

# eurac research

Panoramica-bus a zero emissioni

15.03.2021

A. Grotto, R. Vaccaro, P. Zambelli, W. Sparber



# Indice

- 1) Definizioni e scopo della presentazione
- 2) Numeri e trend globali
- 3) Principali caratteristiche
- 4) Analisi di alcuni bus

# Definizioni e scopo della presentazione

## Autobus elettrici

Autobus dotati di motore elettrico. Possono essere ibridi (ibridi o ibridi plug-in), oppure solo elettrici BEV (*Battery Electric Vehicles*).

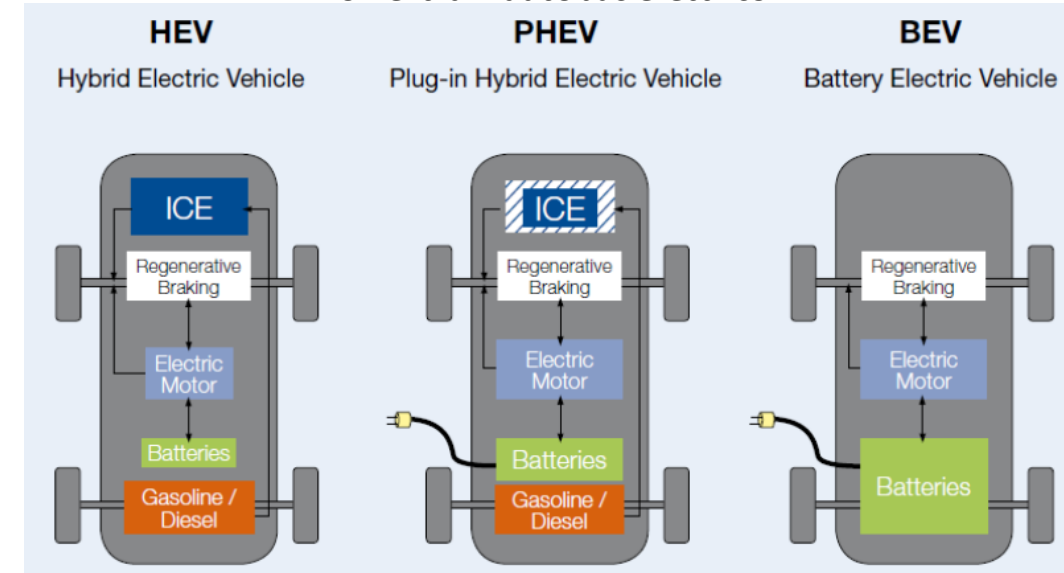
## Autobus ad idrogeno

Autobus dotati di serbatoio dell'idrogeno, di celle a combustibile e di motore elettrico.

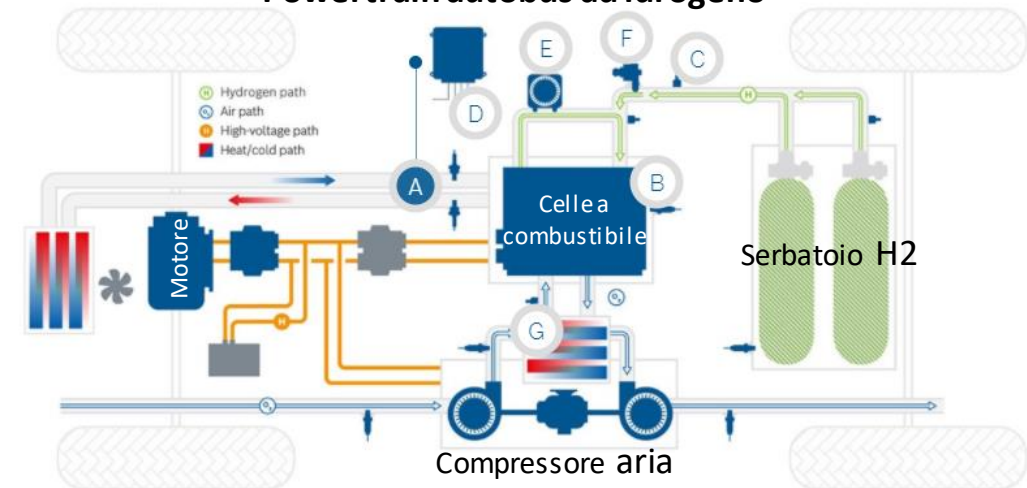
## Autobus ad emissioni zero

Autobus senza motore termico: BEV o autobus ad idrogeno.

### Powertrain autobus elettrico



### Powertrain autobus ad idrogeno



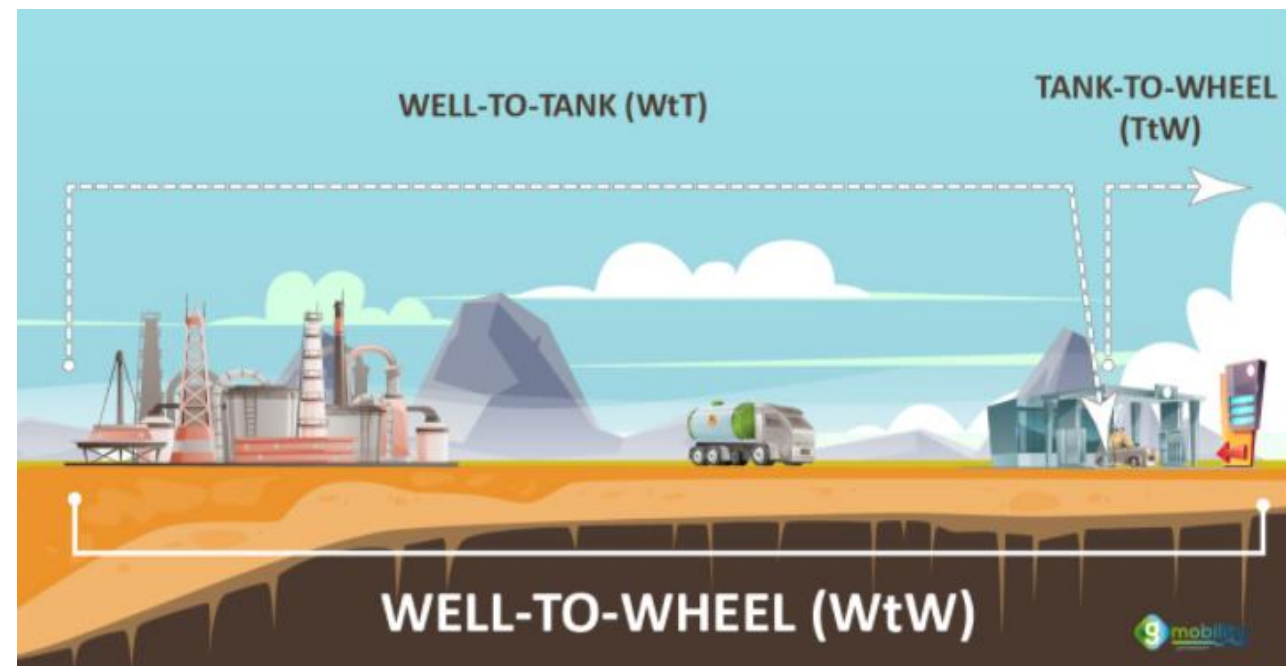
# Scopo della presentazione

## Analisi Tank to Whell

Non vengono considerate le emissioni dovute alla produzione e alla distribuzione del vettore energetico e dei veicoli. Per questo motivo l'analisi sarà solo di tipo Tank to Whell e gli autobus si potranno dire ad "emissione zero", in quanto sia l'energia elettrica e sia l'idrogeno non producono emissioni durante l'esercizio del mezzo.

## Scopo del presente documento

Analisi dello stato dell'arte, delle caratteristiche tecniche e la comparazione fra modelli di bus a zero emissioni già presenti nel mercato internazionale.



# Numeri e trend globali



Fonte: [twitter.com/euzebconference](https://twitter.com/euzebconference)

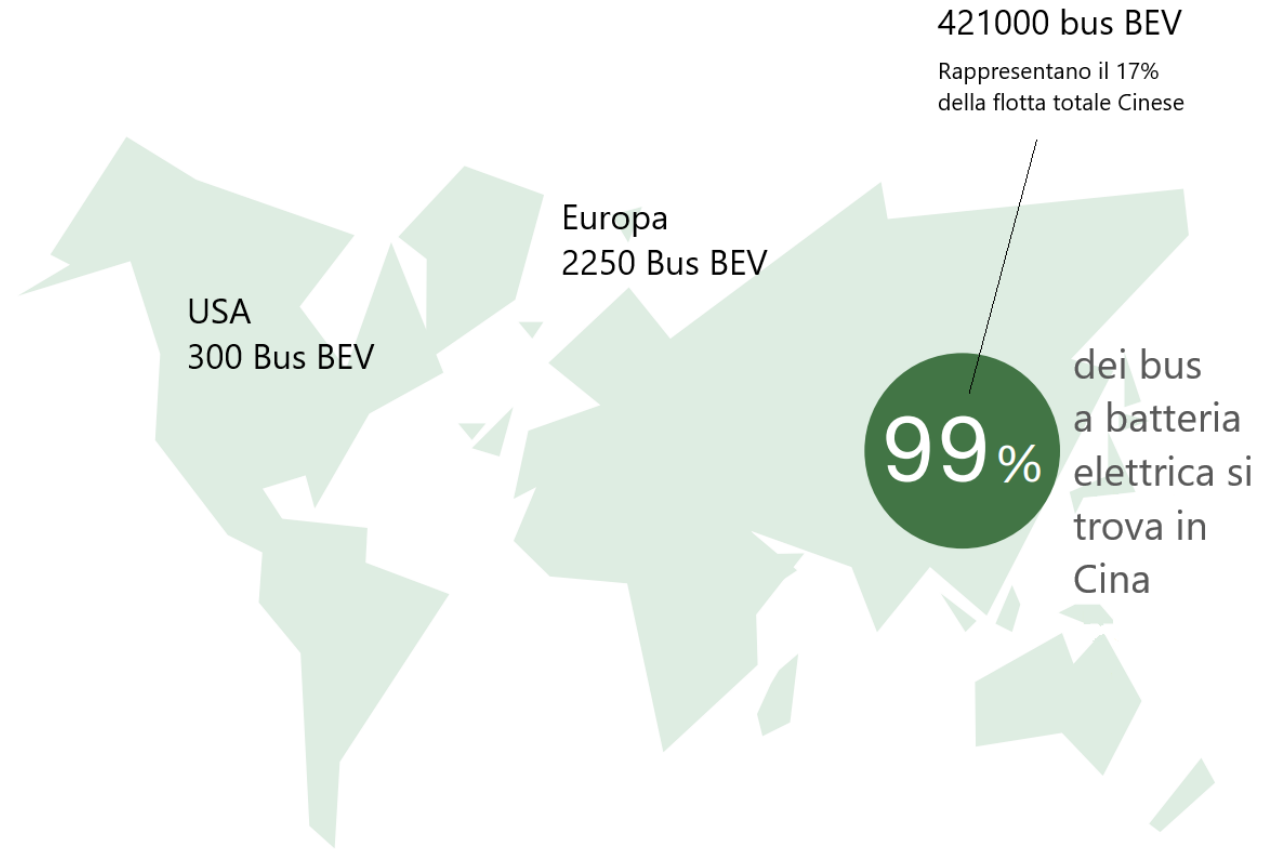
# Bus a batteria operativi nel mondo (2019)

Nel 2019, in Cina vengono impiegati sulla strada

**421.000** bus elettrici a batteria (BEV).

Essi rappresentano il 17% della flotta totale degli autobus nella stessa nazione.

Facendo un paragone, negli Stati Uniti ce ne sono 300 di operativi mentre in Europa 2250.



Fonte: Zero Emissions Bus Forum, Arup, Discussion Paper, 1 ottobre 2020;

Bloomberg 23 Aprile 2018. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-04-23/electric-buses-are-hurting-the-oil-industry>;

Bloomberg 15 Maggio 2019. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-05-15/in-shift-to-electric-bus-it-s-china-ahead-of-u-s-421-000-to-300>

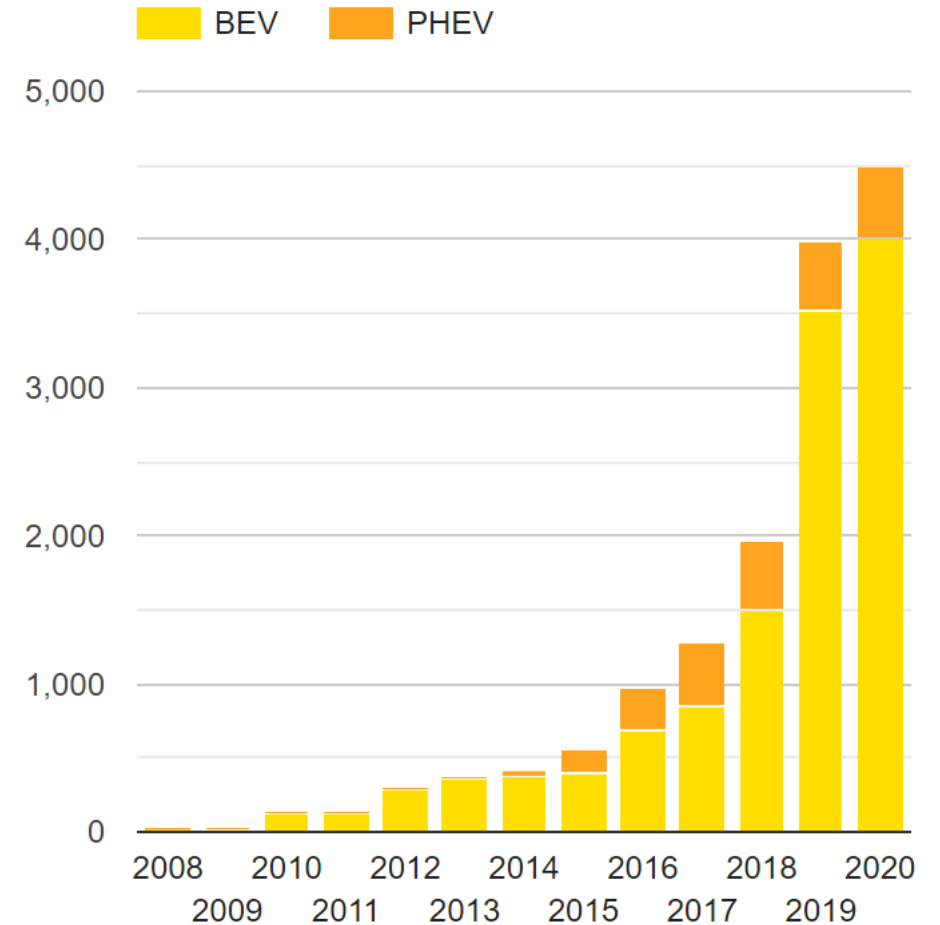
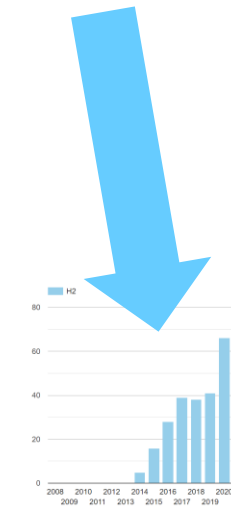
# Bus a zero emissioni in Europa

