

Corso di formazione FEDERMOBILITA'
"La mobilità sostenibile"

La Mobilità Elettrica

*Opportunità, vincoli e prospettive per il
Trasporto Pubblico Locale*

Prof. Pierluigi Coppola

28 Marzo 2022



LA MOBILITÀ ELETTRICA

OPPORTUNITÀ, VINCOLI E PROSPETTIVE PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE

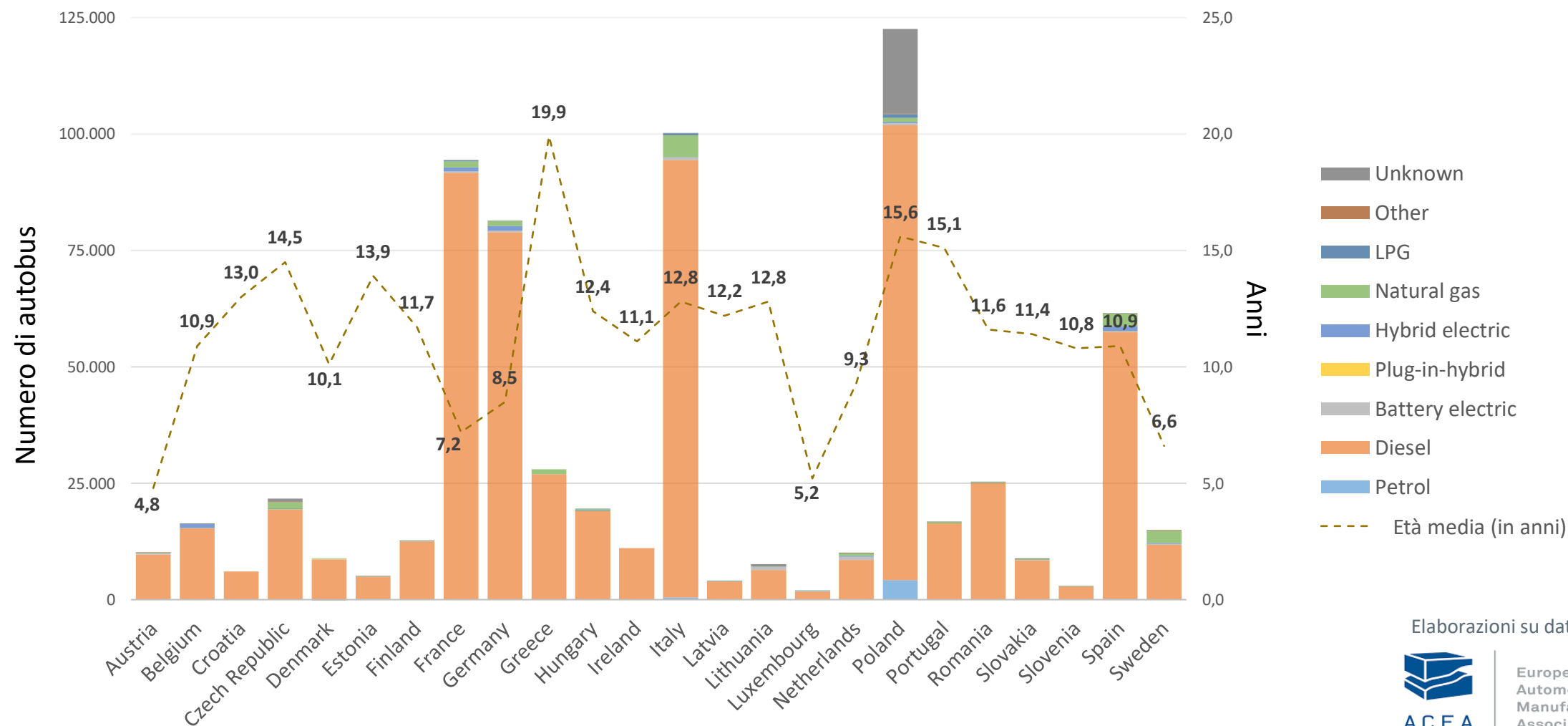
- La transizione energetica nel TPL
 - I numeri del TPL in Italia
 - Politiche EU e ITA
 - Fondi per il rinnovo delle flotte di autobus
- Vincoli e prospettive di sviluppo della tecnologia
 - Veicoli (batterie, prestazioni, ...)
 - Infrastruttura di ricarica
- Costi della transizione e impatti energetico-ambientali
- Casi Studio
 - Progetto di una linea elettrica di Bus Rapid Transit (BRT)
 - Valutazione ciclo-vita di scenari di rinnovo di una flotta di autobus

LA MOBILITÀ ELETTRICA

OPPORTUNITÀ, VINCOLI E PROSPETTIVE PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE

- La transizione energetica nel TPL
 - I numeri del TPL in Italia
 - Politiche EU e ITA
 - Fondi per il rinnovo delle flotte di autobus
- Vincoli e prospettive di sviluppo della tecnologia
 - Veicoli (batterie, prestazioni, ...)
 - Infrastruttura di ricarica
- Costi della transizione e impatti energetico-ambientali
- Casi Studio
 - Progetto di una linea elettrica di Bus Rapid Transit (BRT)
 - Valutazione ciclo-vita di scenari di rinnovo di una flotta di autobus

