 €	52.500,00 €	€	capex	Elaborazione GREEN su stime e dati di varie fonti (EC 2020, BNEF 2020, Seri Industrial 2021)
Bus	Overhaul batterie EV 18M costo	192.500,00 €	121.000,00 €	82.500,00 €	€	capex	Elaborazione GREEN su stime e dati di varie fonti (EC 2020, BNEF 2020, Seri Industrial 2021)
Bus	Revamping diesel 8M costo	37.548,59 €	37.548,59 €	37.548,59 €	€	capex	Elaborazione GREEN su benchmark operatori e produttori
Bus	Revamping diesel 12M costo	50.000,00 €	50.000,00 €	50.000,00 €	€	capex	Elaborazione GREEN su benchmark operatori e produttori
Bus	Revamping diesel 18M costo	77.181,96 €	77.181,96 €	77.181,96 €	€	capex	Elaborazione GREEN su benchmark operatori e produttori
Bus	Revamping CNG 8M costo	37.548,59 €	37.548,59 €	37.548,59 €	€	capex	Elaborazione GREEN su benchmark operatori e produttori
Bus	Revamping CNG 12M costo	50.000,00 €	50.000,00 €	50.000,00 €	€	capex	Elaborazione GREEN su benchmark operatori e produttori
Bus	Revamping CNG 18M costo	77.181,96 €	77.181,96 €	77.181,96 €	€	capex	Elaborazione GREEN su benchmark operatori e produttori
Bus	Revamping LNG 12M costo	50.000,00 €	50.000,00 €	50.000,00 €	€	capex	Elaborazione GREEN su benchmark operatori e produttori
Bus	Revamping Idrogeno 12M costo	60.000,00 €	47.000,00 €	40.000,00 €	€	capex	Elaborazione GREEN tenendo conto delle componenti elettriche, motoristiche e dei serbatoi
Manutenzione	EV 8M costo	0,126 €	0,126 €	0,126 €	€/km	opex	Elaborazione GREEN su stime e dati operatori
Manutenzione	EV 12M costo	0,210 €	0,210 €	0,210 €	€/km	opex	Elaborazione GREEN su stime e dati operatori
Manutenzione	EV 18M costo	0,280 €	0,280 €	0,280 €	€/km	opex	Elaborazione GREEN su stime e dati operatori
Manutenzione	Diesel 8M costo	0,207 €	0,225 €	0,225 €	€/km	opex	Elaborazione GREEN su stime e dati operatori
Manutenzione	Diesel 12M costo	0,350 €	0,380 €	0,380 €	€/km	opex	Elaborazione GREEN su stime e dati operatori
Manutenzione	Diesel 18M costo	0,461 €	0,500 €	0,500 €	€/km	opex	Elaborazione GREEN su stime e dati operatori
Manutenzione	CNG 8M costo	0,219 €	0,239 €	0,239 €	€/km	opex	Elaborazione GREEN su fonte RSE