Il trend in Europa negli ultimi anni di bus a zero emissioni in Europa è molto chiaro:

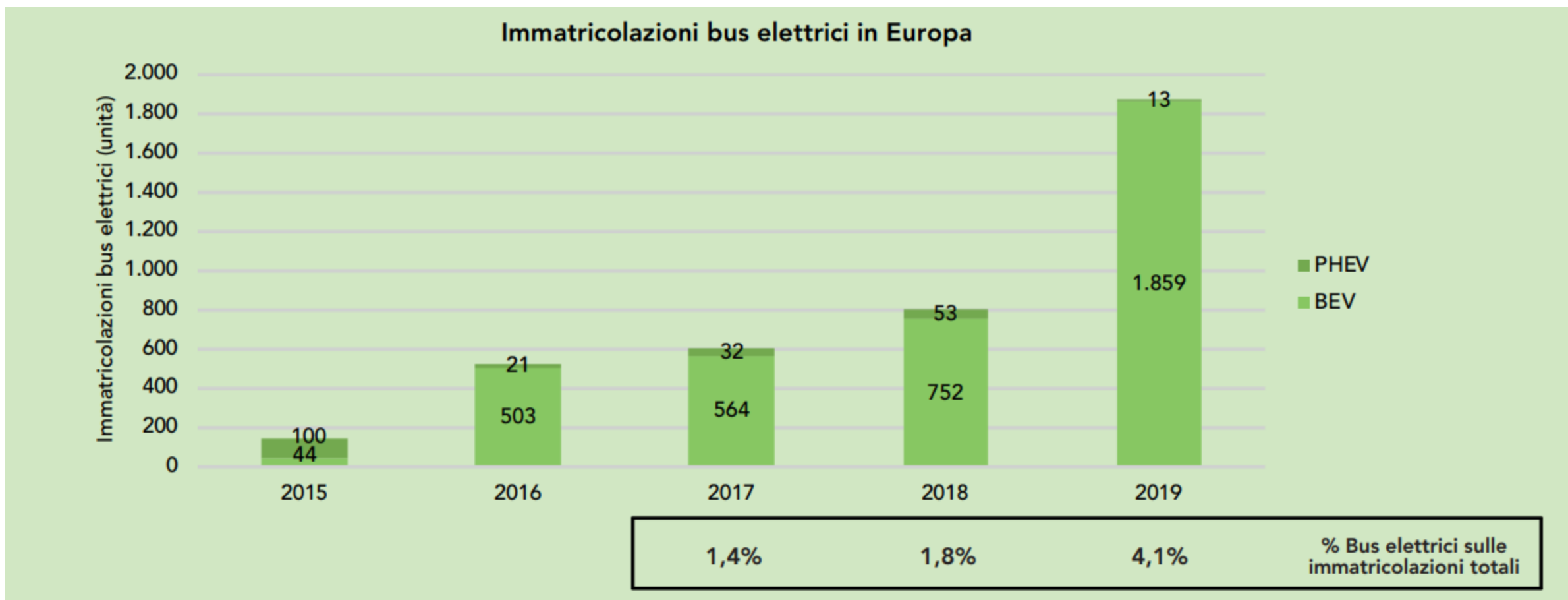
**Dominante sono da anni i bus a batteria (BEV - ca. 4000 nel 2020),** seguiti dai bus ibridi plug in (PHEV – ca. 500).

**Bus a idrogeno** ad oggi si trovano ancora in una fase **pre-commerciale con solo 70 unità circolanti**

**H2 Busses  
~ 70 in 2020**



# Immatricolazioni in Europa 2015-2019



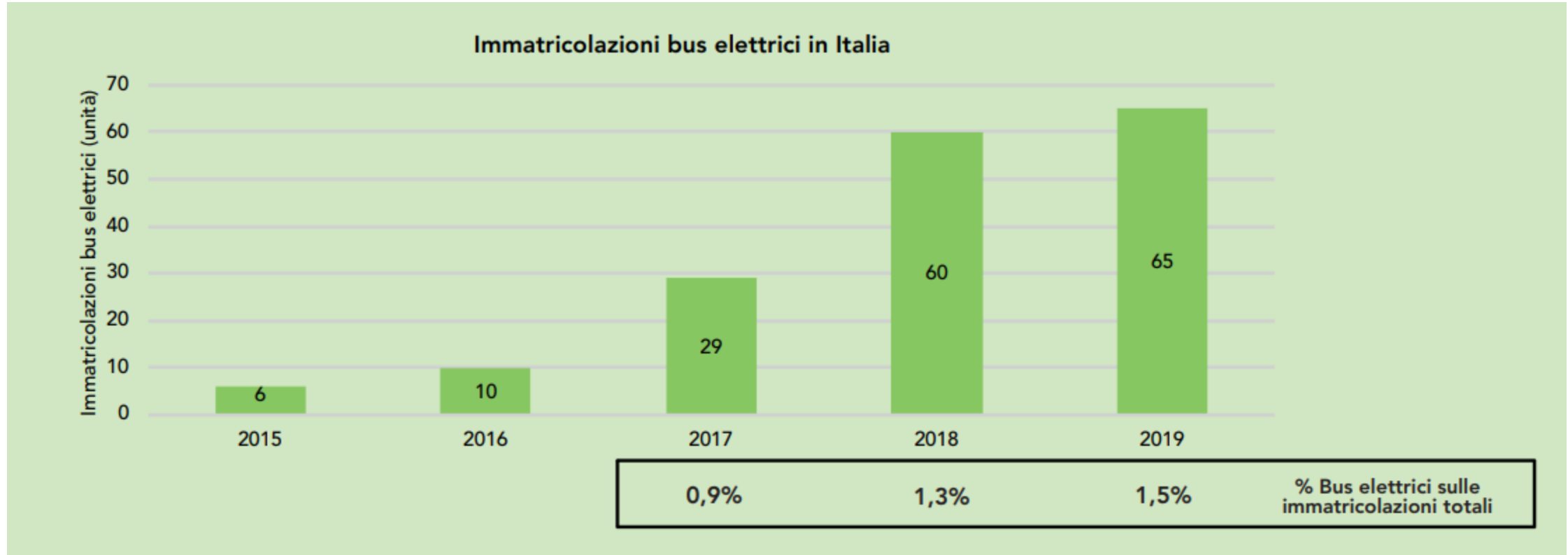
## In Europa

Nel 2019 sono stati immatricolati 1859 bus elettrici, tutti BEV. Essi rappresentano il 4% del totale delle immatricolazioni degli autobus.

Fonte: SMART MOBILITY REPORT, La sostenibilità nei trasporti: opportunità e sfide per la filiera e gli end user, Ottobre 2020, Politecnico di Milano



# Immatricolazioni in Italia 2015-2019



## In Italia

Nel 2019 sono stati immatricolati 65 bus elettrici, tutti BEV. Essi rappresentano l'1,5% del totale delle immatricolazioni degli autobus.

Fonte: SMART MOBILITY REPORT, La sostenibilità nei trasporti: opportunità e sfide per la filiera e gli end user, Ottobre 2020, Politecnico di Milano

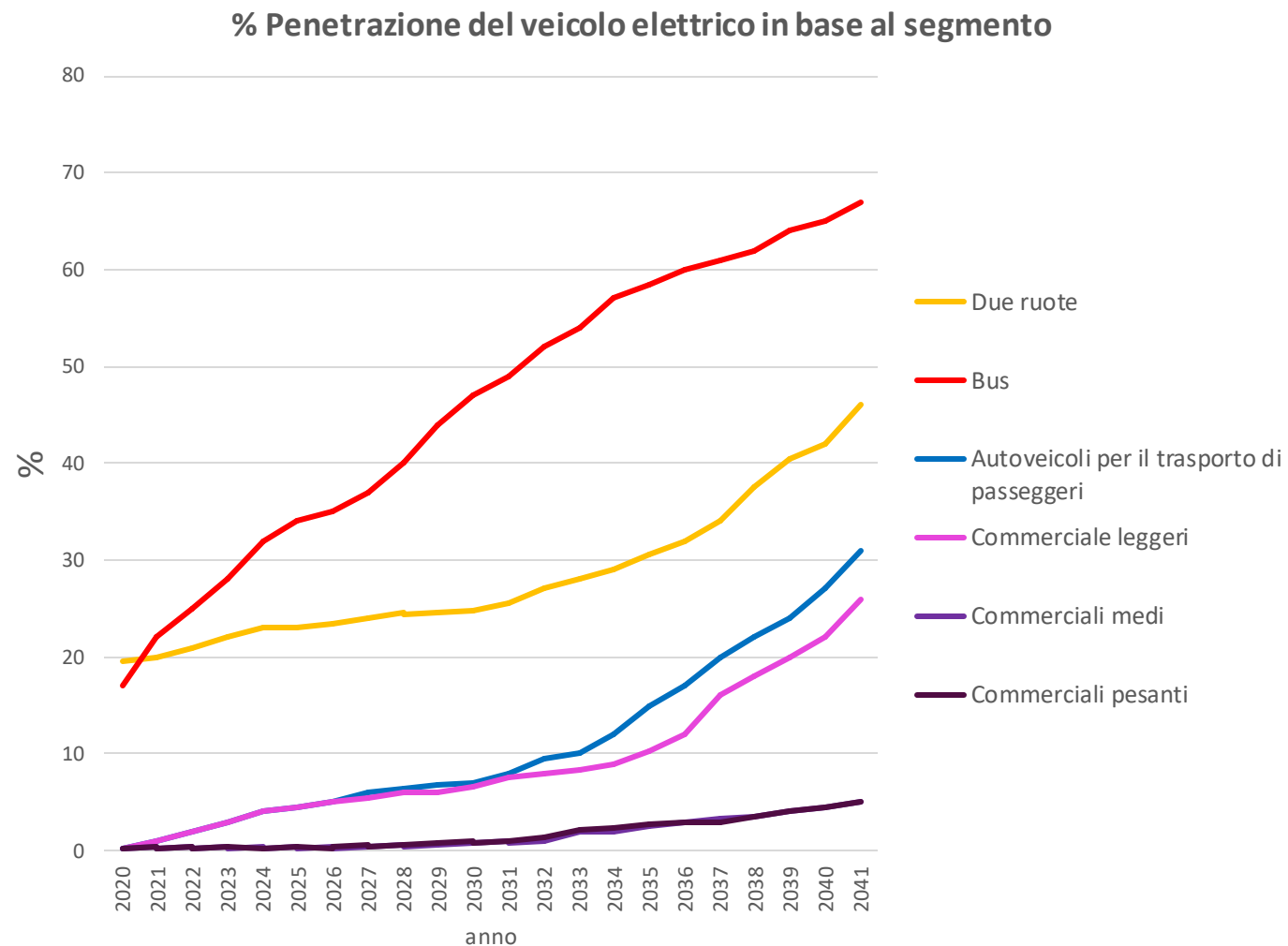
# Predizioni sulla diffusione 2019-2040

## A livello globale

Secondo Bloomberg New Energy Finance (BNEF) la quota di bus elettrici a batteria (BEV) è destinata a coprire oltre il 67% della flotta globale di autobus nel 2040.

Gli autobus a diesel e ad idrogeno, completeranno il resto della flotta dei bus entro lo stesso anno.

Bloomberg si aspetta che la velocità di diffusione degli autobus elettrici sia più elevata rispetto agli altri segmenti dei trasporti.



Fonte: Electric Vehicle Outlook 2020, Bloomberg New Energy Finance, <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/?sf122680186=1>,  
(Rielaborazione del grafico a cura di Eurac)

# Principali caratteristiche



Fonte: [www.electricmotornews.com/](http://www.electricmotornews.com/)

# Caratteristiche comuni

## Frenata Rigenerativa

Consente di recuperare l'energia cinetica in fase di frenata e di accumularla nella batteria

## Servo sterzo elettrico

Sistema idraulico-elettrico che consente di facilitare la sterzata e, contestualmente, di ridurre il consumo di energia dell'autobus.

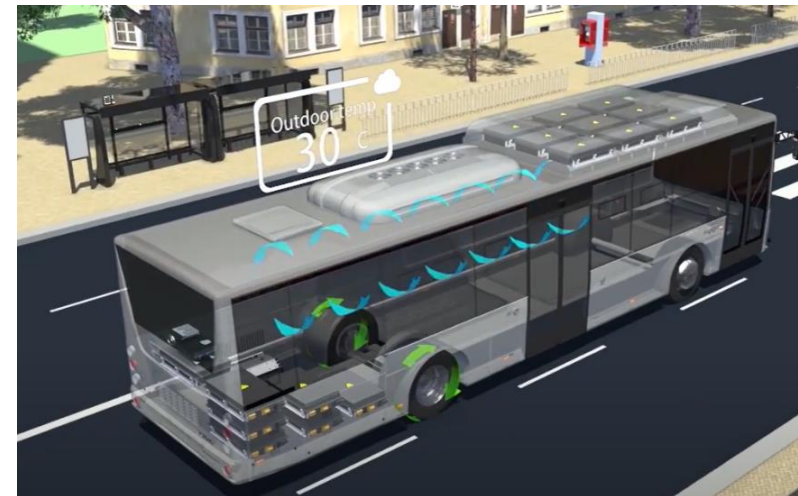
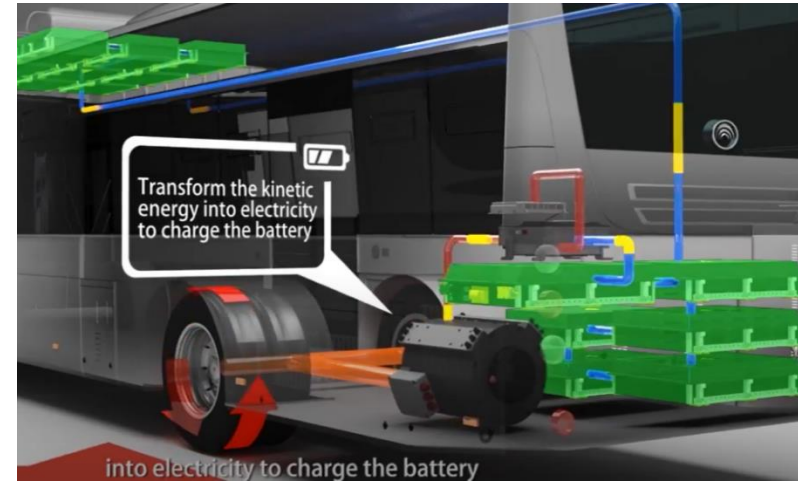
## Condizionamento dell'aria

Può avvenire mediante pompa di calore o tramite un compressore azionato da un motore elettrico.