LA TRANSIZIONE ENERGETICA NEL TPL – I NUMERI DEL TPL IN EU

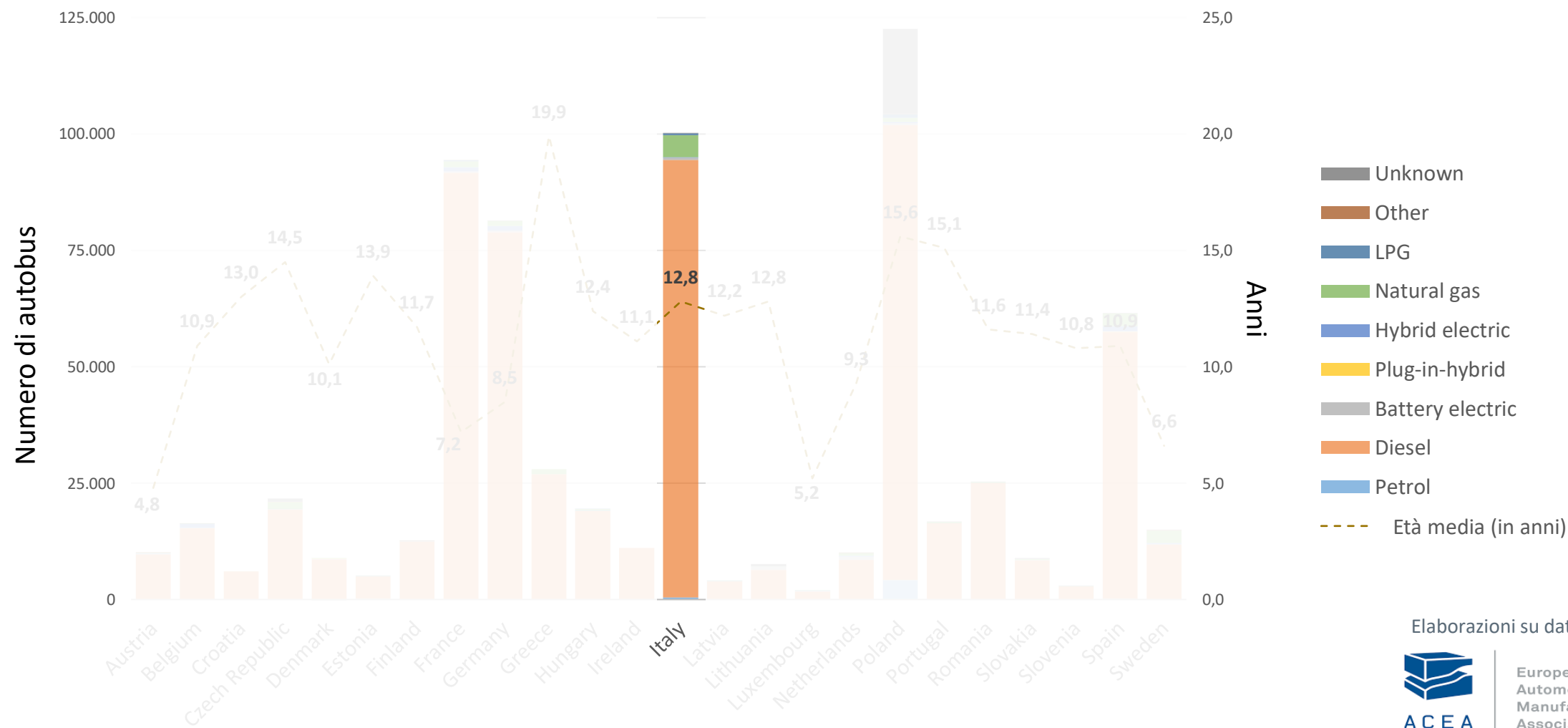


Elaborazioni su dati da



European
Automobile
Manufacturers
Association

LA TRANSIZIONE ENERGETICA NEL TPL – I NUMERI DEL TPL IN ITALIA

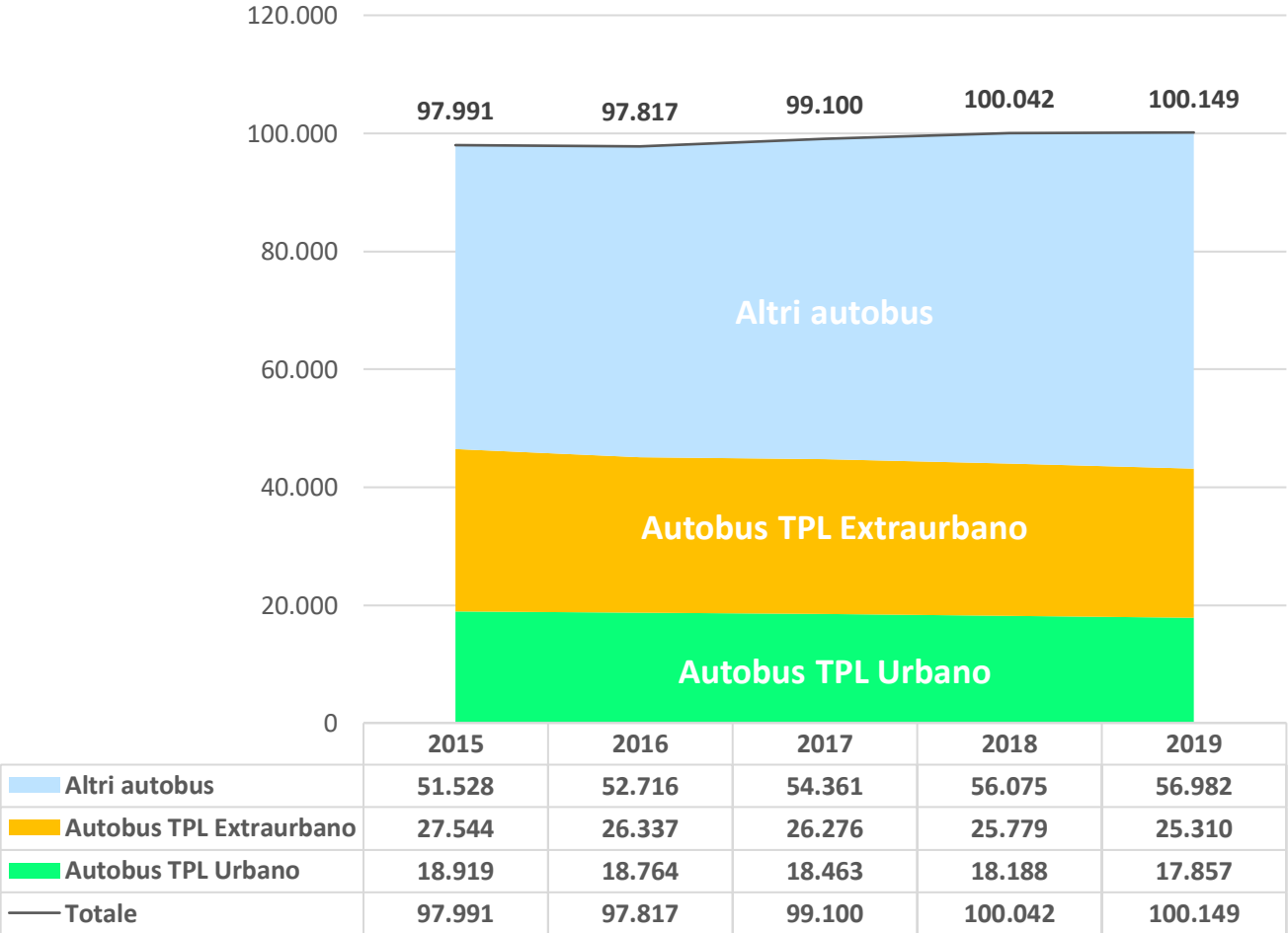


Elaborazioni su dati da



European
Automobile
Manufacturers
Association

LA TRANSIZIONE ENERGETICA NEL TPL – I NUMERI DEL TPL IN ITALIA



Numero aziende	930
Numero addetti	Oltre 124'000
Passeggeri	circa 5.4 miliardi
Percorrenze	circa 1.9 miliardi di bus-km
Fatturato	circa 12 miliardi di €

*Dati relativi al periodo pre-pandemico

LA TRANSIZIONE ENERGETICA NEL TPL – POLITICHE EU

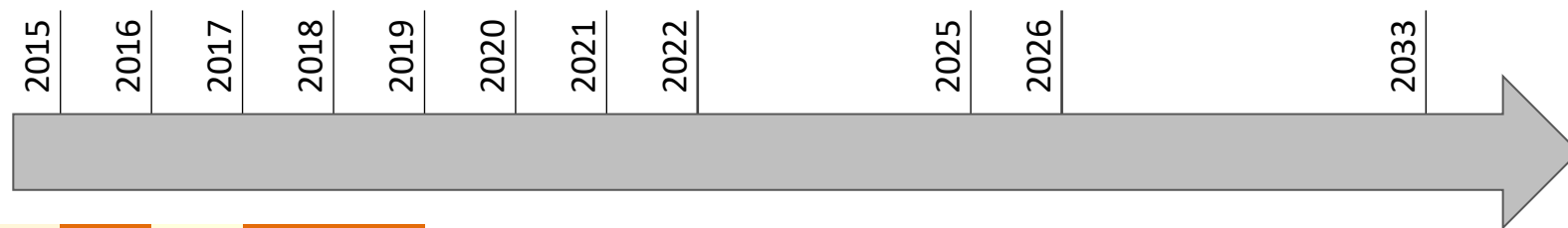
Direttiva / Regolamento	Elementi chiave
Direttiva UE Clean Vehicle	Obbligo di acquisto di veicoli a zero/basse emissioni per le pubbliche amministrazioni
Direttiva UE Euro VII (in fase di approvazione)	Riduzione delle emissioni di CO2 dei bus con motori endotermici del 25% al 2025 e del 30% al 2030
Direttiva Fuel Quality (in fase di approvazione)	Ridurre l'intensità dei gas clima-alteranti nei carburanti utilizzati per la trazione nel settore dei trasporti
Proposta di Regolamento relativo alle batterie e ai rifiuti da batterie (in fase di approvazione)	Incentivazione nella standardizzazione dei processi di produzione e gestione seconda vita delle batterie

LA TRANSIZIONE ENERGETICA NEL TPL – POLITICHE ITA

Piani e Normative	Elementi chiave
Piano Strategico Nazionale Mobilità Sostenibile (PSNMS)	Sostegno a: - Sostituzione dei veicoli maggiormente inquinanti - Nuove infrastrutture di ricarica/rifornimento/stoccaggio per promozione di energie pulite, alternative al diesel
Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC)	Per le città ad alto inquinamento (calcolate in base ai giorni di superamento delle soglie limite PM10 ogni anno), entro il 2022 il 30% dei nuovi acquisti bus deve essere ad energia pulita. La quota sale al 50% al 2025, 85% al 2030.
Piano Nazionale Resilienza e Rilancio (PNRR) e Piano Complementare	Previsti investimenti per: - rinnovo della flotta di autobus extraurbani e suburbani ecologici, elettrici, a idrogeno o a metano e relative infrastrutture - sviluppo di filiere produttive competitive che consentano di ridurre la dipendenza da importazioni di tecnologie (ad esempio, per quanto riguarda il settore della mobilità, sono indicate come prioritarie le tecnologie per la produzione di elettrolizzatori e batterie per veicoli elettrici e a idrogeno)

LA TRANSIZIONE ENERGETICA NEL TPL

FONDI PER IL RINNOVO DELLE FLOTTE DI AUTOBUS



FONDO BUS. il DM 345/2016 ripartisce tra le Regioni Fondi statali (352.4 mln€) per gli anni 2015-2016. Con il DM 25/2017 sono stati collocati altri 150 mln€ per il triennio 2017-2019.



FONDO DI SVILUPPO E COESIONE.

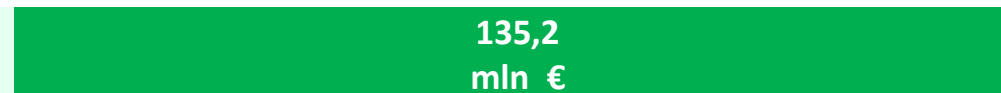
Con la Delibera CIPE 54/2016 è previsto l'impegno di 200 mln€ per l'acquisto di autobus per il TPL. L'80% è destinato alle Regioni del Mezzogiorno. Successive due delibere CIPE (98/2017 e 12/2018) stanziavano rispettivamente 400.75 mln€ e 14 mln€.



PIANO STRATEGICO NAZIONALE DELLA MOBILITA' SOSTENIBILE. I fondi stanziati con legge di bilancio 2017 sono stati 'accelerati' in quanto a disponibilità nel tempo a seguito del PNRR (tra il 2022 e il 2026 è previsto un investimento pari a 2415 mln €).



FONDO AMMINISTRAZIONI CENTRALI. La legge 145/2018 prevede 135.2 mln € per il periodo 2019 -2033.



LA MOBILITÀ ELETTRICA

OPPORTUNITÀ, VINCOLI E PROSPETTIVE PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE

- La transizione energetica nel TPL
 - I numeri del TPL in Italia
 - Politiche EU e ITA
 - Fondi per il rinnovo delle flotte di autobus
- Vincoli e prospettive di sviluppo della tecnologia
 - Veicoli (batterie, prestazioni, ...)
 - Infrastruttura di ricarica
- Costi della transizione e impatti energetico-ambientali
- Casi Studio
 - Progetto di una linea elettrica di Bus Rapid Transit (BRT)
 - Valutazione ciclo-vita di scenari di rinnovo di una flotta di autobus

VINCOLI E PROSPETTIVE DI SVILUPPO – I VEICOLI

I modelli di bus elettrici a batteria (**Battery Electric Bus – BEB**) più comuni nel TPL hanno lunghezza pari a 12 e a 18 metri.

Per un 12 m si considerano mediamente **190-230 km di autonomia** con una sola ricarica (con aria condizionata o riscaldamento attiva/o).

Non essendoci alcuna combustione, i **bus elettrici non hanno emissioni allo scarico**: non emettono né anidride carbonica (CO₂), né alcun inquinante locale (NO_x, PM 2.5, PM10, ...)

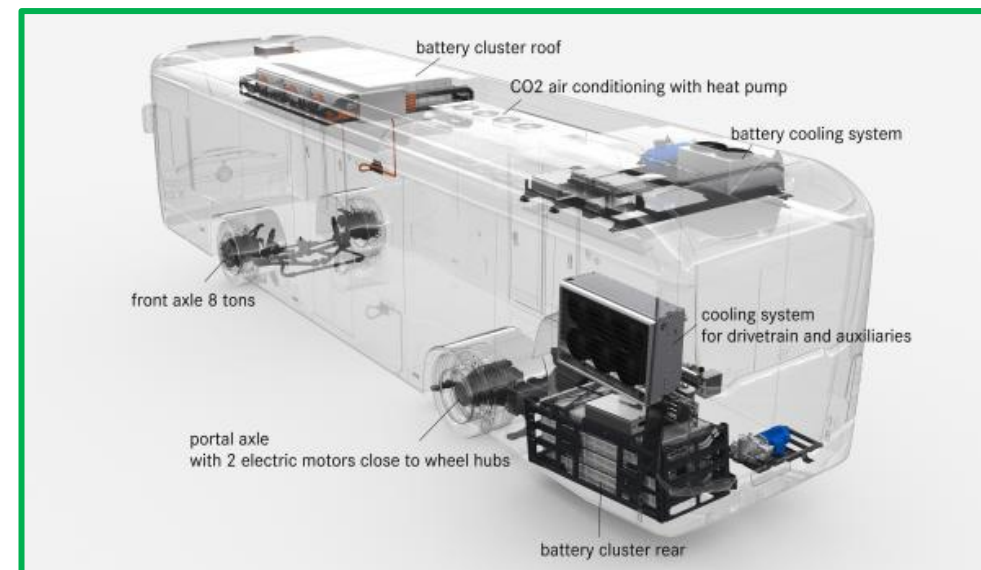


VINCOLI E PROSPETTIVE DI SVILUPPO – I VEICOLI E LE BATTERIE

Per alimentare i sistemi interni agli autobus, i BEB utilizzano **pacchi batteria**, che si differenziano principalmente per capacità e chimica:

- **Capacità** : generalmente compresa nell'intervallo 240-320 kWh, ricerca e sviluppo porteranno ad ampliare il range di capacità delle batterie.