CATEGORIA	ASSUNZIONE/ PARAMETRO	VALORE 2021	VALORE 2025	VALORE 2030	UNITÀ	UTILIZZO	FONTE
Manutenzione	CNG 12M costo	0,375 €	0,407 €	0,407 €	€/km	opex	Elaborazione GREEN su fonte RSE
Manutenzione	CNG 18M costo	0,493 €	0,535 €	0,535 €	€/km	opex	Elaborazione GREEN su fonte RSE
Manutenzione	LNG 12M costo	0,375 €	0,407 €	0,407 €	€/km	opex	Elaborazione GREEN su fonte RSE
Manutenzione	Idrogeno 12M costo	0,330 €	0,330 €	0,330 €	€/km	opex	Elaborazione GREEN su stime e dati Ballard, gennaio 2021
Consumi	EV 8M costo	0,153 €	0,124 €	0,112 €	€/km	opex	Dati RINA
Consumi	EV 12M costo	0,196 €	0,159 €	0,142 €	€/km	opex	Dati RINA
Consumi	EV 18M costo	0,277 €	0,225 €	0,202 €	€/km	opex	Dati RINA
Consumi	Diesel 8M costo	0,327 €	0,225 €	0,225 €	€/km	opex	Elaborazioni GREEN su dati GTT, TT, AMP, RSE, UITP, C40 e proiezioni Brent
Consumi	Diesel 12M costo	0,413 €	0,316 €	0,316 €	€/km	opex	Elaborazioni GREEN su dati GTT, TT, AMP, RSE, UITP, C40 e proiezioni Brent
Consumi	Diesel 18M costo	0,651 €	0,449 €	0,449 €	€/km	opex	Elaborazioni GREEN su dati GTT, TT, AMP, RSE, UITP, C40 e proiezioni Brent
Consumi	CNG 8M costo	0,220 €	0,210 €	0,200 €	€/km	opex	Elaborazione GREEN su dati RINA
Consumi	CNG 12M costo	0,360 €	0,340 €	0,320 €	€/km	opex	Elaborazione GREEN su dati RINA
Consumi	CNG 18M costo	0,430 €	0,420 €	0,410 €	€/km	opex	Elaborazione GREEN su dati RINA
Consumi	LNG 12M (fossile) costo	0,428 €	0,418 €	0,408 €	€/km	opex	Elaborazione GREEN su dati RINA
Consumi	LNG 12M (biometano) costo	0,524 €	0,494 €	0,464 €	€/km	opex	Elaborazione GREEN su dati RINA
Consumi	Idrogeno 12M costo	0,800 €	0,720 €	0,540 €	€/km	opex	Elaborazione GREEN su stime e dati Ballard, gennaio 2021
Infrastruttura	Proporzione infrastruttura/bus (overnight)	1	1	1	numero	capex	Copper Institute
Infrastruttura	Proporzione infrastruttura/bus (opportunity)	0,067	0,067	0,067	numero	capex	UN The eMob calculator 2018
Infrastruttura	Proporzione infrastruttura/bus (Diesel)	0,011	0,011	0,011	numero	capex	Copper Institute
Infrastruttura	Proporzione infrastruttura/bus (CNG)	0,016	0,016	0,016	numero	capex	Elaborazione GREEN su stime e dati operatori e costruttori
Infrastruttura	Proporzione infrastruttura/bus (LNG)	0,032	0,032	0,032	numero	capex	Elaborazione GREEN su stime e dati operatori e costruttori
Infrastruttura	Proporzione infrastruttura/bus (IDROGENO)	0,040	0,040	0,040	numero	capex	Elaborazione GREEN su Ballard e H2IT
Infrastruttura	Overnight Charger costo	28.000 €	28.000 €	28.000 €	€	capex	Elaborazione GREEN su stime e dati operatori e costruttori
Infrastruttura	Opportunity charger costo	110.000 €	110.000 €	110.000 €	€	capex	Stime su dati ATM
Infrastruttura	Impianto diesel costo	420.000 €	420.000 €	420.000 €	€	capex	Copper Institute

CATEGORIA	ASSUNZIONE/ PARAMETRO	VALORE 2021	VALORE 2025	VALORE 2030	UNITÀ	UTILIZZO	FONTE
Infrastruttura	Impianto CNG costo	1.300.000 €	1.300.000 €	1.300.000 €	€	capex	Elaborazione GREEN su stime e dati di varie fonti: in particolare impianto Modena per 63 autobus
Infrastruttura	Impianto LNG costo	335.000 €	335.000 €	335.000 €	€	capex	Gara porto di Genova stazione di rifornimento mobile analoga a quella operante a Bologna per TPER
Infrastruttura	Impianto idrogeno costo	5.000.000 €	5.000.000 €	5.000.000 €	€	capex	Elaborazione GREEN su California Fuel Cell Partnership e PNRR
Infrastruttura	Manutenzione overnight Charger costo	2.800,00 €	2.800,00 €	2.800,00 €	€	capex	Elaborazione GREEN su stime e dati operatori e costruttori
Infrastruttura	Manutenzione opportunity charger costo	11.000,00 €	11.000,00 €	11.000,00 €	€	capex	Stime su dati ATM
Infrastruttura	Manutenzione impianto diesel costo	1.500,00 €	1.500,00 €	1.500,00 €	€	capex	Copper Institute
Ricavi	Bus to Grid (8 metri) per anno	714,29 €	714,29 €	714,29 €	€	ricavi	Elaborazione GREEN su stime e dati RSE e CESI
Ricavi	Bus to Grid (12 metri) per anno	1.000,00 €	1.000,00 €	1.000,00 €	€	ricavi	Stime e dati RSE e CESI
Ricavi	Bus to Grid (18 metri) per anno	1.571,43 €	1.571,43 €	1.571,43 €	€	ricavi	Elaborazione GREEN su stime e dati RSE e CESI
Ricavi	Second life batterie	60,00 €	60,00 €	60,00 €	€/kWh	ricavi	Valore pari al 50% della stima del prezzo delle batterie stazionarie al 2030 sulla base delle indicazioni di European Copper Institute (2019) e Tsiroupoulus 2018

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 - Ottobre 2021