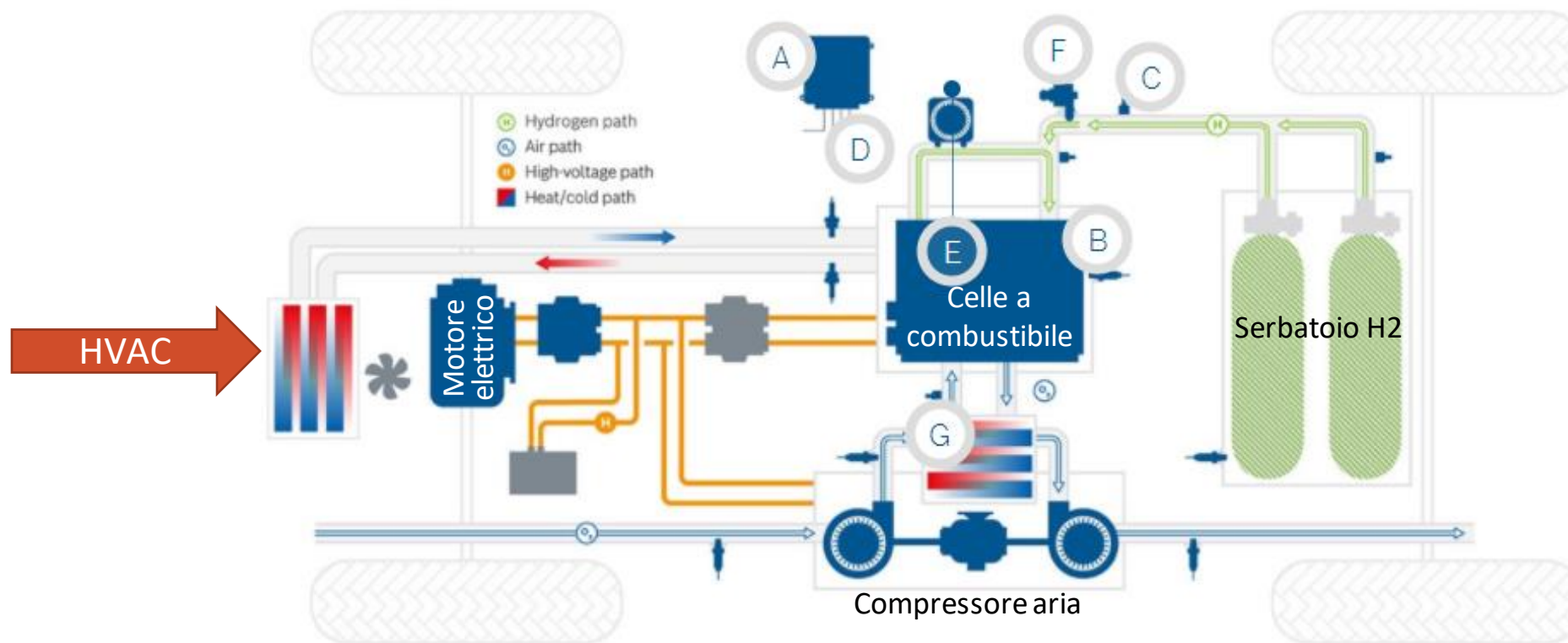
La regolazione può avvenire per zone (frontale, centrale, posteriore).

## Cambio di velocità continuo

I bus elettrici vengono movimentati da un motore elettrico efficiente in modo da ridurre i consumi energetici e aumentare il comfort dei passeggeri.



# Riscaldamento negli autobus ad idrogeno



## Recupero del calore

Oltre ad avere le stesse caratteristiche dei bus elettrici, i bus ad idrogeno riescono a recuperare il calore dovuto alla reazione presente nelle celle a combustibile e a fornirlo al sistema di riscaldamento.

# Rendimento motore elettrico-ruota

Table 1. The laboratory data and experimental results.

Step	Volt. V	Cur. A	Input Power W	Tor. N-m	Rev. rpm	Output Power W	Eff. %
1	25.41	0.68	17.28	0.11	533	6.11	35.36
2	25.41	1.36	34.56	0.33	522	17.94	51.91
3	25.42	1.83	46.52	0.55	517	29.62	63.67
4	25.42	2.47	62.79	0.85	509	45.07	71.78
5	25.42	3.23	82.11	1.21	500	63.02	76.75
6	25.41	4.03	102.4	1.61	489	82.01	80.09
7	25.41	4.86	123.4	2.03	479	101.29	82.02
8	25.41	5.81	147.6	2.5	468	121.88	82.56
9	25.41	6.88	174.8	3.02	455	143.14	81.88
10	25.41	7.91	200.9	3.53	443	162.89	81.04
11	25.41	9.01	228.9	4.06	433	183.12	79.99
12	25.41	10.2	259.9	4.84	402	202.68	77.97
13	25.41	11.3	287.9	5.2	409	221.54	76.95
14	25.41	12.1	309.7	5.68	398	235.48	76.02
15	25.42	13.7	348.7	6.25	395	257.16	73.74

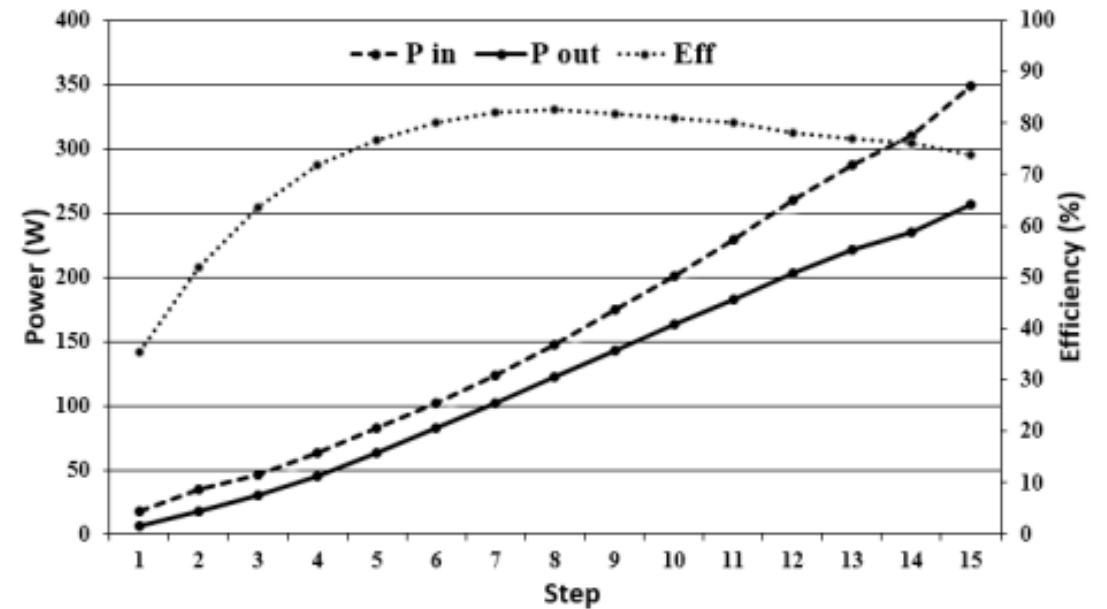
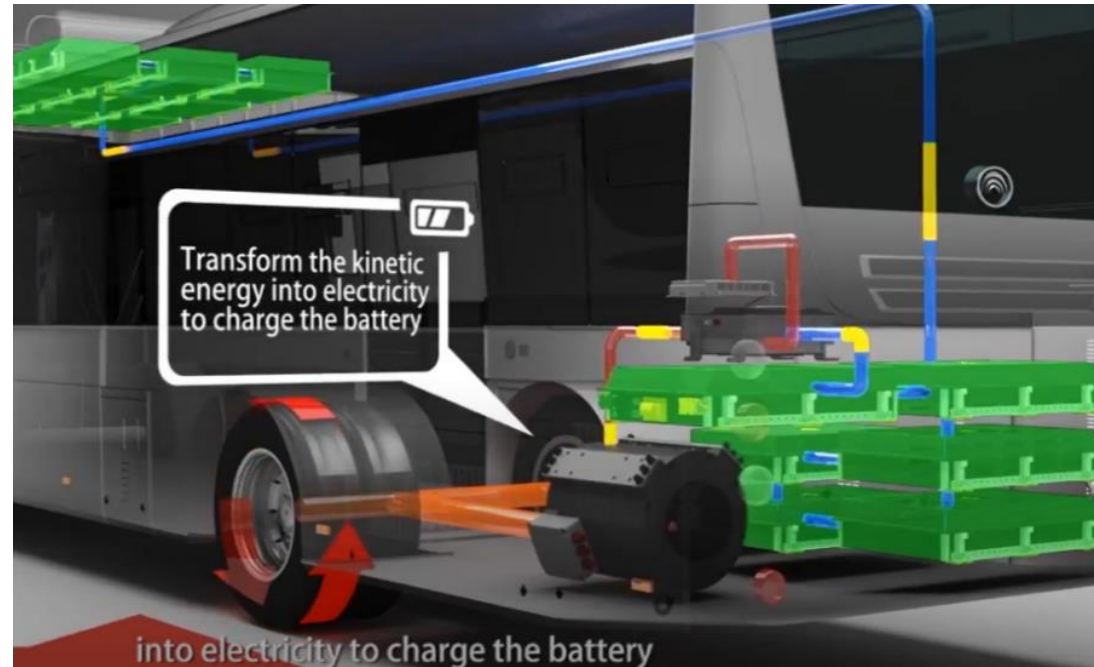


Fig. 6. The experimental results of the in-wheel motor under various load conditions.

**Secondo lo studio "Design of Efficient In-Wheel Motor for Electric Vehicles",**

Per un accoppiamento ruota-motore elettrico in-wheel (integrato alla ruota) è possibile raggiungere un rendimento massimo di trasmissione pari all'82%. Con un sistema di trasmissione tradizionale (un unico motore), tale rendimento sarà inferiore a tale soglia.

# Rendimento durante la frenata rigenerativa



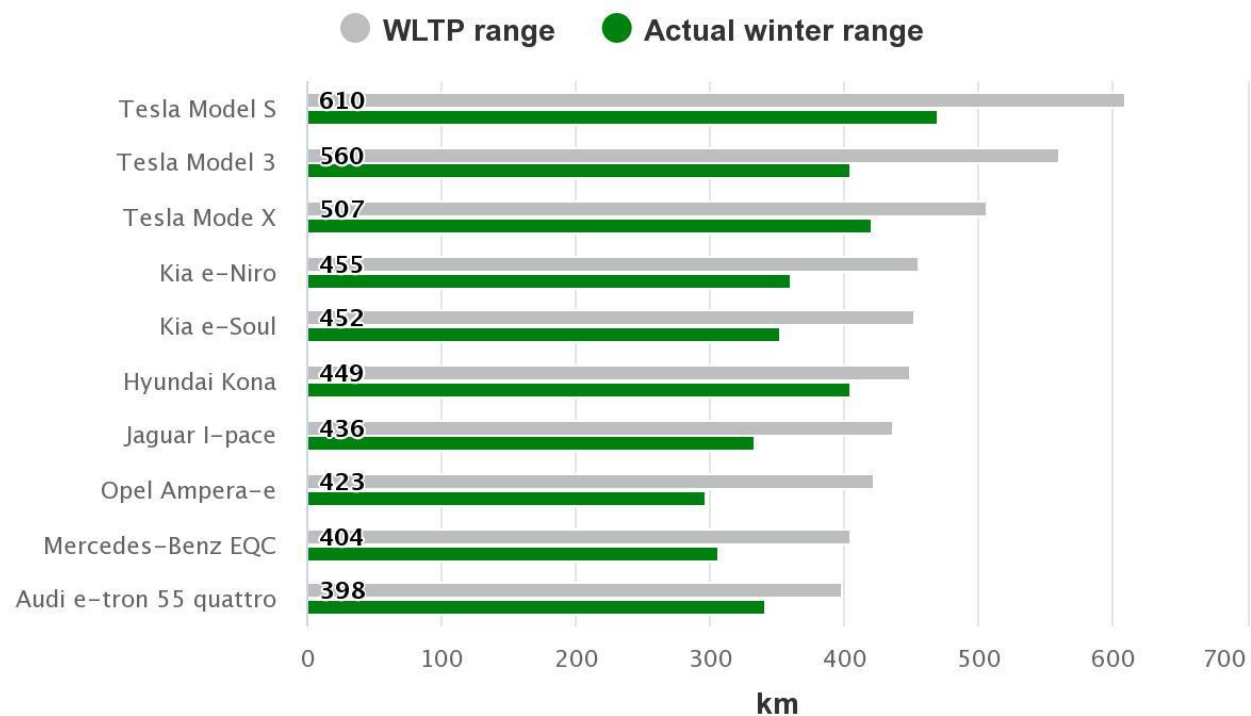
Secondo Boretti A., " nello studio Analysis of the Regenerative Braking Efficiency of a Latest Electric Vehicle"

L'efficienza della **frenata rigenerativa** (flusso di energia dalle ruote alla batteria elettrica) **varia fra il 16 e il 70%**, a seconda delle condizioni di guida del guidatore.

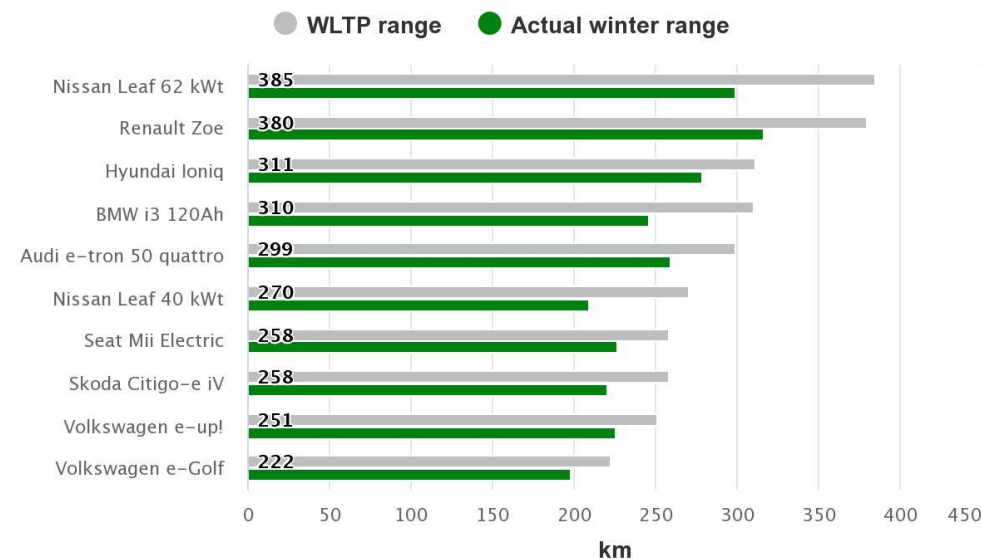
Boretti, A., "Analysis of the Regenerative Braking Efficiency of a Latest Electric Vehicle," SAE Technical Paper 2013-01-2872, 2013, <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2013-01-2872/?PC=DL2BUY>