- **Chimica** : differenti categorie, le batterie più comuni appartengono alla categoria **Nickel-Manganese-Cobalto (NMC)**, più utilizzata dai costruttori europei, o **Litio-Ferro-Fosfato (LFP)**, prodotta in particolare da costruttori cinesi e tipicamente utilizzata nei casi in cui si opta per la ricarica notturna dell'autobus in deposito.



* Nota: a differenza delle automobili elettriche, lo spazio per la localizzazione della batteria su un autobus non è così limitato. La scelta dell'una o dell'altra tipologia di chimica deve quindi essere funzionale alla massimizzazione della vita utile della stessa.

VINCOLI E PROSPETTIVE DI SVILUPPO – I VEICOLI E LE BATTERIE

La **durata della batteria** dipende dalla chimica e dall'utilizzo che ne viene fatto.

Tipicamente la vita della batteria è **funzione del numero di cicli di carico/scarico**. Il degrado della batteria dipende principalmente dalle continue reazioni chimiche che si verificano all'interno della stessa, sia dipendenti che indipendenti dall'utilizzo, e che possono essere aggravate da condizioni esterne gravose (quali temperature molto basse o molto alte).

La **vita utile media di una batteria**, funzione della regolarità e delle condizioni di utilizzo della stessa, oscilla **tra i 7 e i 10 anni**.

Tema: *‘cosa fare con le batterie al termine della loro vita ?’*

In generale, in funzione del loro stato, queste possono essere **riciclate** o **utilizzate per finalità second-life** (es., storage stazionario in impianti di produzione di energia rinnovabile)

VINCOLI E PROSPETTIVE DI SVILUPPO – I VEICOLI E LE PRESTAZIONI

PRESTAZIONI DEI BEB

BEB a lungo raggio

Hanno **pacchi batteria più grandi** per massimizzare l'autonomia del mezzo e possono utilizzare batterie per **ricariche lente a bassa potenza**. Questi autobus vengono ricaricati una o due volte al giorno. La ricarica completa, in funzione della potenza erogata, può richiedere fino a 8 ore.

Capacità batteria	250 – 650 kWh
Autonomia in servizio	Circa 150 km con singola carica
Infrastruttura di ricarica richiesta	50-150 kW (generalmente carica notturna)

BEB a ricarica rapida

Hanno **pacchi batteria più piccoli** in grado di **ricaricare frequentemente e ad alta potenza** (minor tempo di ricarica). In genere si ricaricano più volte al giorno e potrebbero non doversi fermare per una ricarica completa nel caso di distribuzione capillare dell'infrastruttura di ricarica sul territorio

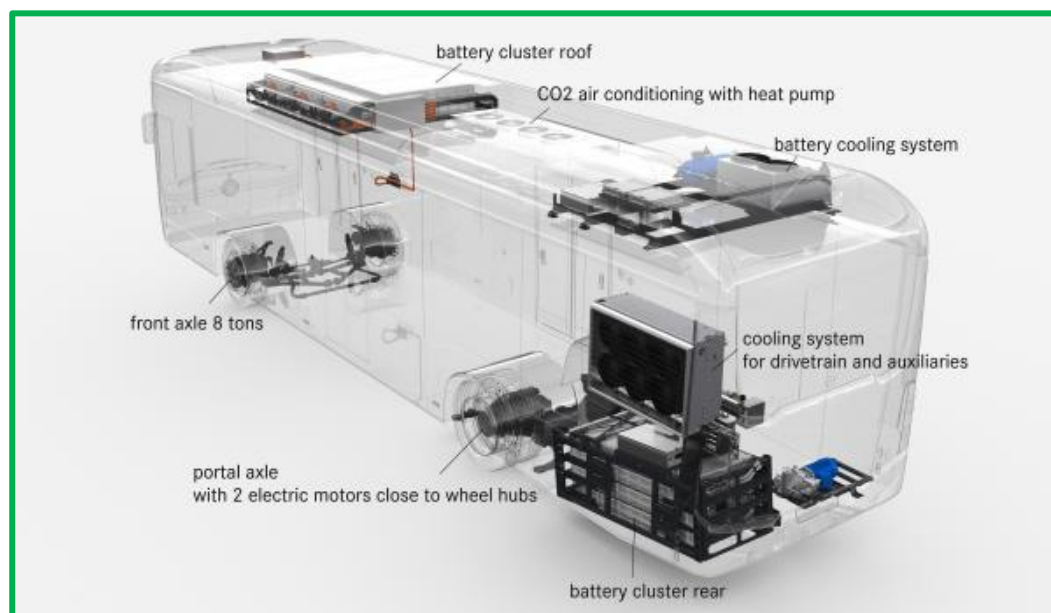
Capacità batteria	50 – 250 kWh
Autonomia in servizio	Nessuna limitazione nel caso di infrastruttura di ricarica capillare
Infrastruttura di ricarica richiesta	150-600 kW (es. pantografo)

VINCOLI E PROSPETTIVE DI SVILUPPO – I VEICOLI: BEB VS FCB

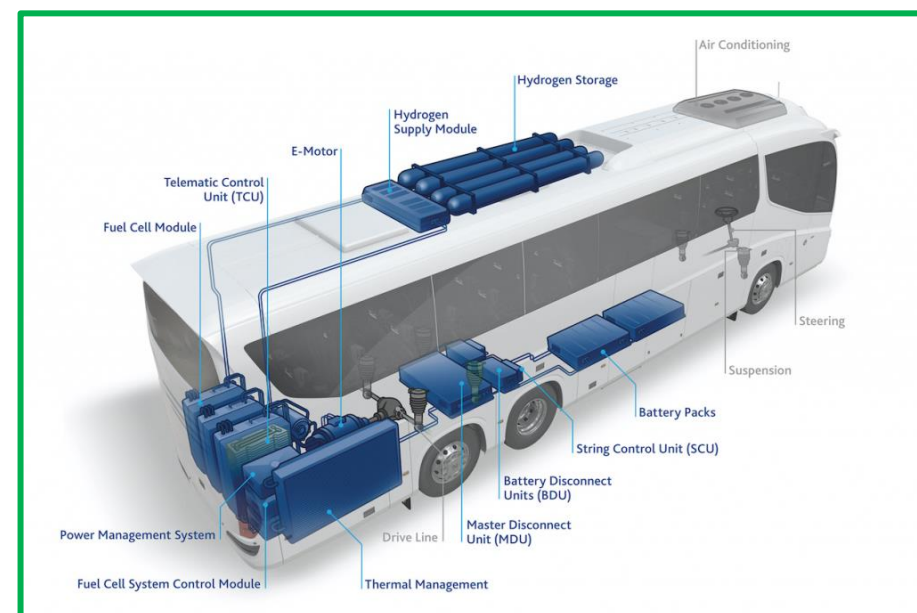
Bus elettrici a batteria (**BEB**) vs bus elettrici a celle a combustibile a idrogeno (**Fuel Cell Bus – FCB**)

Entrambi i sistemi presentano un motore elettrico, ma i FCB contengono una pila a combustibile che combina idrogeno e ossigeno presente nell'aria per produrre energia elettrica direttamente a bordo dell'autobus

Configurazione tipo **BEB**



Configurazione tipo **FCB**



VINCOLI E PROSPETTIVE DI SVILUPPO – I VEICOLI: BEB VS FCB

Bus elettrici a batteria (**BEB**) vs bus elettrici a celle a combustibile a idrogeno (**Fuel Cell Bus – FCB**)

I Fuel Cell Buses hanno una autonomia paragonabile ai tradizionali veicoli diesel.

L'idrogeno, al pari del metano, è *immagazzinato in bombole* di elevate dimensioni (a causa della bassa densità dell'idrogeno stesso) a bordo dei mezzi.

Gli autobus attualmente sul mercato adottano soluzioni da 5 a 8 bombole per una *autonomia media che oscilla tra i 350 e 450 km*.

I tempi di rifornimento, benché molto minori rispetto ai BEB con ricarica lenta a bassa potenza, sono maggiori rispetto ad un bus diesel tradizionale a causa del controllo costante di temperatura, pressione e stato di carica durante la fase di rifornimento.



VINCOLI E PROSPETTIVE DI SVILUPPO – L'INFRASTRUTTURA DI RICARICA

Per i bus elettrici a batteria si distinguono quattro macro tipologie per la ricarica:

- **Depot Charging** (ricarica veloce o lenta in deposito)
- **Opportunity Charging tramite pantografo** (ai capolinea e/o ad alcune fermate)
- **Flash Charging**

VINCOLI E PROSPETTIVE DI SVILUPPO – L'INFRASTRUTTURA DI RICARICA

RICARICA IN DEPOSITO (**DEPOT CHARGING**)

L'autobus viene ricaricato *generalmente durante le ore notturne*.

La ricarica può avvenire mediante *cavo collegato all'infrastruttura di ricarica* (connettore plug-in CCS2), sia per mezzo di *un pantografo* solitamente montato sul bus

Potenza infrastruttura di ricarica tra i 30 kW e i 150 kW.

Tempo medio di ricarica tra le 5 e le 8 ore.

La capacità della batteria dei bus che adottano la ricarica in deposito è dimensionata per garantire accumulo energetico idoneo per effettuare le intere percorrenze programmate.