# Consumi dovuti alla climatizzazione

## Winter range test



## Winter range test

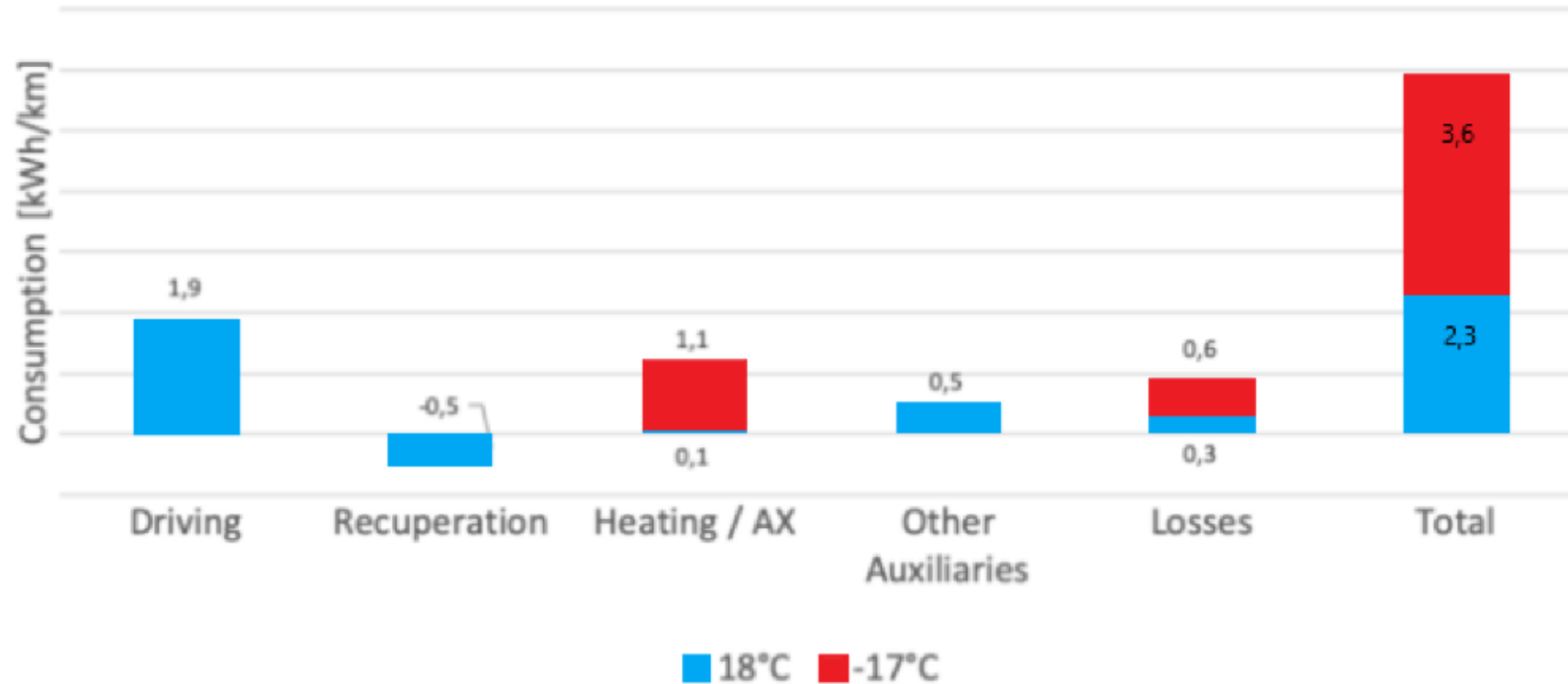


## Secondo lo studio norvegese "20 popular EVs tested in Norwegian winter conditions"

Nel gennaio 2020, sono stati testati **20 modelli di auto elettriche**. Il test è stato eseguito in modo da comparare due condizioni di guida: una senza riscaldamento (WLTP range) e una con riscaldamento (Actual winter range). Si è registrato una **diminuzione dell'autonomia (in termine di km) pari al 18,5%**.



# Consumi dovuti alla climatizzazione



**Nello studio "Technology assessment of an electric urban bus system for Berlin"**

Il consumo di energia per chilometro **può crescere fino al 56% negli autobus elettrici a causa del sistema HVAC** (ad esempio da 2,3 kWh / km a 3 , 6 kWh / km). Tale valore è stato valutato ad una temperatura esterna pari a **-17°C (condizione invernale) e 18°C (condizione estiva)**.

Fonte: <https://medium.com/@francesco.impari/challenges-for-air-conditioning-and-heating-hvac-solutions-in-electric-buses-d18fc33a0433>;

D. Göhlich, A. Kunith, T. Ly, "Technology assessment of an electric urban bus system for Berlin", Technische Universität Berlin, Germany, May 2014

# Comparazione fra modelli

## Ipotesi considerate al fine della comparazione

Vengono presentati di seguito dei diagrammi a barre per la comparazione dei modelli presi in esame. Valgono le seguenti ipotesi:

1. La capacità della batteria del veicolo BEV è quella che si presenta in condizioni di ricarica lenta
2. La potenza del motore è quella totale e massima (alcuni autobus elettrici possono presentare due motori)
3. La massima distanza percorribile espressa in km è quella fornita dal produttore
4. Il consumo specifico viene fornito dal costruttore o nel caso si conosca la capacità e la massima distanza percorribile viene ricavato a partire da Bus testati con cicli SORT.

Si tratta in tutti i casi di dati forniti dai produttori.

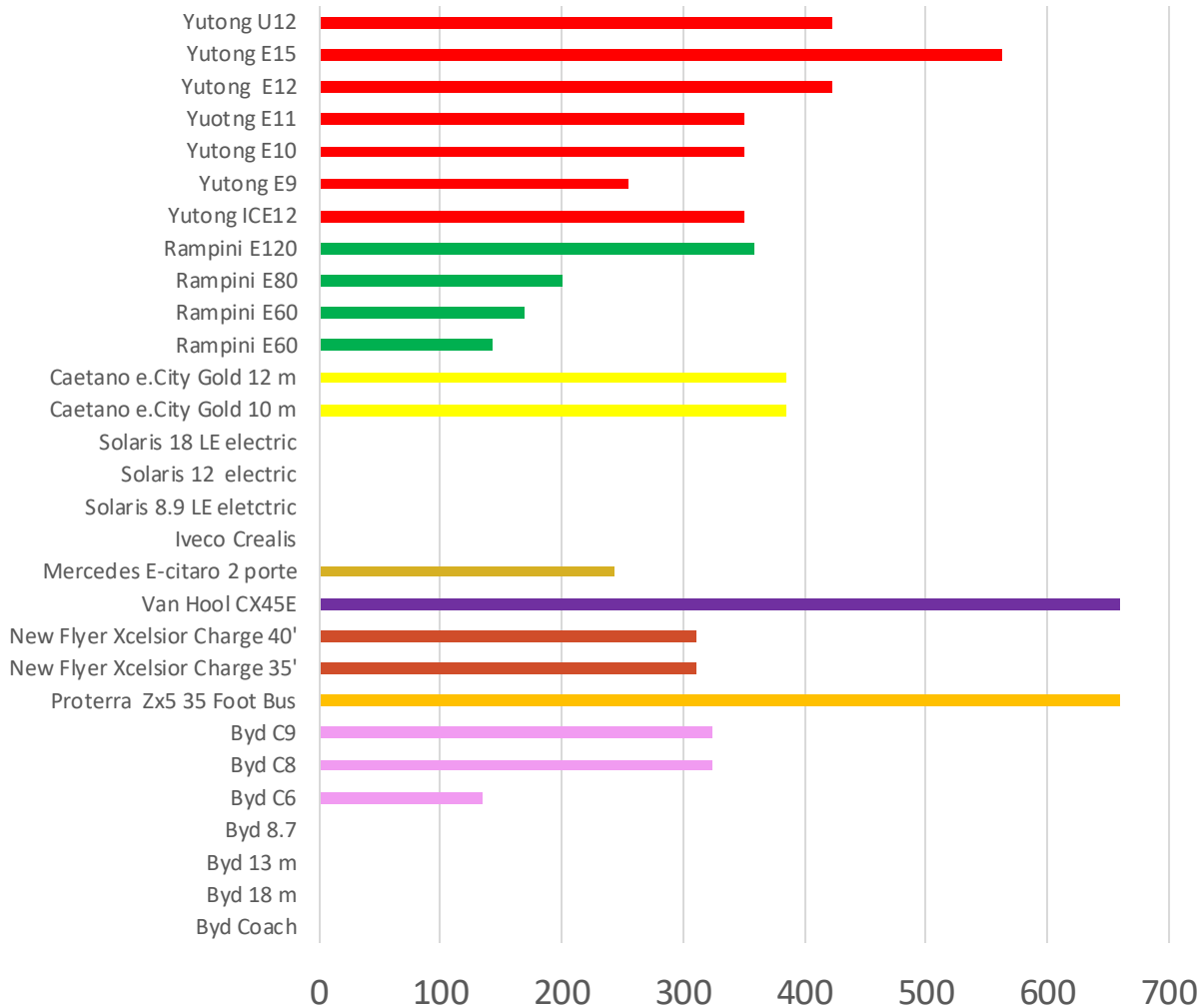
IIT ha messo a disposizione ulteriori dati di bus H2 impegnati in progetti EU o in fase di sviluppo. Questi dati sono solo stati considerati se era possibile ricavare informazioni di dettaglio nei rispettivi siti web dei produttori



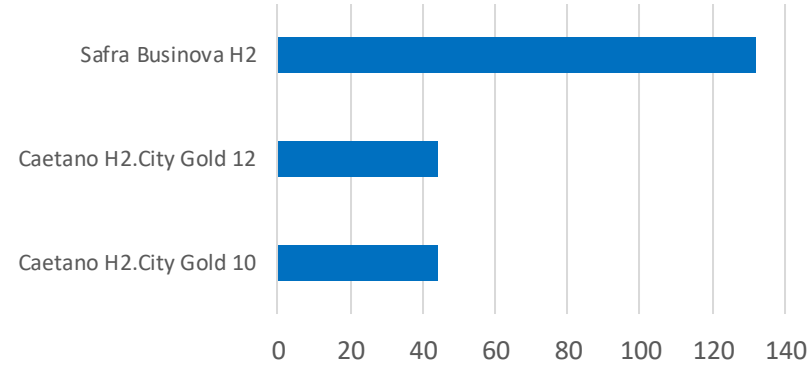
Esempio di ricarica elettrica attraverso pantografo

# Accumulo di Energia

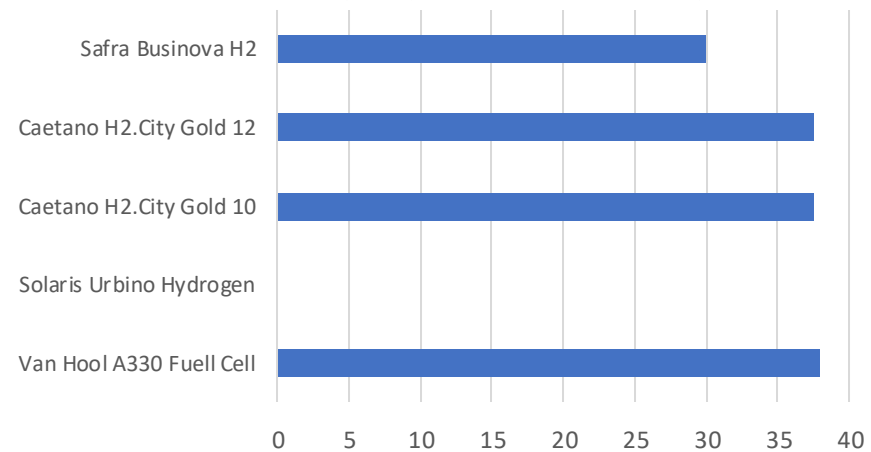
Veicoli BEV: Capacità della Batteria (kWh elettrici)  
Range di percorrenza: 50-130 kWh/100km



Veicoli ad Idrogeno: kWh elettrici  
Batteria elettrica



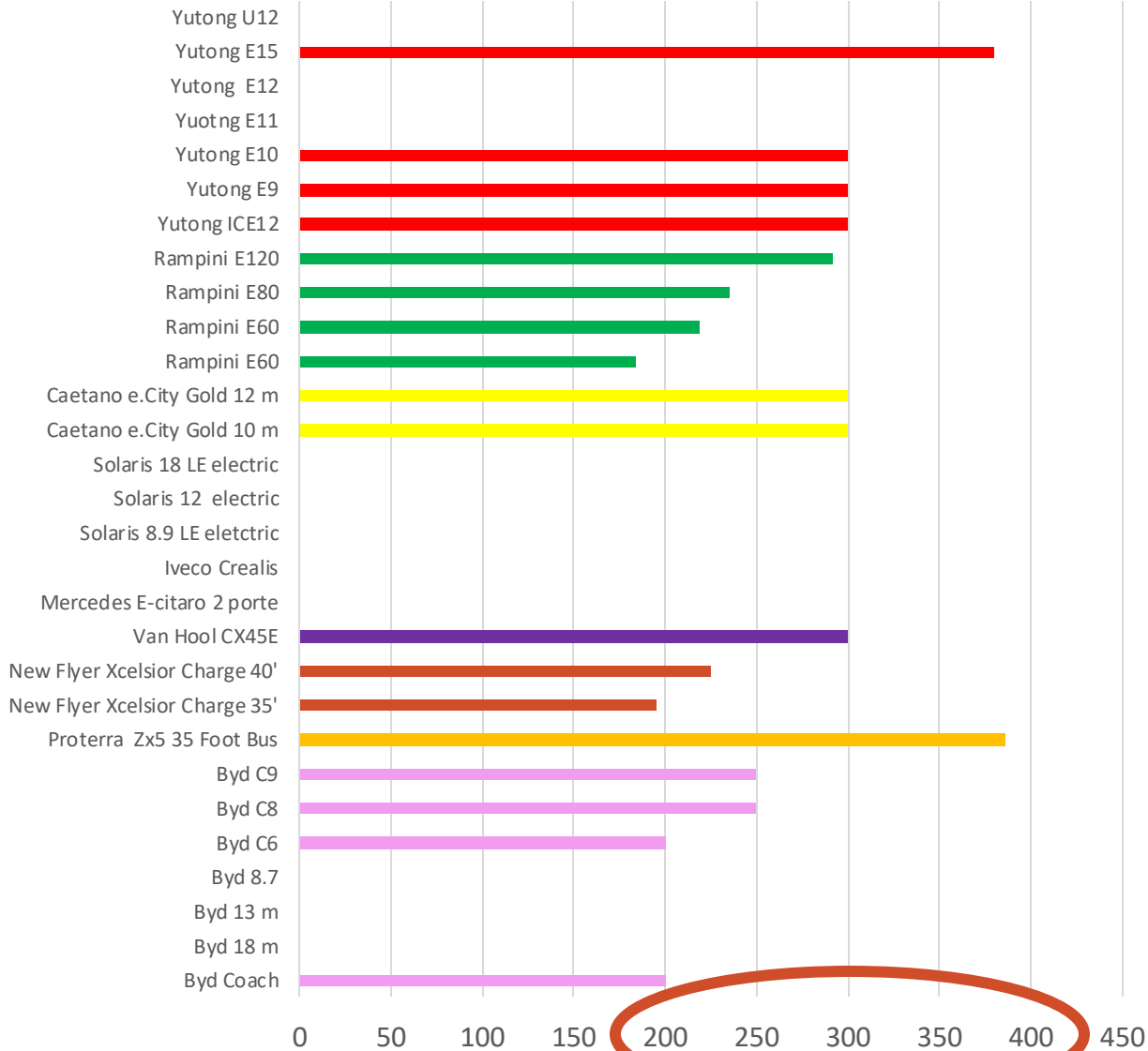
Veicoli ad Idrogeno: kg di idrogeno  
Range di percorrenza : 8.5-10 kg H2/100 km



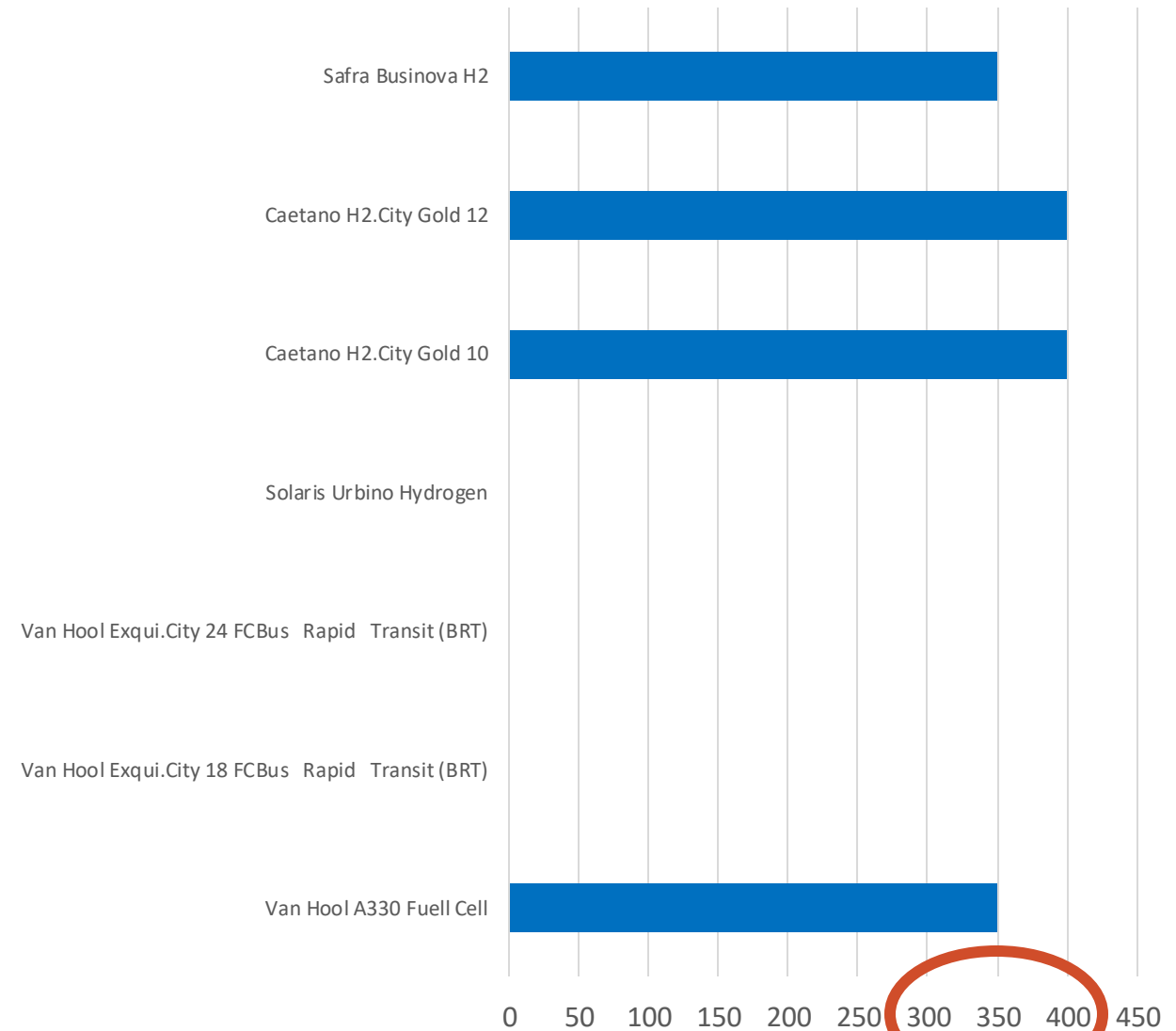
\* La capacità della batteria dell'Autobus Van Hool CX45E presenta un valore anomalo rispetto a quella degli altri bus BEV in termine di km (300 km)

# Massima distanza percorribile (km)

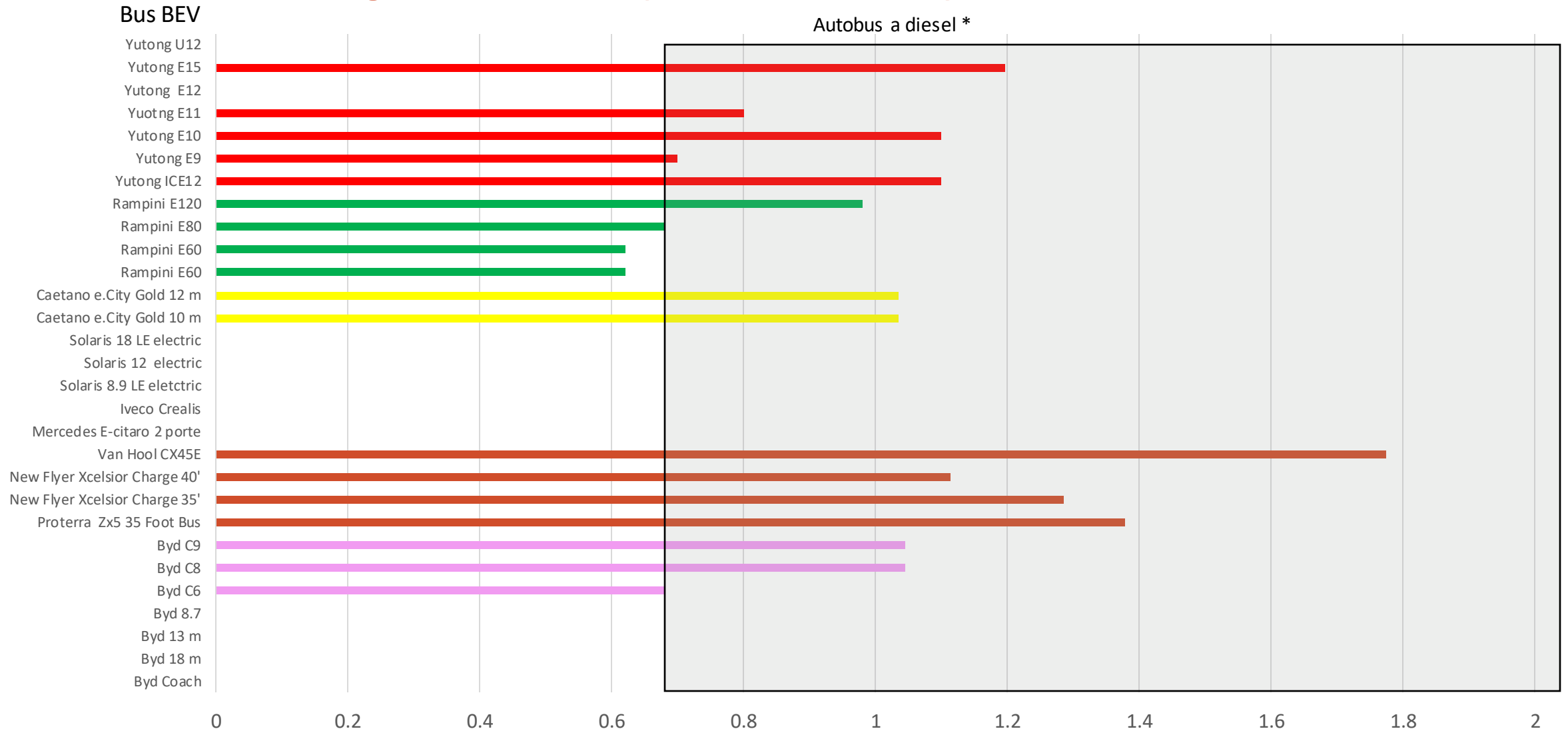
## Bus BEV



## Bus Idrogeno



# Consumo specifico (kWh/km)



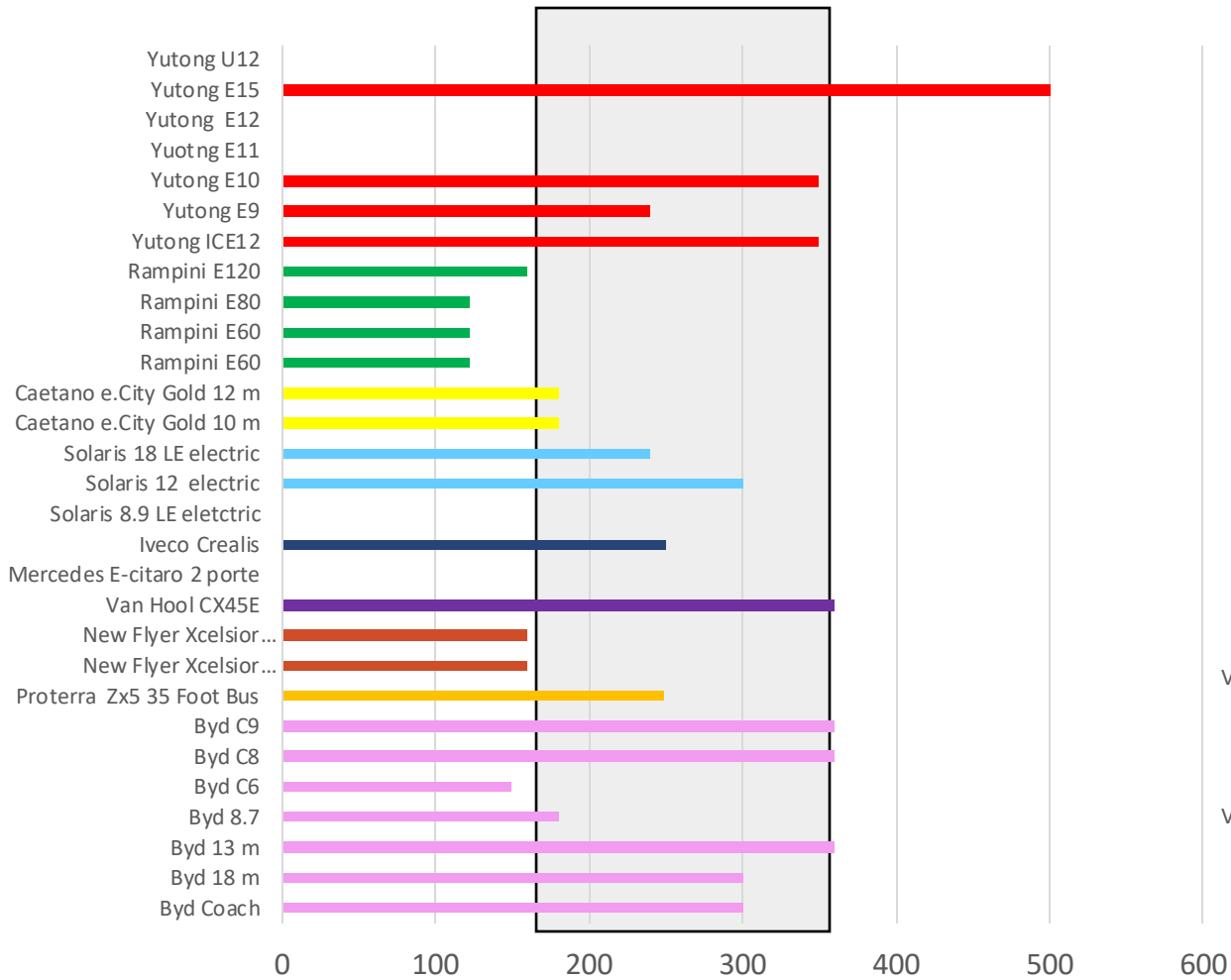
\*Il range di consumo specifico degli autobus a diesel è stato calcolato considerando i cicli SORT che sono stati analizzati nel link riportato sotto, un rendimento del ciclo diesel pari al 36% e un potere calorifico pari a 10.7 kWh/l

Fonte: <https://www.trentinotrasporti.it/azienda/trentino-trasporti/autobus-e-treni/400-emissioni-e-consumi-degli-autobus>