Può essere associata a ricariche occasionali lungo il percorso (fermate o capolinea)



VINCOLI E PROSPETTIVE DI SVILUPPO – L'INFRASTRUTTURA DI RICARICA

RICARICA IN DEPOSITO (DEPOT CHARGING)

Vantaggi	Svantaggi
▪ Minori costi per le colonnine e manutenzione più semplice ▪ Soluzione scalabile per ampi parchi di veicoli ▪ Design delle tracciato della linea flessibile ▪ I bus non sono vincolati a seguire un particolare tragitto ▪ Ricaricando in notturna, posso avere un significativo risparmio sui costi dell'elettricità	▪ Ricarica lenta ▪ È richiesto del personale per attaccare / staccare i cavi (se plug in) ▪ La ricarica contemporanea di più mezzi in un singolo deposito può generare picchi di domanda di energia elettrica



VINCOLI E PROSPETTIVE DI SVILUPPO – L'INFRASTRUTTURA DI RICARICA

RICARICA CON PANTOGRAFO (OPPORTUNITY CHARGING)

L'autobus viene ricaricato *al capolinea e/o ad alcune fermate lungo il percorso.*

La ricarica ad alta potenza avviene con connessione automatica al tetto del veicolo.

Tempo medio di ricarica tra 5 e 6 minuti (compatibile con i tempi di fermo dei bus al capolinea).

Potenza infrastruttura di ricarica tra i 150 kW e i 600 kW.

Pacco batterie generalmente contenuto per capacità e dimensione. Non è necessaria generalmente di piena ricarica, ma solo dell'energia necessaria fino al prossimo passaggio al pantografo.



VINCOLI E PROSPETTIVE DI SVILUPPO – L'INFRASTRUTTURA DI RICARICA

RICARICA CON PANTOGRAFO (OPPORTUNITY CHARGING)

Vantaggi

- I costi dell'infrastruttura possono incidere meno perché pochi caricatori possono essere utilizzati da molti mezzi
- Connessione del pantografo automatica
- Il bus non deve essere spento per essere ricaricato
- Questa modalità di ricarica riduce la capacità dei sistemi di storage all'interno del veicolo
- Maggior portata passeggeri, dovuta a minor peso / spazio occupato dalle batterie

Svantaggi

- Ricarica ad altissima potenza che può generare picchi di domanda di energia elettrica
- Difficoltà di manutenzione per pantografi distribuiti sul territorio
- La ricarica ad altissima potenza può usurare più velocemente la batteria del veicolo



VINCOLI E PROSPETTIVE DI SVILUPPO – L'INFRASTRUTTURA DI RICARICA

RICARICA CON PANTOGRAFO (**FLASH CHARGING**)

Così come per l'opportunity charging, l'autobus viene ricaricato *al capolinea e/o ad alcune fermate lungo il percorso*.

Ha gli stessi vantaggi e svantaggi dell'opportunity charging, ma *varia per i tempi di ricarica*.

Le ricariche possono essere *veloci (5-6 minuti*, tipicamente al capolinea) o *velocissime (20-30 secondi*, nelle fermate attrezzate).

Generalmente il pacco batterie del bus è composto da *batterie di tipo 'tradizionale'* e da *supercapacitori* (prestazioni elevate, peso contenuto, non sensibili alle condizioni atmosferiche, pensato per le ricariche flash).



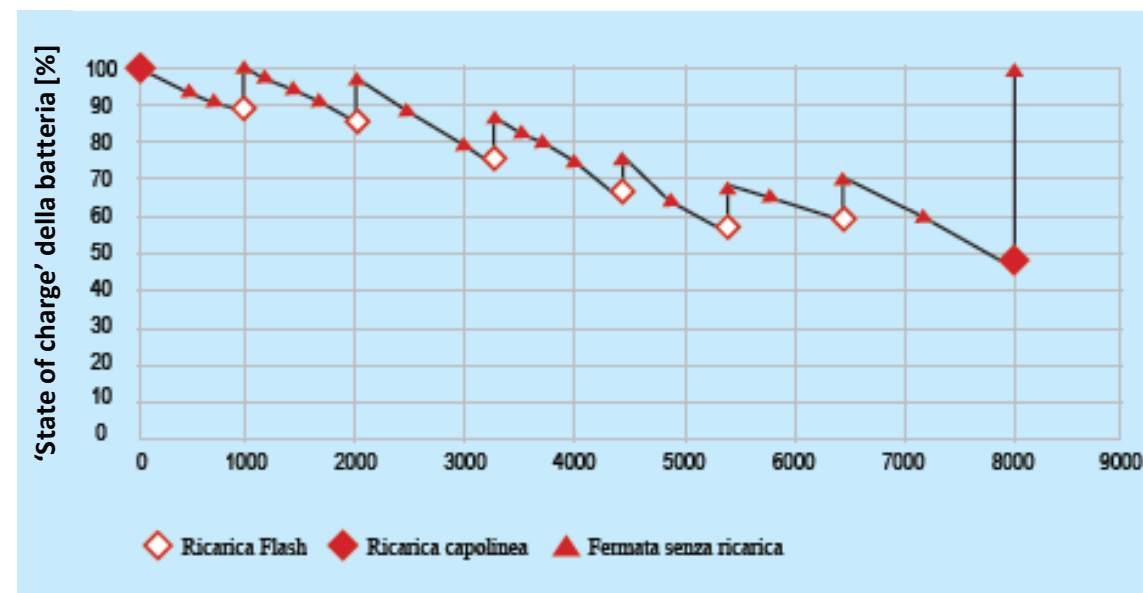
VINCOLI E PROSPETTIVE DI SVILUPPO – L'INFRASTRUTTURA DI RICARICA

RICARICA CON PANTOGRAFO (FLASH CHARGING)

La ricarica flash permette di avere ***sempre uno stato di carica della batteria oltre il 50%***, permettendo quindi una ricarica completa al capolinea in tempi molto contenuti (3-4 minuti).

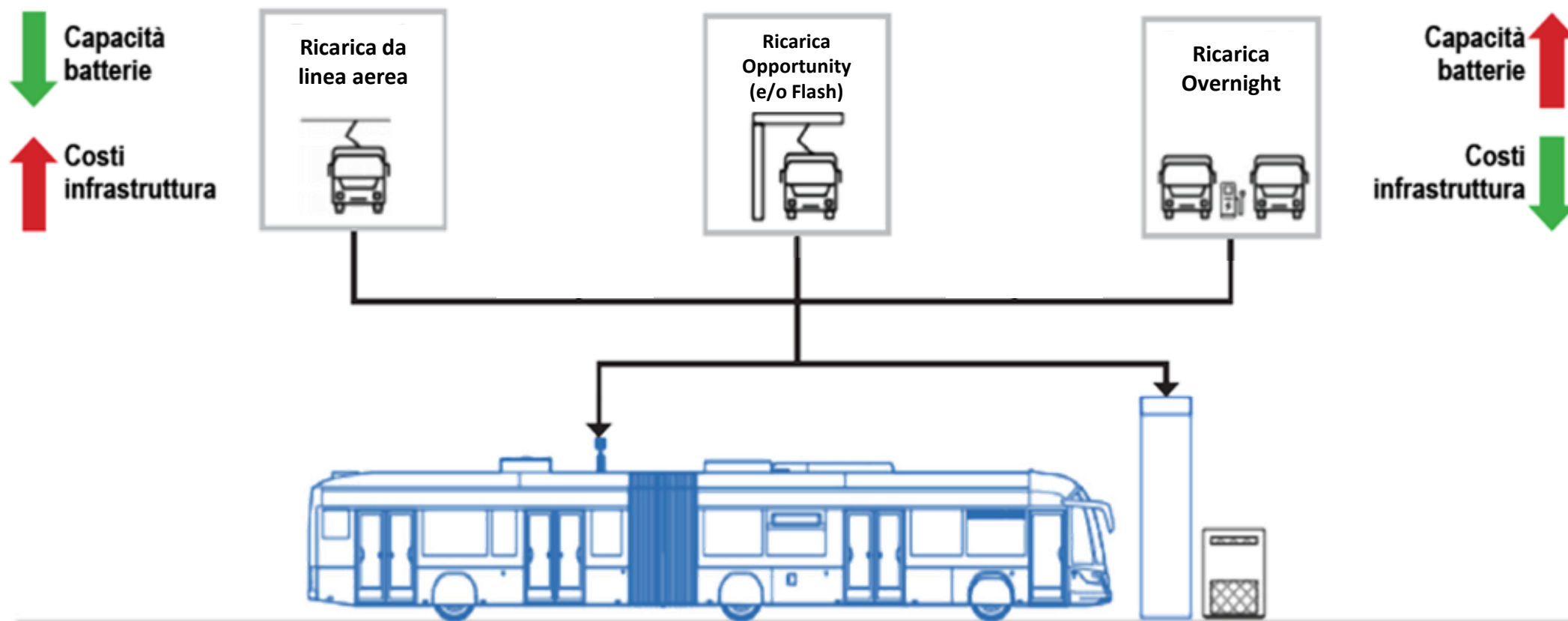
Con questo sistema ***si elimina potenzialmente il vincolo relativo all'autonomia del veicolo***. L'autonomia diviene virtualmente infinita, senza alcun impatto sul servizio rispetto a bus tradizionali diesel:

- ***3 – 4 minuti di ricarica al capolinea sono inferiori al tempo di riposo tipico dell'autista;***
- ***20-30 secondi di ricarica flash alle fermate sono compatibili con i tempi di salita/discesa dei passeggeri.***



VINCOLI E PROSPETTIVE DI SVILUPPO – L'INFRASTRUTTURA DI RICARICA E LE BATTERIE

COSTO DELL'INFRASTRUTTURA DI RICARICA E CAPACITÀ DELLE BATTERIE SONO INVERSAMENTE PROPORZIONALI



VINCOLI E PROSPETTIVE DI SVILUPPO – STRATEGIE DI RICARICA

Strategy	Depot Overnight only
Charger type	Depot: 30 up to 150 kW (for buses with high range)
Charging technology	☎ Mostly plug-in
Load profile (illustrative)	
Typical range	100-250 km/day
Cost drivers	1 Higher battery cost 2 Lower charging infrastructure cost, unless an expensive depot charger of 100+ kW is required to fully recharge during night (instead of cheaper 30-50 kW)

Strategy	Opportunity Overnight and mid-day recharging
Charger type	Depot: 30-50 kW Opportunity: 150/300/450/600 kW (e.g. at end-stop or terminal)
Charging technology	⤴ Mostly pantograph ☎ Plug-in (less common) ⚡ Induction (less common)
Load profile (illustrative)	
Typical range	200-500 km/day
Cost drivers	1 Lower battery cost 2 Higher charging infrastructure cost 3 Slightly higher maintenance cost

VINCOLI E PROSPETTIVE DI SVILUPPO – STRATEGIE DI RICARICA

La scelta della strategia di ricarica si influenza vicendevolmente con i seguenti fattori:

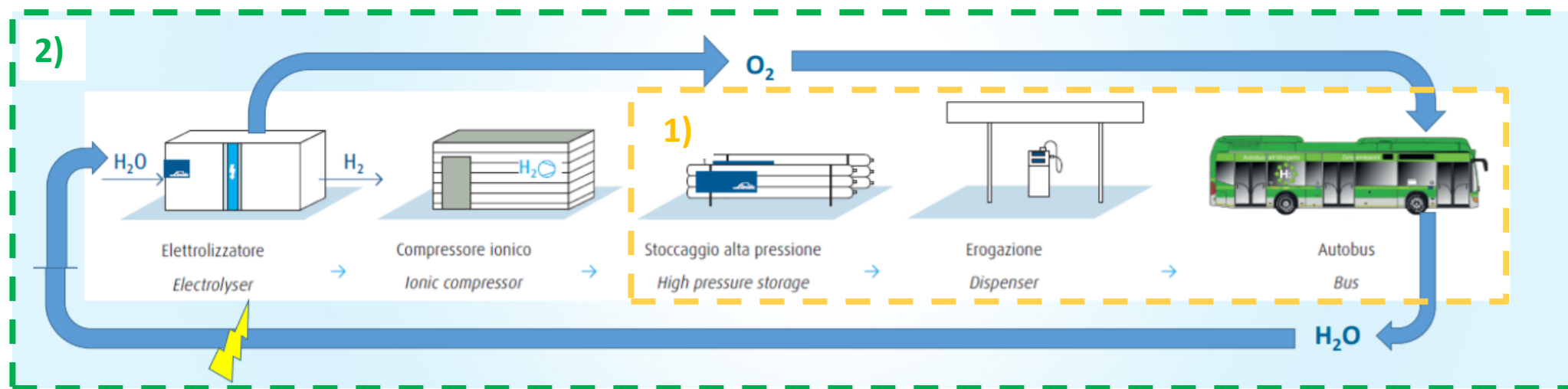
- **Dimensioni della flotta;**
- **Caratteristiche del percorso** (velocità, pendenza, numero di fermate);
- **Tabelle orarie del servizio;**
- **Capacità elettrica disponibile in deposito, lungo il percorso e alle fermate/capolinea;**
- **Lunghezza e durata del viaggio;**
- **Carico medio passeggeri;**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

VINCOLI E PROSPETTIVE DI SVILUPPO – L'INFRASTRUTTURA DI RIFORNIMENTO H₂

L'infrastruttura di rifornimento di idrogeno è funzione di della produzione/distribuzione dello stesso.

Le casistiche possono essere:

1. **Compro l'idrogeno e questo viene trasportato in deposito per mezzo di carri bombolai**
2. **Produco l'idrogeno, tramite elettrolisi, direttamente in deposito**



3. *(in fase di sperimentazione)* Compro l'idrogeno e questo viene trasportato in deposito per mezzo della rete di gasdotti esistente (mix con gas naturale, al massimo al 20% del volume). È necessario un impianto di decompressione/separazione in deposito

LA MOBILITÀ ELETTRICA

OPPORTUNITÀ, VINCOLI E PROSPETTIVE PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE

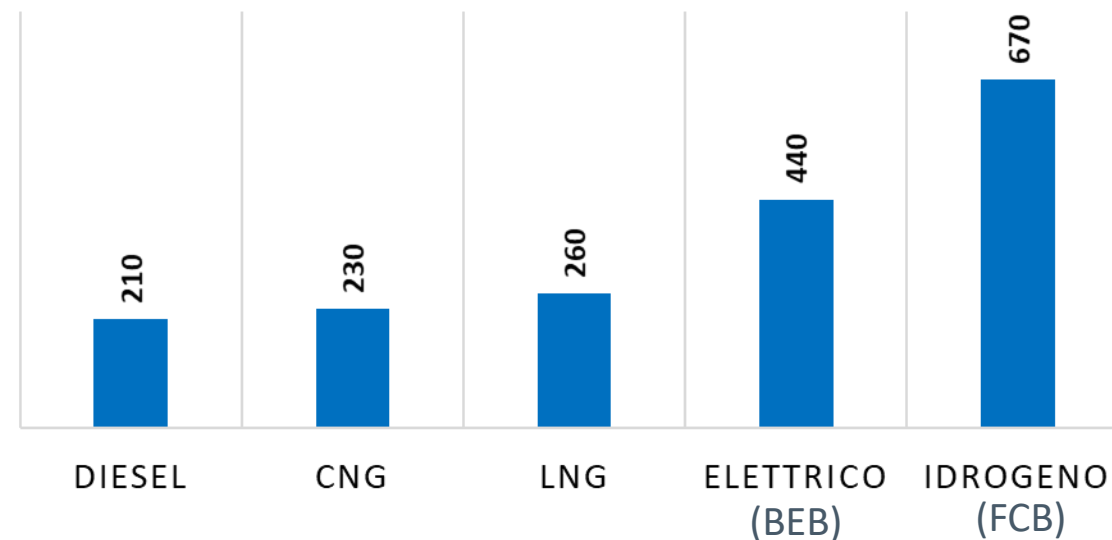
- La transizione energetica nel TPL
 - I numeri del TPL in Italia
 - Politiche EU e ITA
 - Fondi per il rinnovo delle flotte di autobus
- Vincoli e prospettive di sviluppo della tecnologia
 - Veicoli (batterie, prestazioni, ...)
 - Infrastruttura di ricarica
- Costi della transizione e impatti energetico-ambientali
- Casi Studio
 - Progetto di una linea elettrica di Bus Rapid Transit (BRT)
 - Valutazione ciclo-vita di scenari di rinnovo di una flotta di autobus

COSTI DELLA TRANSIZIONE – I VEICOLI



COSTO ACQUISTO VEICOLO [€*1000/BUS]

* Con riferimento ad un autobus 12 m per servizio urbano



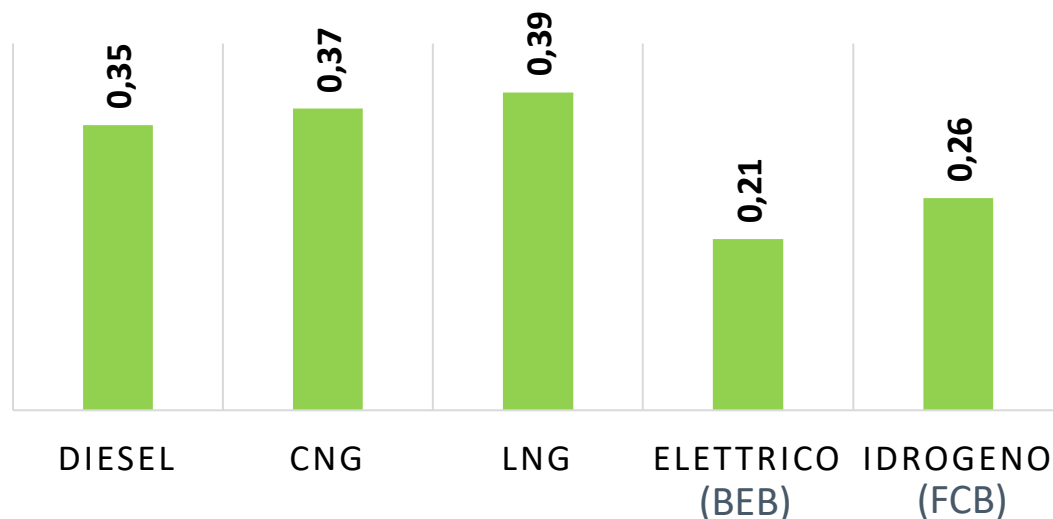
Con riferimento al mercato odierno:

- un autobus ***elettrico a batteria*** costa ***circa il doppio*** di un omologo con trazione diesel
- un autobus a ***celle a combustibile ad idrogeno*** costa ***circa il triplo*** di un omologo con trazione diesel

COSTI DELLA TRANSIZIONE – I VEICOLI

COSTI MANUTENZIONE VEICOLO [€/KM]

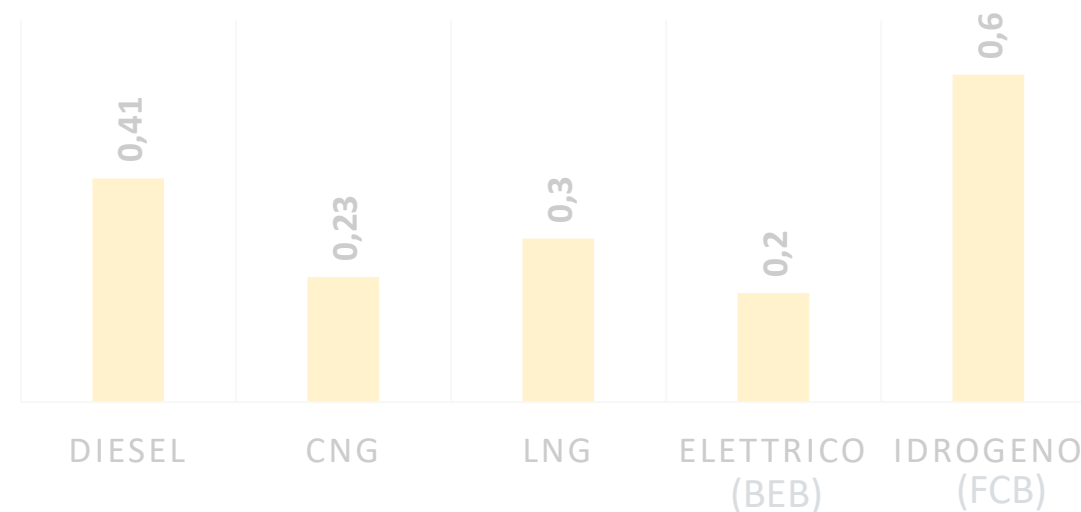
* Con riferimento ad un autobus 12 m per servizio urbano