# Potenza del motore (kW)

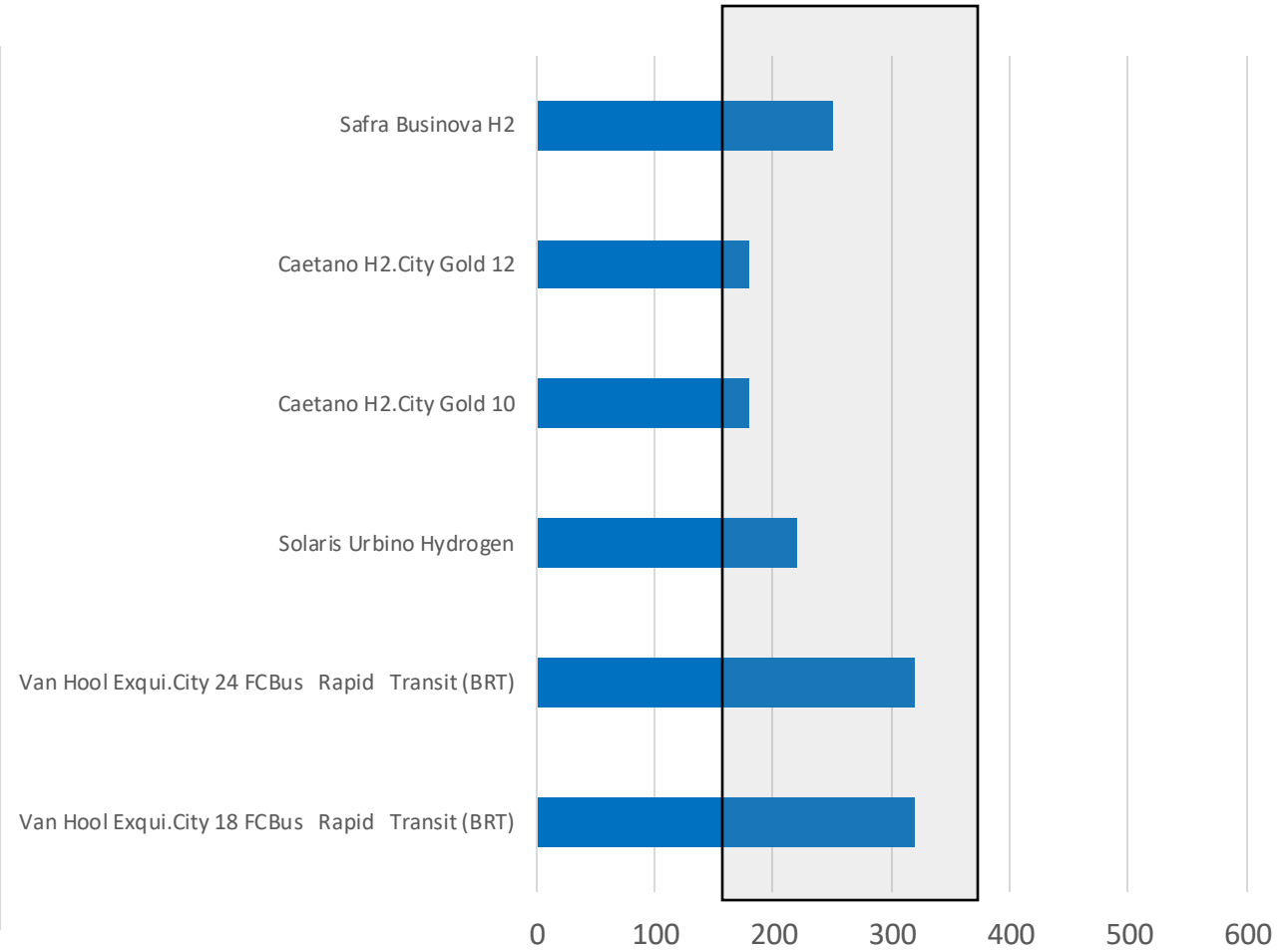
Bus BEV

\*Autobus a diesel



Bus Idrogeno

\*Autobus a diesel



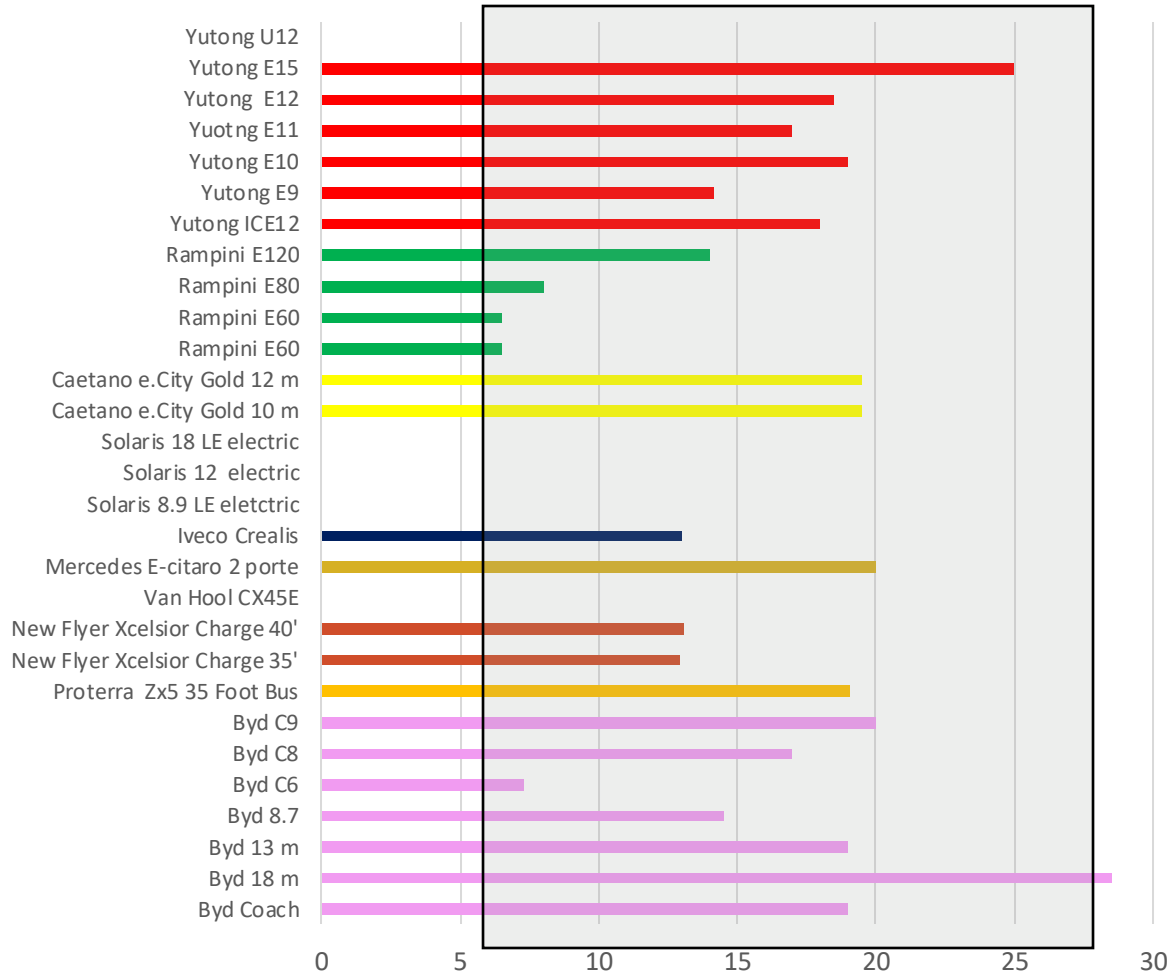
\*Viene considerato il parco autobus a diesel di Sad-Trasporto Locale

<https://www.sad.it/it/mezzi/gli-autobus>

# Peso del veicoli (tonnellate)

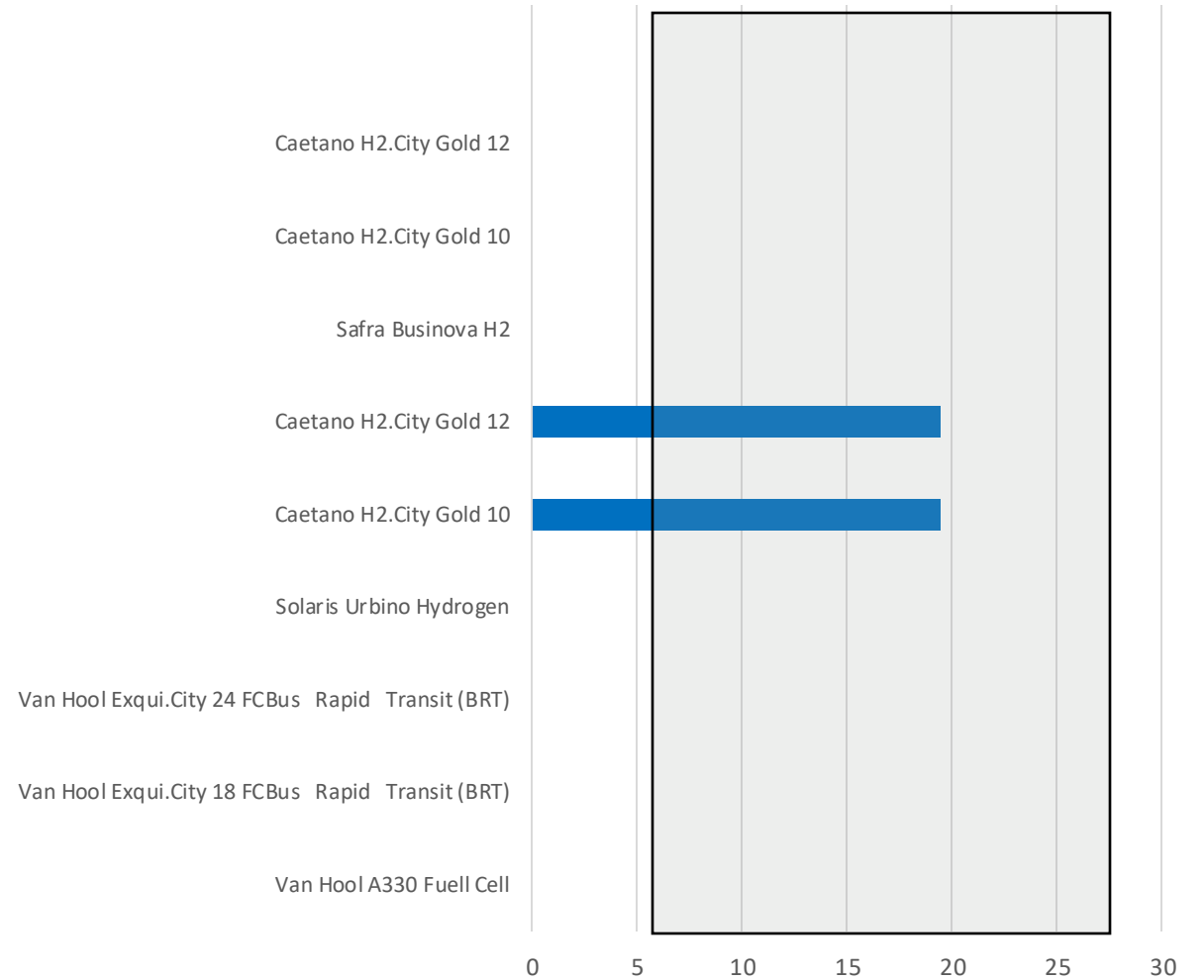
Bus BEV

\*Autobus a diesel



Bus Idrogeno

\*Autobus a diesel



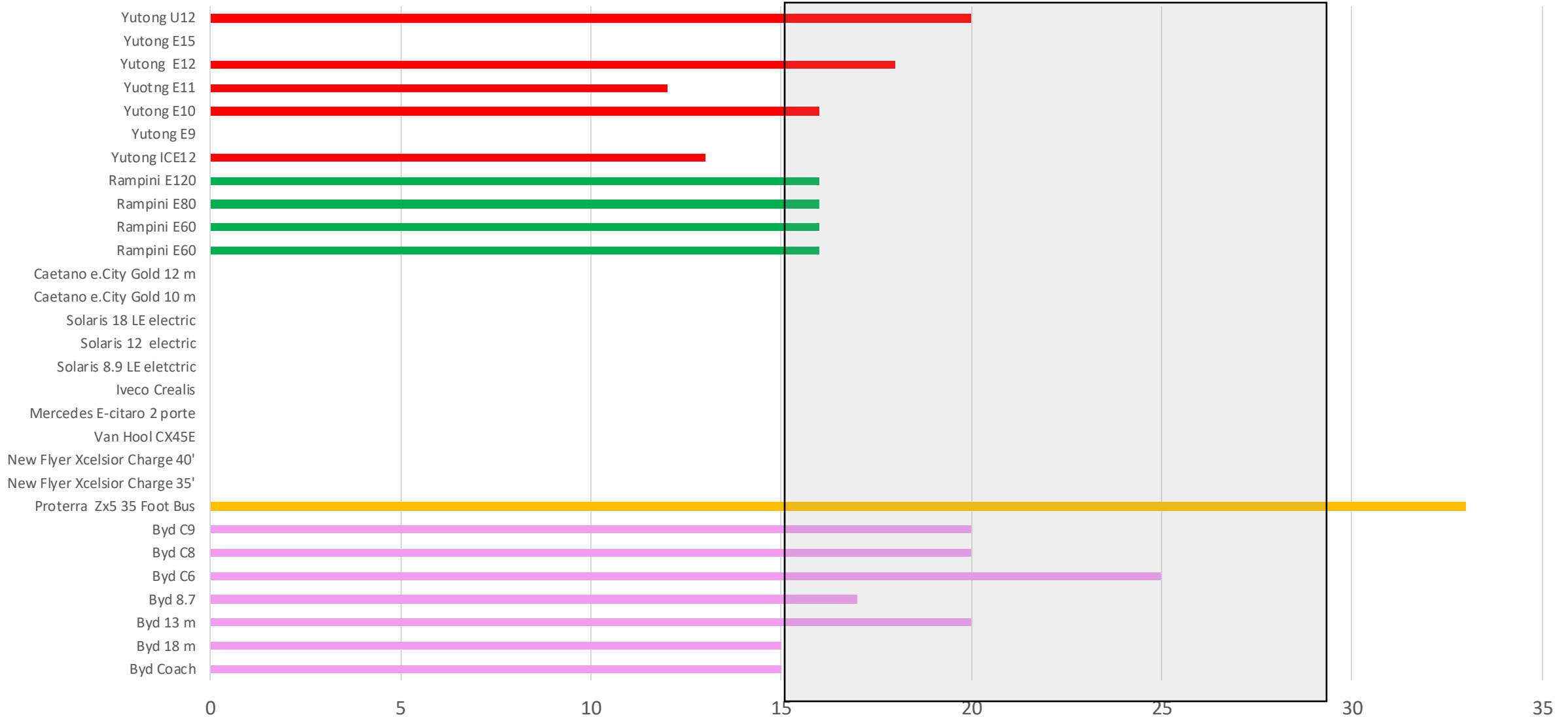
\*Viene considerato il parco autobus a diesel di Sad

<https://www.sad.it/it/mezzi/gli-autobus>

# Massima pendenza (%)

Dati disponibili solo per Bus BEV

Autobus a diesel \*

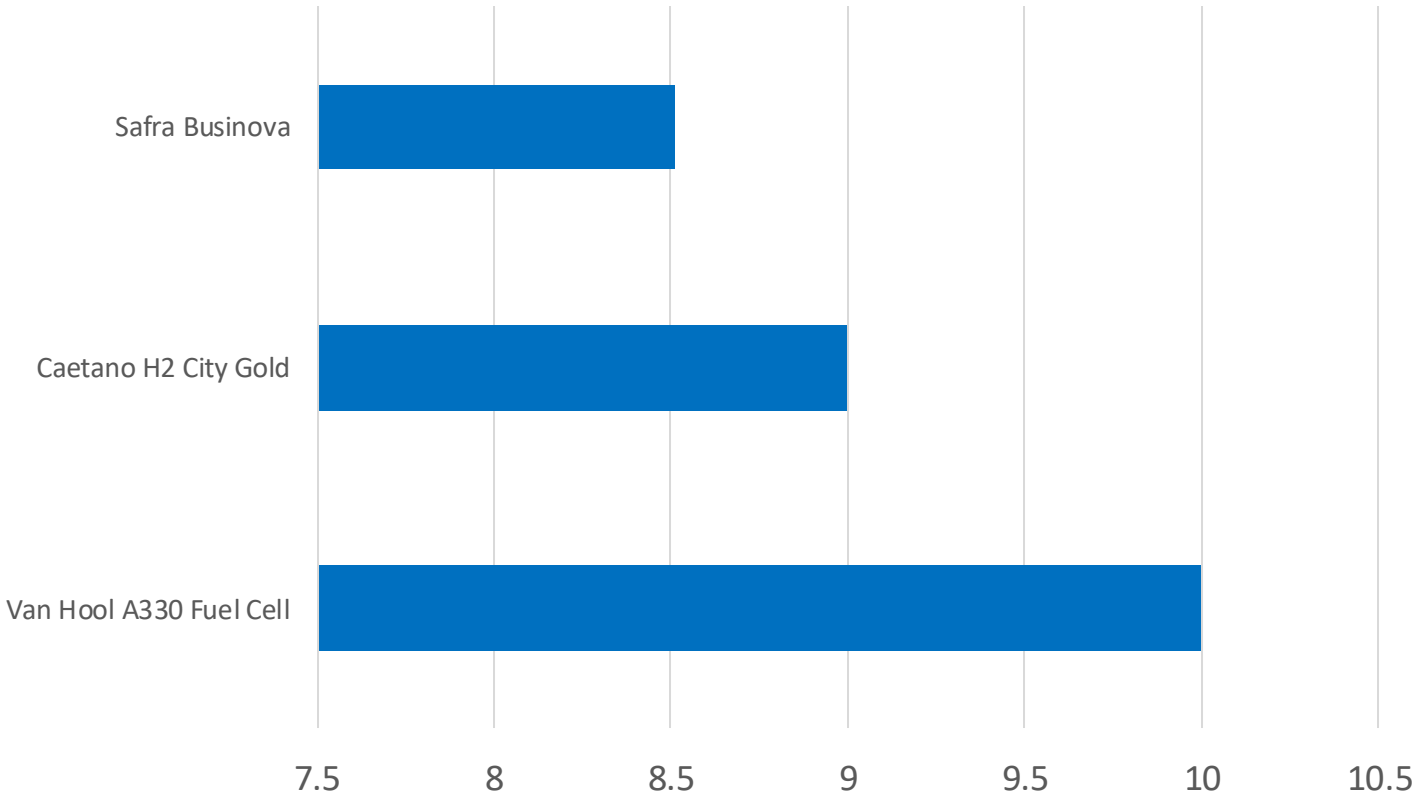


\* Il valore minimo corrisponde alla pendenza massima che una rampa privata può assumere (15%), mentre quello massimo corrisponde alla pendenza che un minibus Mercedes Sprinter può superare.