Le **motorizzazioni elettriche (BEB e FCB)** hanno costi di **manutenzione minori** rispetto ad un veicolo tradizionale diesel grazie alla struttura della motorizzazione stessa (minori organi di strisciamento, minore attrito meccanico, minore usura delle componenti)

CONSUMI [€/KM]

* Con riferimento ad un autobus 12 m per servizio urbano

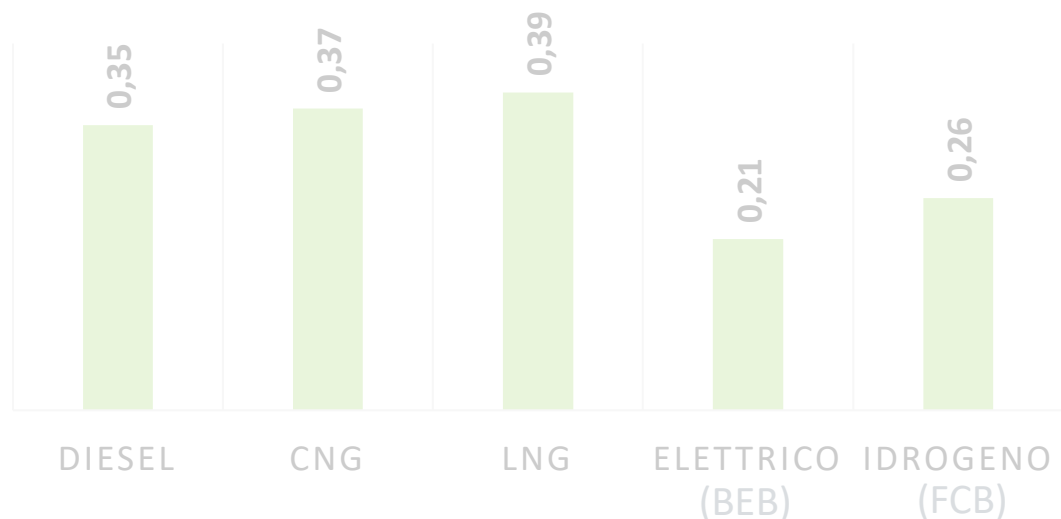


I consumi sono funzione della tipologia di trazione e del costo dell'energia (fortemente variabile in funzione delle condizioni del mercato). I **bus elettrici a batteria dimezzano circa il costo associato ai consumi del diesel** (nell'ipotesi di circa 0.13 €/kWh, e consumi medi circa 1.5 kWh/km). I **bus a cella a combustibile a idrogeno sono penalizzati dal costo attuale dell'energia** (circa 7 €/kg, consumi medi circa 0.08 kg/km)

COSTI DELLA TRANSIZIONE – I VEICOLI

COSTI MANUTENZIONE VEICOLO [€/KM]

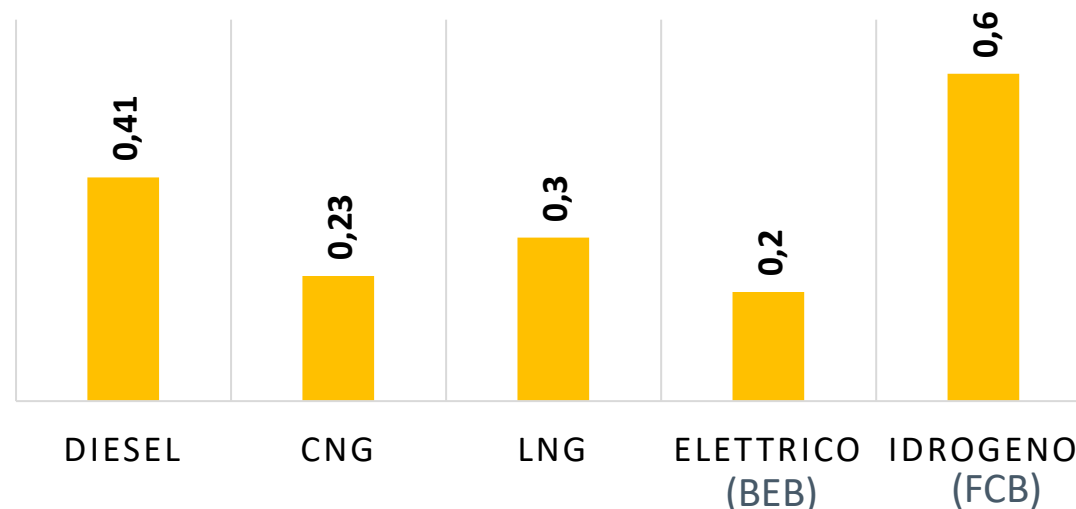
* Con riferimento ad un autobus 12 m per servizio urbano



Le *motorizzazioni elettriche (BEB e FCB)* hanno costi di *manutenzione minori* rispetto ad un veicolo tradizionale diesel grazie alla struttura della motorizzazione stessa (minori organi di strisciamento, minore attrito meccanico, minore usura delle componenti)

CONSUMI [€/KM]

* Con riferimento ad un autobus 12 m per servizio urbano



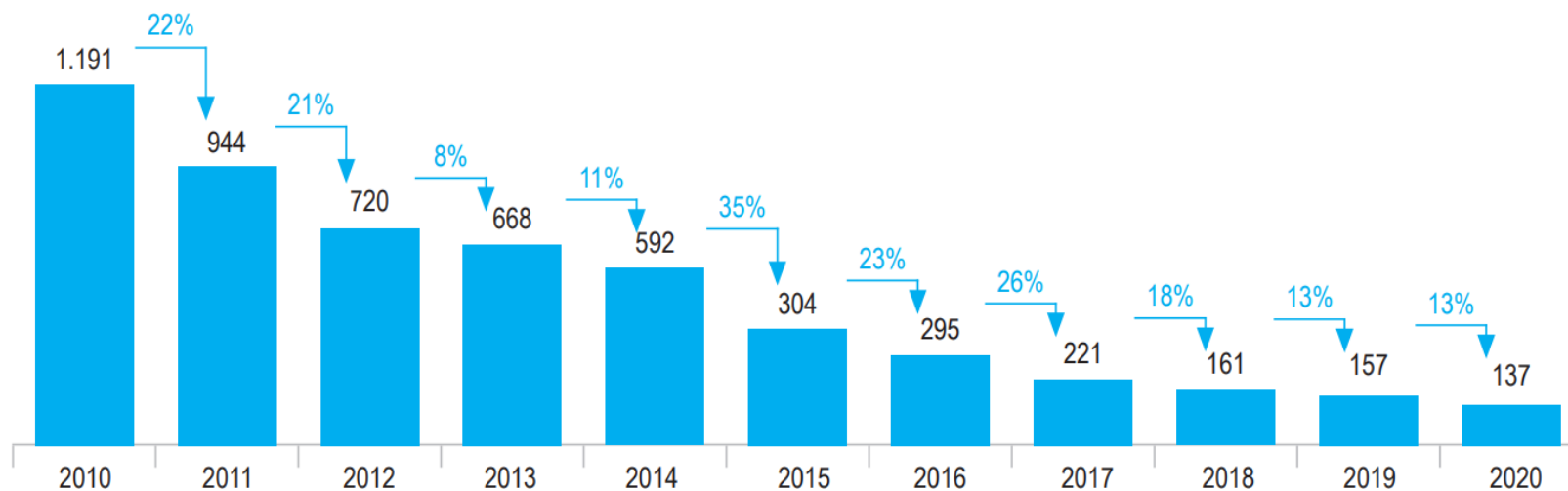
I consumi sono funzione della tipologia di trazione e del costo dell'energia (fortemente variabile in funzione delle condizioni del mercato). I *bus elettrici a batteria dimezzano circa il costo associato ai consumi del diesel* (nell'ipotesi di circa 0.13 €/kWh, e consumi medi circa 1.5 kWh/km). I *bus a cella a combustibile a idrogeno sono penalizzati dal costo attuale dell'energia* (circa 7 €/kg, consumi medi circa 0.08 kg/km)

COSTI DELLA TRANSIZIONE – LE BATTERIE

I prezzi al kWh delle batterie sono diminuiti in maniera importante nel tempo, perché la capacità di produzione è notevolmente aumentata, molto più velocemente della domanda.

Il prezzo al kWh della batteria può variare a seconda della chimica della stessa, ma anche a seconda di fattori geografici. Ad esempio, le batterie per gli e-bus hanno in Cina prezzi molto differenti dal resto del mondo.

In Cina il prezzo medio relativo ai pacchi batteria si aggira intorno a 105 \$/kWh, mentre nel resto del mondo si aggirano mediamente attorno ai 330 \$/kWh.

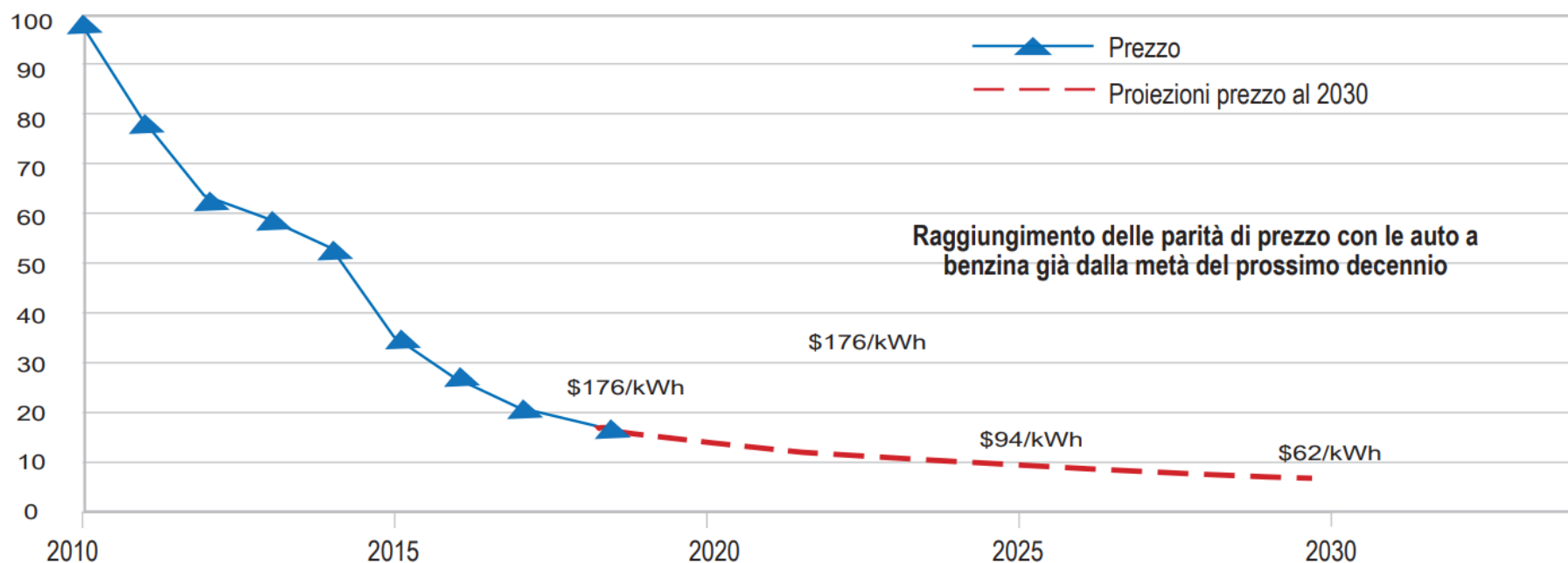


Valori in \$/kWh. Fonte: Bloomberg New Energy Finance

COSTI DELLA TRANSIZIONE – LE BATTERIE

Nonostante la tendenza a ribasso del costo delle batterie non sia in discussione, **le proiezioni di Bloomberg New Energy Finance mostrano come i prezzi non siano necessariamente destinati a scendere considerevolmente di anno in anno.**

Il fattore principale che potrà influenzare (addirittura negativamente) il prezzo al kWh delle batterie è ***l'aumento dei prezzi delle materie prime***: questo dovrà essere bilanciato da un cambio di chimica delle batterie prodotte, oltre ad un aumento di volumi degli ordini.



Fonte: Bloomberg New Energy Finance

COSTI DELLA TRANSIZIONE – L'INFRASTRUTTURA

Esempi di costi per *l'infrastruttura di ricarica di autobus elettrici a batteria* (lotto composto da 10 bus)

→ Depot Overnight Charging



DEPOT CHARGING BEB	Range min-max	Costo medio
Investimento [€*1000/10 bus]	220 - 550	350
Charger [€*1000/ 10 bus]	140 - 550	250
Connection to grid et al [€*1000/ 10 bus]	77 - 115	100
Ratio [bus/charger]	1 - 2	

→ Opportunity Charging

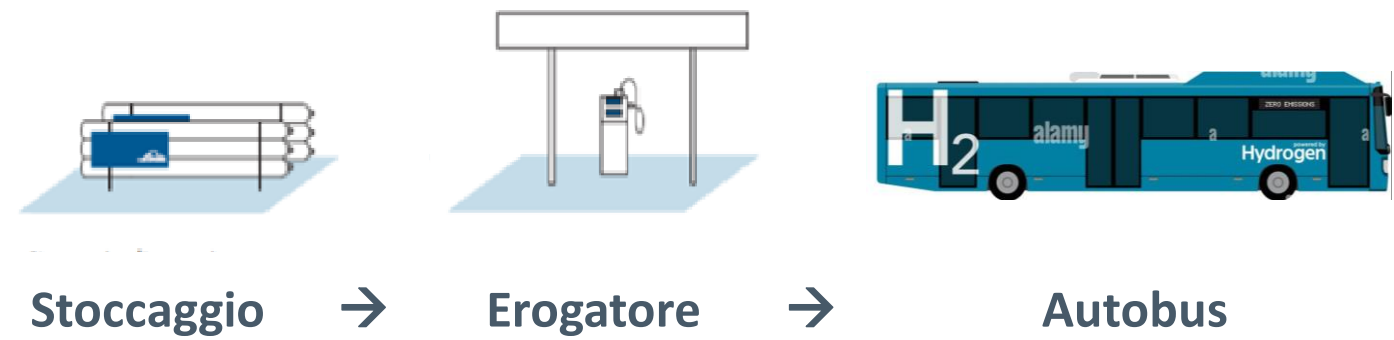


OPPORTUNITY CHARGING BEB	Range min-max	Costo medio
Investimento [€*1000/10 bus]	110 - 1300	750
Charger [€*1000/ 10 bus]	110 - 1200	550
Connection to grid et al [€*1000/ 10 bus]	50 - 370	200
Ratio [bus/charger]	6 - 20	

COSTI DELLA TRANSIZIONE – L'INFRASTRUTTURA

Esempio di costi per *l'infrastruttura di ricarica di autobus a celle a combustibile a idrogeno* (lotto composto da 10 bus)

* schema infrastruttura semplificato



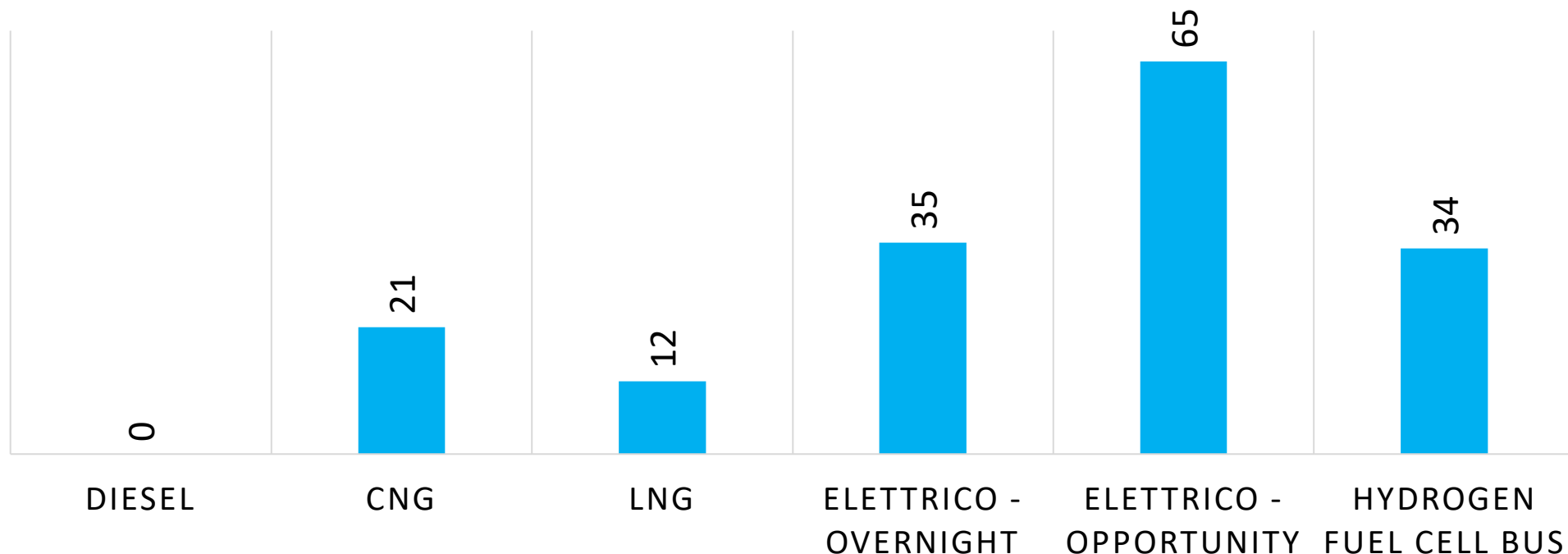
Per un lotto di 10 autobus, il costo può essere assunto pari a circa **340 mila €**

Dettaglio dei costi (con riferimento ad un caso di studio)

Numero autobus riforniti	16	
Vita utile	20	anni
Potenza	800	kW
Consumo specifico energia	55	kWh/kg
Produzione nominale	14	kg/h
Investimento elettrolizzatore	720	€*1000
Manutenzione ordinaria	21.6	€*1000
Manutenzione straordinaria	216	€*1000
Pressione nominale Sistema stoccaggio	440	bar
Capacità nominale Sistema stoccaggio	500	kg
Investimento Sistema di Stoccaggio	500	€*1000
Potenza nominale compressore	50	kW
Investimento Compressore	136.5	€*1000
Manutenzione compressore	6.8	€*1000
Numero compressori	2	
Investimento Erogatore	20	€*1000
Num erogatori	2	

COSTI DELLA TRANSIZIONE – L'INFRASTRUTTURA

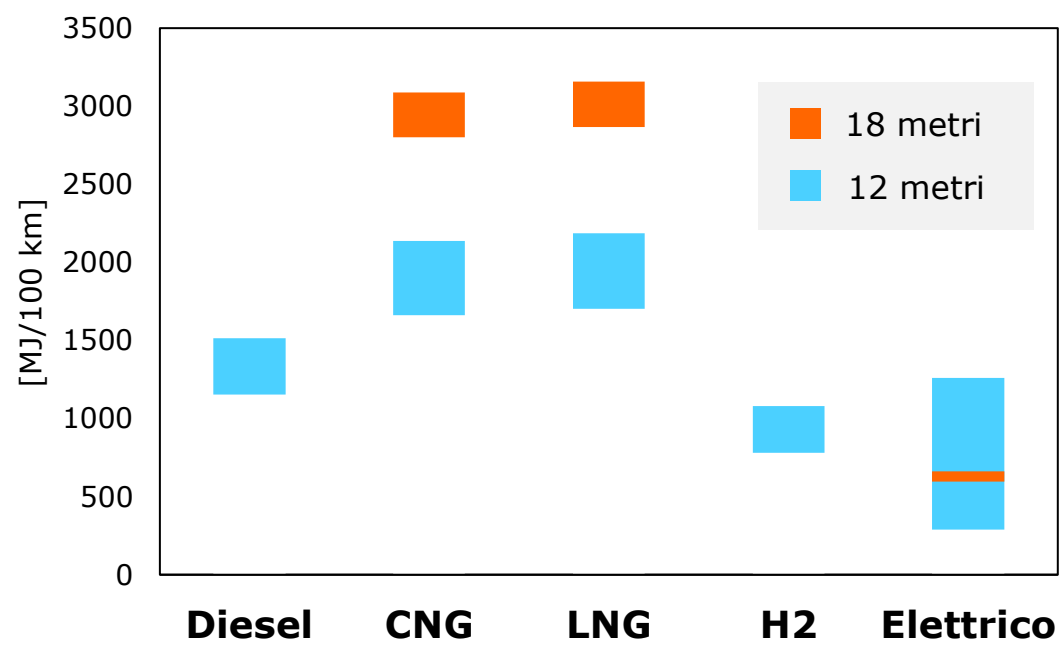
COSTI INFRASTRUTTURA PARAMETRICI [€*1000/BUS]



* I costi fanno riferimento ad un bacino in cui oggi il 100% degli autobus è a trazione diesel. Alla trazione di questo tipo è associato un 'costo della transizione' pari a zero, considerato l'infrastruttura di rifornimento per autobus diesel esiste già (e i costi sono stati già sostenuti)

CONSUMI ENERGETICI

CONSUMO DI ENERGIA PRIMARIA *



Tecnologia	Consumo (12 m)	Consumo (18 m)	Unità di misura
Diesel	32 - 42	70	L/100 km
Gas (CNG / LNG)	35 - 45	59 - 65	kg/100 km
Idrogeno (H ₂) - FCB	6.5 - 9.0		kg/100 km
Elettrico - BEB	80 - 350	165 - 184	kWh/100 km

Il powertrain elettrico risulta essere il più efficiente in riferimento all’energia primaria consumata.