# Consumo specifico (kg H2/100 km)

## Bus Idrogeno



# Stima dei costi degli autobus

Per gli autori non era possibile trovare dei listini prezzi dettagliati. Essi ci sono per macchine elettrici e ad idrogeno, si trovano prezzi per camion elettrici (per camion ad idrogeno non ancora), ma non per in forma di listino per autobus. Per prezzi dettagliati sono necessarie delle richieste individuali da operatori di autobus. Da informazione ricavati, parlando con alcuni operatori comunque sono emersi i seguenti ordini di grandezza:

1. **Autobus convenzionale: ~ 250.000 – 550.000 €**
2. **Autobus elettrici a batteria: ~ 450.000 – 650.000 €**
3. **Autobus ad idrogeno: ~ 650.000 – 900.000**

Nei prossimi anni questi prezzi **possono cambiare anche in modo sensibile** in dipendenza dalle richieste del mercato e dall'offerta di veicoli. L'offerta salirà in modo molto considerevole nei prossimi anni (a partire dal 2021)

# Stima dei costi del vettore energetico

Ipotizzando una vita utile di **200.000 km**, nel caso:

- 1. degli autobus a diesel** con un consumo medio di 30 l/100 km, un costo specifico di 1.2€/l, si può stimare una spesa totale media attorno ai **72.000 €**
- 2. degli autobus elettrici** considerati, con un range di consumo specifico pari a 70-180 kWh/100km, un costo specifico dell'energia elettrica di 0,2 €/kWh si può stimare una spesa totale che va dai **28.000 ai 72.000 €**
- 3. degli autobus ad idrogeno considerati**, con un range di consumo specifico pari ad 8.5-10 kg/100 km e un costo specifico di 13.37 €/kg di idrogeno, si può stimare una spesa totale che va dai **170.000 ai 200.000 €**

I costi dipendono sia da operatore e prezzi specifici come possono variare in futuro. Soprattutto nei costi dell'idrogeno potrebbe cambiare l'inquadramento legale. Lo sviluppo tecnologico potrebbe diminuire i costi dell'idrogeno e anche dell'energia elettrica per consumo diretto se autoprodotta (p.e. fotovoltaico, idroelettrico)

# Conclusioni – analisi dati tecnici e di mercato

1. Autobus a Zero Emissioni **circolano attualmente principalmente in Cina (> 95%)**
2. Autobus a Zero Emissioni sono **attualmente principalmente autobus elettrici a batteria (BEV) (> 95%)**
3. Dai dati tecnici a disposizione si evince che la massima distanza percorribile dei bus elettrici a batteria **(BEV) varia tra 200 e 400 km**, mentre dai **autobus a idrogeno (FCEV) varia tra 350 e 400 km**
4. In riguardo **all'utilizzo in Alto Adige** e al consumo energetico sono da considerarsi due fattori aggiuntivi:
  1. **Energia rigenerante** (Probabilmente BEV con possibilità maggiori – dimensione batteria)
  2. **Energia per climatizzazione** (raffrescamento simile per BEV e FCEV, riscaldamento probabilmente meno impattante per FCEV siccome può essere utilizzato il calore di scarto delle celle a combustibile)

Dati di monitoraggio da applicazioni locali sono necessarie per approfondire questi aspetti

# Allegato : Dati tecnici di singoli bus



<https://www.autobusweb.com/>

# Classi di bus oltre i 22 passeggeri

## Classe C1

Veicoli costruiti con zone destinate principalmente ai passeggeri in piedi.

## Autobus di classe C2

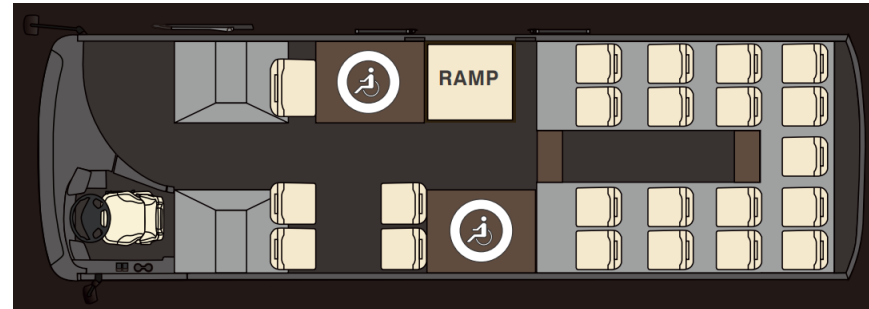
Veicoli destinati principalmente al trasporto di passeggeri seduti, progettati in modo da poter trasportare anche passeggeri in piedi nella corsia e/o in zona apposita.

## Autobus di classe C3

Veicoli costruiti con zone destinate esclusivamente a passeggeri seduti.



# Byd Midibus 8,7 m



Fonte: Byd

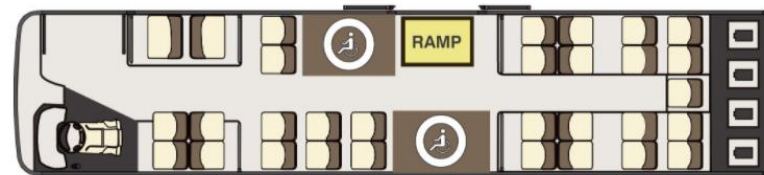
# Byd Midibus 8,7 m

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Byd	Midibus 8.7 m	C1	En. Elettrica		180	14500

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
23	8.75x2.4x3.4	16			17	



# Byd e-bus 12 m

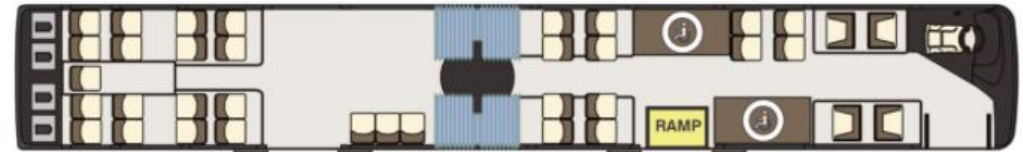


# Byd e-bus 12 m

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Byd	Ebus 13 m	C1	En. Elettrica		360	19000

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
	12.9x2.55x3.5	24			20	

# Byd Articulated 18 m

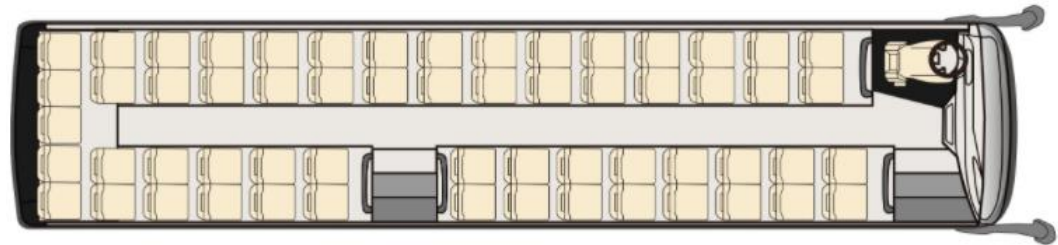


# Byd Articulated 18 m

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Byd	Articulated 18	C3	En. Elettrica		300	18250

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
50	18.25x2.55x3.37	23.5		350		2

# Byd Coach



# Byd Coach

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Byd	Coach	C3	En. Elettrica		300	19000

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
	12,9x2,55x3,55			200	15	3

# Byd C6



# Byd C6

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Byd	C6	C3	En. Elettrica	135	150	7255

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
24	7,3x2,14x2,95	15.36	0.68	200	25	4



# Byd C8



# Byd C8

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Byd	C8	C3	En. Elettrica	324	360	17000

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
46	10,64x2,5x3,5	24	1,3	250	20	4 a 80 KW

# Byd C9



# Byd C9

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Byd	C9	C3	En. Elettrica	324	360	18000

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
50	12x2,5x3,5	24	1.3	250	20	4 a 80KW

# Proterra Zx5 35 Foot Bus



Fonte: <https://www.proterra.com>

# Proterra Zx5 35 Foot Bus

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Proterra	Zx5 35 Foot Bus	C1	En. Elettrica	220-660	248	19500

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
	11,05x2,5x3,3	24	0,93	386	33	2,8

# New Flyer Xcelsior Charge 35'



Fonte: <https://www.newflyer.com>

# New Flyer Xcelsior Charge 35'

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Newflyer	Xcelsior Charge 35'	C1	En. Elettrica	160-311	160	12950

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
	11,05x2,5x3,3	23.8				1,25

Fonte: <https://www.newflyer.com>



# New Flyer Xcelsior Charge 40'



Fonte: <https://www.newflyer.com>

# New Flyer Xcelsior Charge 40'

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Newflyer	Xcelsior Charge 40'	C1	En. Elettrica	160-311	160	12950

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
	11,05x2,5x3,3	23,8				1,25

Fonte: <https://www.newflyer.com>

# Van Hool CX45E



Fonte: <https://www.abc-companies.com>, Van Hool

# Van Hool CX45E

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Van Hool	CX45E	C3	En. Elettrica	660	360	

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
	10,9x3,5x2,59			300		5 a 150 KW

# Solaris Urbino 12 Hydrogen



Fonte: <https://www.solarisbus.com>

# Solaris Urbino 12 Hydrogen

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Solaris	Urbino 12 Hydrogen	C1	Idrogeno		220	

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
	12x3,3x2,53					

# Solaris 8.9 LE Electric



Fonte: <https://www.solarisbus.com>

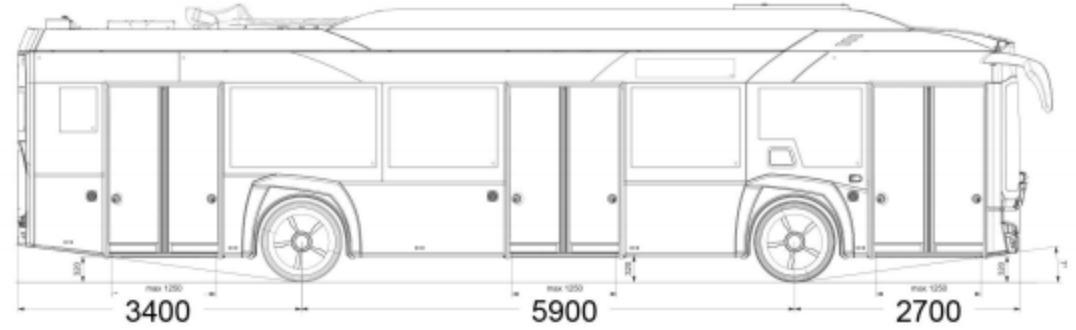
# Solaris 8.9 LE Electric

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Solaris	8.9 LE Electric	C1	En. Elettrica		160	

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
27	8,9x2,4x3,4					



# Solaris 12 Electric



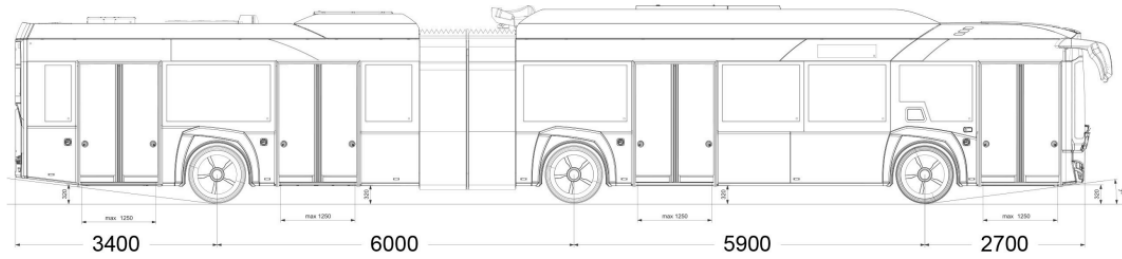
Fonte: <https://www.solarisbus.com>

# Solaris 12 Electric

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Solaris	12 Electric	C1	En. Elettrica		300	

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
	12x2,6x3,3					

# Solaris 18 LE Electric



Fonte: <https://www.solarisbus.com>

# Solaris 18 LE Electric

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Solaris	18 LE Electric	C1	En. Elettrica		240	

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
	18x2,55x3,30					

# Caetano H2 City Gold



Fonte: <https://caetanobus.pt>

# Caetano H2 City Gold

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh] Fuel cell [kg di H2]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Caetano	H2 City Gold	C1	Idrogeno	29-44 37.5	180	19500

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kg/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
64	10,7x2,5x3,45		6	400		0.15

# Caetano e.city Gold



Fonte: <https://caetanobus.pt>

# Caetano e.city Gold

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Yutong	E11	C3	En. Elettrica	100-385	350	18000

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
50	10x2.5x3	17		350	350	2



# Mercedes eCitaro



Fonte: <https://www.mercedes-benz-bus.com>

# Mercedes eCitaro

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Mercedes	eCitaro	C1	En. Elettrica	146-243	250	20000

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
	12x2,95x3,3	21		350	350	2

Fonte: <https://www.mercedes-benz-bus.com>

# Iveco Crealis



Fonte: <https://www.iveco.com>

# Iveco Crealis

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [Kg]
Iveco	Crealis	C1	En. Elettrica	Ridotta per zone non coperte dalle linee aeree	250	13000

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
	18,4x2,5x3,55	20,52	En. Elettrica		Uso urbano	

# Van Hool Electric Bus-Tram



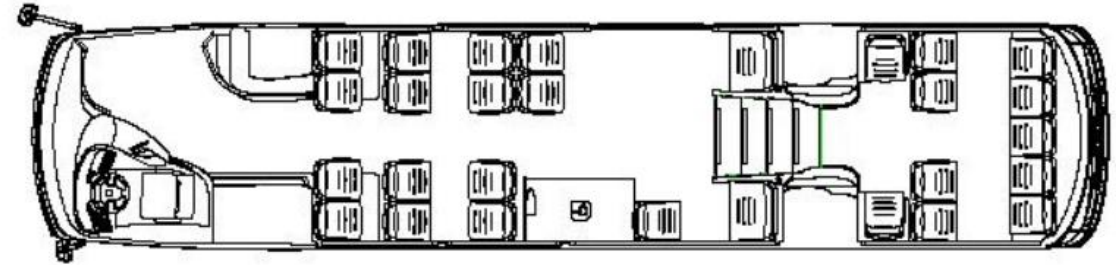
<http://www.exquicity.be/en/>

# Van Hool Electric Bus-Tram

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Van Hool	Electric Bus	C1	En. Elettrica	Non presente	250	18500

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Raggio Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
	18x2,5x3,3	24,30			Uso urbano	

# Safra-Businova standard



<http://www.businova.com>

<https://www.sustainable-bus.com>

# Businova H2 standard

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh] Fuel cell [kg di H2]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [Kg]
Businova	H2 Standard	C1	Idrogeno	132 30	250	

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
				350		



# Yutong ICE 12



# Yutong ICE12

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Yutong	ICE12	C3	En. Elettrica	324	350	18000

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
49	12,47x2,55x3,47	19,6	0,9-1,1	250-300	13	3 a 150 KW

# Yutong E9 (confidential-no per la stampa)



\*Sarà disponibile a partire da gennaio 2021

<https://en.yutong.com>

# Yutong E9

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Yutong	E9	C1	En. Elettrica	255	240	14150

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
60	8,94x2.42x3.30	16	0,5-0,7	250-300		2,5 a 150 KW

\*Sarà disponibile a partire da gennaio 2021

<https://en.yutong.com>

# Yutong E10



<https://en.yutong.com>

# Yutong E10

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Yutong	E10	C1	En. Elettrica	350	350	19000

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
72	10,9x2.55x3.35	18	1-1,1	300	16	3 a 150 KW

# Yutong E11



<https://en.yutong.com>

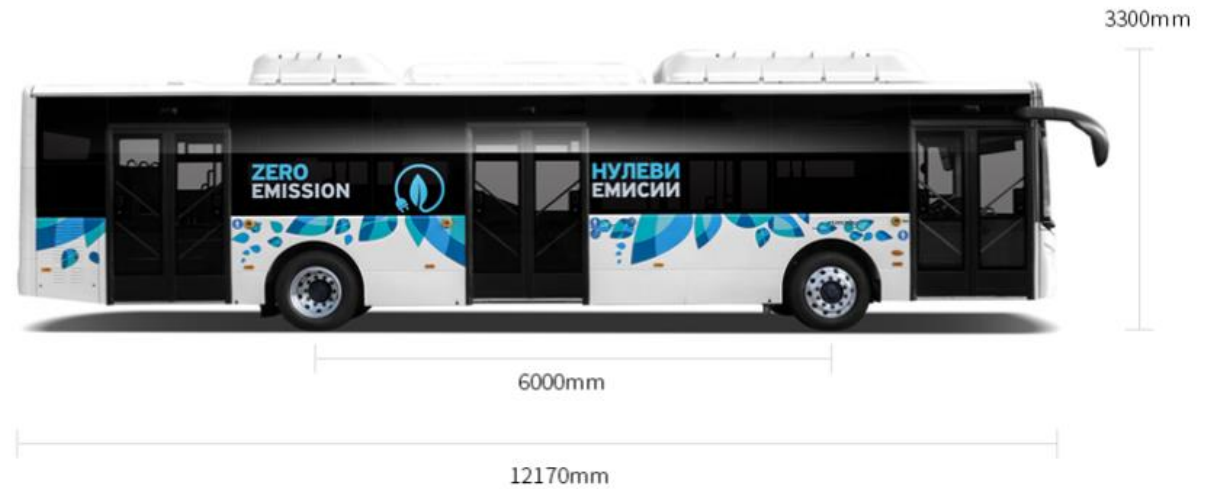
# Yutong E11

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Yutong	E12	C3	En. Elettrica	350		17000

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
81	11x2.5x3.6	19.5	0.8		12	2.4 a 150KW



# Yutong E12



<https://en.yutong.com>

# Yutong E12

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [KWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Yutong	E12	C1	En. Elettrica	422.87		18500

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
33	12.17x2.5x3.3	19			18	

# Yutong E15 (confidential-no per la stampa)



\*Sarà disponibile a partire da gennaio 2021

<https://en.yutong.com>

# Yutong E15 (confidential - no per la stampa)

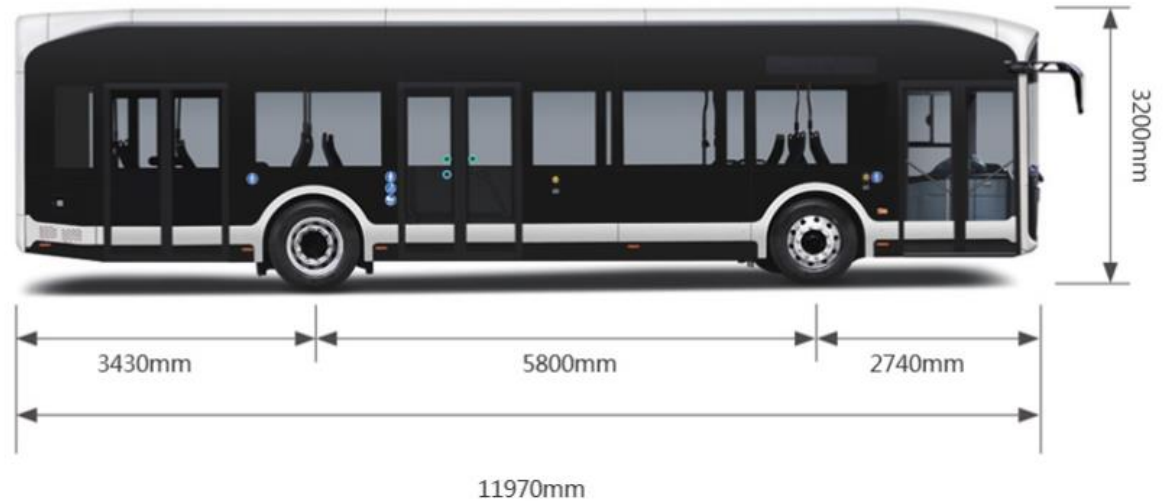
Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Yutong	E15	C2	En. Elettrica	564	500	25000

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
49	14,97x2.55x3.3	19,6	1,2-1,5	280-300	13	4,8 a 150 KW

\*Sarà disponibile a partire da gennaio 2021

<https://en.yutong.com>

# Yutong U12



<https://en.yutong.com>

# Yutong U12

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Yutong	U12	C1	En. Elettrica	422.87		

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
26	11.97x2.55x3.2	18.5			20	

# Rampini E60



<https://www.rampini.it>

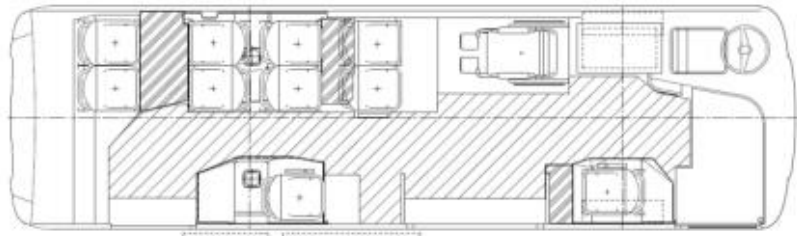
# Rampini E60

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Rampini	E60	C1	Energia Elettrica	143-170	122	6500

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
35	6.11x2.1x2.98	14	0.62	184 e 219	16	



# Rampini E80



3 porte



2 porte



<https://www.rampini.it>

# Rampini E80

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Rampini	E80	C1	Energia Elettrica	200	122	8000

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
48	7.29x2.2x3.25	14.6	0.68	235	16	4.5

# Rampini E120



<https://www.rampini.it>

# Rampini E120

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Rampini	E120	C1	Energia Elettrica	358	160	14000

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
73	11.95x2.55x3.32	22.4	0.98	292	16	6

# Van Hool A330 Fuel Cell



<https://www.vanhool.be/>

# Van Hool A330 Fuel Cell

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh] Fuel cell [kg di H2]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Van Hool	A330 Fuel Cell	C1	Idrogeno	38		

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
	13.16x2.55x3.42			350		

# Van Hool Exqui.City 18-24 FCBus (BRT)



<https://www.vanhool.be/>

# Van Hool A330 Fuel Cell

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh] Fuel cell [kg di H2]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Van Hool	A330 Fuel Cell	C1	Idrogeno		320	

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
	18.6x2.55x3.3 23.8x2.55x3.3					



# Mercedes eCitaro Rex



## Modello in progettazione

Tale modello è in fase di progettazione, al momento i dati disponibili sono da considerarsi previsionali

# Mercedes-Benz eCitaro Rex

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh] Fuel cell [kg di H2]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Mercedes-Benz	eCitaro Rex	C1	Idrogeno			

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
				300		

# Wright Bus 10.9 m



## Modello in progettazione

Tale modello è in fase di progettazione, al momento i dati disponibili sono da considerarsi previsionali

# Wright Bus 10.9 m

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh] Fuel cell [kg di H2]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Wright Bus	10.9 m	C1	Idrogeno			

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
				310		

# Wright Bus 12 m



## Modello in progettazione

Tale modello è in fase di progettazione, al momento i dati disponibili sono da considerarsi previsionali

# Wright Bus 12 m

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh] Fuel cell [kg di H2]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Wright Bus	10.9 m	C1	Idrogeno			

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
				450		

# Wright Bus 18 m

## Modello in progettazione

Tale modello è in fase di progettazione, al momento i dati disponibili sono da considerarsi previsionali

# Wright Bus 12 m

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh] Fuel cell [kg di H2]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Wright Bus	18 m	C1	Idrogeno			

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
				520		



# Flixbus/FreudbenBerg



## Modello in progettazione

Tale modello è in fase di progettazione, al momento i dati disponibili sono da considerarsi previsionali

# Flixbus/FreudbenBerg

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh] Fuel cell [kg di H2]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Flixbus/FreudbenBerg		C3	Idrogeno			

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
				500		0.3

# ADL Enviro 400FC



## Modello in progettazione

Tale modello è in fase di progettazione, al momento i dati disponibili sono da considerarsi previsionali

# Wright bus Streetdeck



## Modello in progettazione

Tale modello è in fase di progettazione, al momento i dati disponibili sono da considerarsi previsionali

# Wrightbus Streetdeck

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh] Fuel cell [kg di H2]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Wrightbus	Streetdeck	C2	Idrogeno	48		

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
64				322		0.3

# Hyzon 12 m e 18 m



## Modello in progettazione

Tale modello è in fase di progettazione, al momento i dati disponibili sono da considerarsi previsionali

<https://hyzonmotors.com/vehicle/city-and-coach-buses/>

# Hyzon 12 m e 18 m

Marca	Modello	Classe	Vettore energetico	Capacità Batteria [kWh] Fuel cell [kg di H2]	Potenza motore [kW]	Massa Veicolo [kg]
Hyzon	12-18 m	C3	Idrogeno			

Capacità Trasporto [persone]	Dimensioni [m]	Diametro Curvatura [m]	Consumo per km [kWh/km]	Autonomia [km]	Pendenze massime [%]	Tempo ricarica [ore]
80				500		

# Referenze Immagini

*Immagine Power train autobus elettrico:*

<https://www.swingelectric.com/buyers-guide/picking-an-electric-car/>

*Immagine Fuel cell-electric drive:*

<https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-systems/fuel-cell-electric-vehicle/>

*Immagine Analisi Tank to Whell:*

<https://www.federmetano.it/2019/10/21/well-to-wheel-come-capirlo-meglio/>

*Immagine Numeri e trend locali*

<https://twitter.com/euzebconference>

*Immagine Bus elettrici nel mondo:*

*Zero Emissions Bus Forum, Arup, Discussion Paper, 1 ottobre 2020*

*Grafico BEV e PHEV:*

[https://www.swingelectric.com/buyers-guide/picking-an-electric-car/;](https://www.swingelectric.com/buyers-guide/picking-an-electric-car/)

*Grafici Immatricolazioni in Europa e Italia 2015-2019:*

*SMART MOBILITY REPORT, La sostenibilità nei trasporti: opportunità e sfide per la filiera e gli end user, Ottobre 2020, Politecnico di Milano*

*Grafico delle previsioni sulla diffusione:*

<https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/?sf122680186=1>

*Immagine principali caratteristiche:*

<http://www.electricmotornews.com/>

*Immagini caratteristiche comuni (dal canale Youtube):*

<https://www.youtube.com/watch?v=INjqqbZiXHY>



# Referenze Immagini

*Immagine Riscaldamento autobus ad idrogeno:*

<https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-systems/fuel-cell-electric-vehicle/>

*Immagine Curva rendimento motore-ruota:*

Design of Efficient In-Wheel Motor for Electric Vehicles  
Winai Chanpenga\*, Prasert Hachanontba, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani, 12110, Thailand

*Immagine Rendimento durante la frenata rigenerativa dal canale Youtube di Yutong:*

<https://www.youtube.com/watch?v=INjqqbZiXHY>

*Grafici Consumi dovuti alla climatizzazione (slide 16):*

<https://www.naf.no/elbil/aktuelt/elbiltest/ev-winter-range-test-2020/>

*Grafico Consumi dovuti alla climatizzazione (slide 17):*

<https://www.swingelectric.com/buyers-guide/picking-an-electric-car/>

*Immagine Comparzione fra modelli:*

<https://www.autobusweb.com>

*Allegato: Dati tecnici Autobus:*

<https://www.autobusweb.com/>

*Immagine Classi autobus oltre i 22 passeggeri:*

MANMAGAZINE

*Tutte le immagini degli autobus (interni ed esterni) sono state ricavate dal sito o da schede tecniche inviate dal produttore ad eccezione delle slides in cui è stato specificato (sito in basso a sinistra).*

# Referenze

## *Bus operativi nel mondo (2019):*

Jeremy, H. (2018, April 24). Electric Buses Are Hurting the Oil Industry—Bloomberg.

<https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-04-23/electric-buses-are-hurting-the-oil-industry>

Hodges, J. (2018, April 24). Electric Buses Are Hurting the Oil Industry—Bloomberg.

<https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-04-23/electric-buses-are-hurting-the-oil-industry>

## *Predizioni sulla diffusione dei segmenti 2019-2040:*

McKerracher, C., Najafabadi, A. I., O'Donovan, A., Albanese, N., Soulopolous, N., Doherty, D., Boers, M., Fisher, R., Cantor, C., Frith, J., Mi, S., & Grant, A. (2020). BNEF EVO Report 2020 | BloombergNEF | Bloomberg Finance LP. BloombergNEF.

<https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>

## *Rendimento durante la frenata rigenerativa:*

Boretti, A. (2013). Analysis of the Regenerative Braking Efficiency of a Latest Electric Vehicle (SAE Technical Paper No. 2013-01–2872).

<https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2013-01-2872/?PC=DL2BUY>

## *Emissioni e consumi degli autobus a diesel, ibridi, a metano di Trentino Trasporti:*

<https://www.trentinotrasporti.it/azienda/trentino-trasporti/autobus-e-treni/400-emissioni-e-consumi-degli-autobus>

## *Flotta autobus SAD – Trasporto:*

<https://www.sad.it/it/mezzi/gli-autobus>

## *Classi di bus oltre i 22 passeggeri:*

Decreto Ministeriale 20 giugno 2003, che ha recepito la Direttiva 2001/85/CE

# Referenze

*Vehicles and fleet | EAFO. (2020).*

<https://www.eafo.eu/vehicles-and-fleet/m2-m3>

*Dati tecnici autobus BYD*

Schede tecniche fornite dal produttore

*Dati tecnici autobus Proterra*

<https://www.proterra.com>

*Dati tecnici autobus New Flyer*

<https://www.newflyer.com>

*Dati tecnici autobus Van Hool*

schede tecniche fornite da Van Hool

*Dati tecnici autobus Solaris*

<https://www.solarisbus.com>

*Dati tecnici autobus Iveco*

<https://www.iveco.com>

*Dati tecnici Caetano Buses:*

<https://caetanobus.pt>

*Dati tecnici Safra Businova:*

<http://www.businova.com>

*Dati tecnici Mercedes Bus:*

<https://www.mercedes-benz-bus.com>

*Dati tecnici Wright Buses:*

<https://h2bus.eu/offering>

*Dati tecnici autobus ADL:*

<https://h2bus.eu/offering>

*Dati tecnici autobus Yutong:*

<https://en.yutong.com> , dati forniti da Yutong

*Dati tecnici autobus Hyzon:*

<https://hyzonmotors.com/vehicle/city-and-coach-buses/>

# Grazie per la vostra attenzione

A. Grotto, R. Vaccaro,  
P. Zambelli, W. Sparber

Institute of Renewable Energy

Tel +39 0471 055 744

[andrea.grotto@eurac.edu](mailto:andrea.grotto@eurac.edu)

[www.eurac.edu](http://www.eurac.edu)



**eurac**  
research