* Consumi che possono includere la variabilità connessa all’uso di ausiliari termici

CONSUMI ENERGETICI

L'analisi è finalizzata al calcolo della variazione dei consumi in base temperatura esterna, pendenza del tracciato e numero di passeggeri.

VARIAZIONE DEI CONSUMI – EFFETTO DELLA TEMPERATURA

Aumento percentuale di consumo (rispetto al range di riferimento 180 kWh/100 km e 250 kWh/100 km)

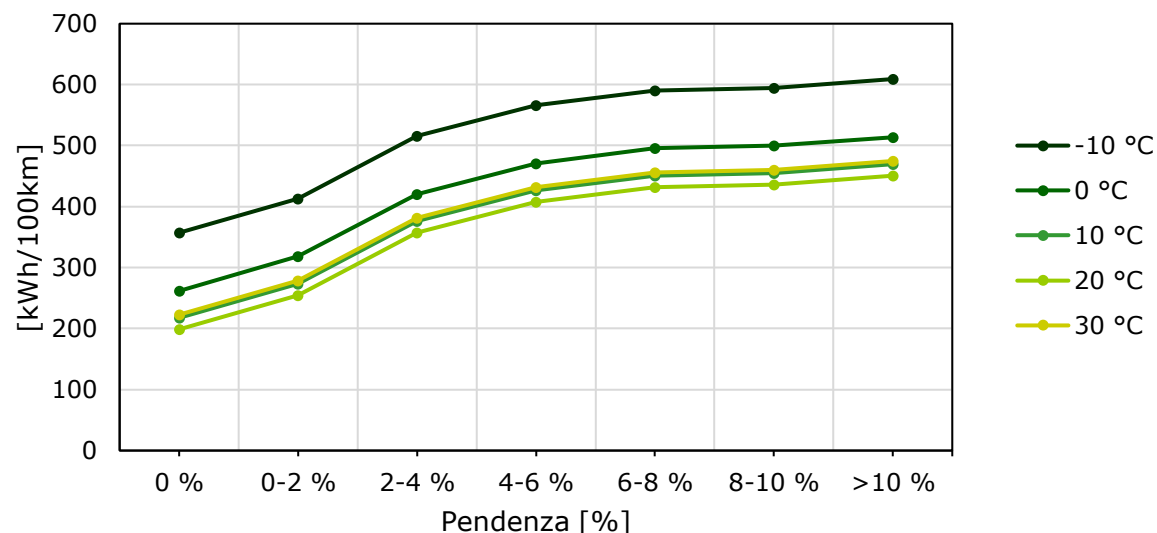
T [°C]	velocità media [km/h]										
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
-10	57 - 64	47 - 55	40 - 48	34 - 42	30 - 38	27 - 34	25 - 31	23 - 29	21 - 27	19 - 25	18 - 23
-5	47 - 55	37 - 45	31 - 38	26 - 33	23 - 29	20 - 26	18 - 24	17 - 22	15 - 20	14 - 18	13 - 17
0	35 - 43	27 - 34	21 - 28	18 - 23	15 - 20	14 - 18	12 - 16	11 - 14	10 - 13	9 - 12	8 - 11
5	24 - 31	17 - 23	14 - 18	11 - 15	10 - 13	8 - 11	7 - 10	7 - 9	6 - 8	5 - 7	5 - 7
10	16 - 21	11 - 15	9 - 12	7 - 10	6 - 8	5 - 7	5 - 6	4 - 6	4 - 5	3 - 5	3 - 4
15	5 - 6	3 - 4	2 - 3	2 - 3	2 - 2	1 - 2	1 - 2	1 - 1	1 - 1	1 - 1	1 - 1
20	5 - 6	3 - 4	2 - 3	2 - 3	2 - 2	1 - 2	1 - 2	1 - 1	1 - 1	1 - 1	1 - 1
25	13 - 18	9 - 13	7 - 10	6 - 8	5 - 7	4 - 6	4 - 5	3 - 5	3 - 4	3 - 4	3 - 3
30	20 - 25	14 - 18	11 - 14	9 - 12	8 - 10	7 - 9	6 - 8	5 - 7	5 - 6	4 - 6	4 - 5
35	29 - 36	21 - 27	17 - 22	14 - 18	12 - 16	10 - 14	9 - 12	8 - 11	7 - 10	7 - 9	6 - 8
40	41 - 50	32 - 40	26 - 33	22 - 28	19 - 25	17 - 22	15 - 20	14 - 18	12 - 16	11 - 15	11 - 14

I carichi termici relativi al sistema di riscaldamento/raffrescamento e il sistema di controllo della temperatura del pacco batterie risultano impattare oltre il 60% del consumo a regime.

CONSUMI ENERGETICI

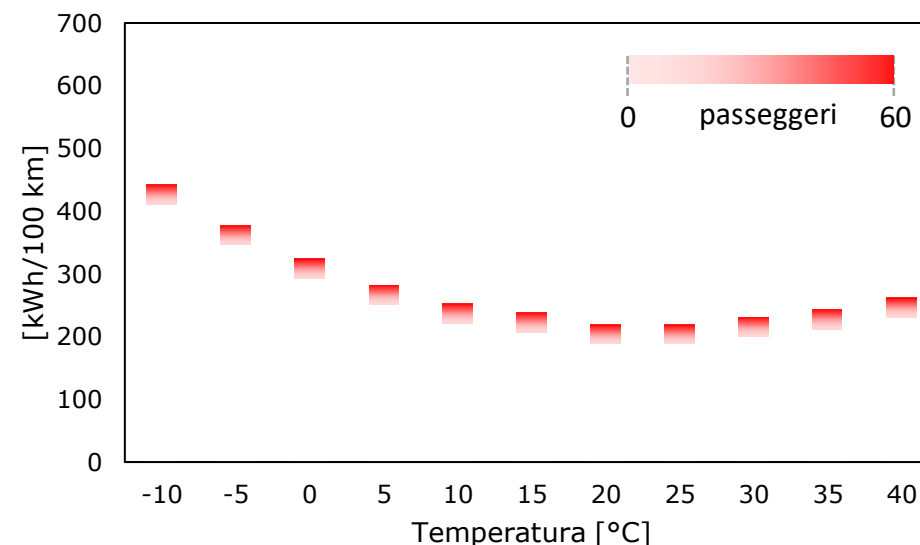
VARIAZIONE DEI CONSUMI – EFFETTO DELLA PENDENZA DEL TRACCIATO E NUMERO DI PASSEGGERI

Consumo elettrico [kWh/100 km]



La pendenza del tracciato risulta avere un effetto marcato sull'incremento dei consumi del veicolo elettrico. Oltre una pendenza media del tracciato del 2-4%, l'autonomia dell'autobus si riduce del 50%.

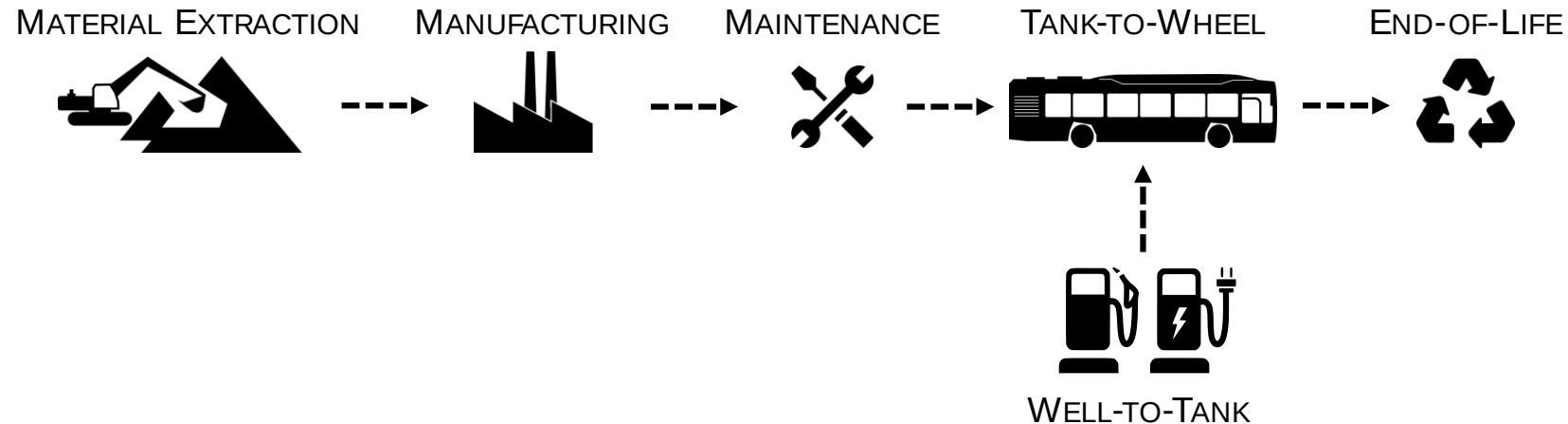
Consumo elettrico [kWh/100 km]



Il numero di passeggeri incide per una aliquota percentuale marginale (massimo il 17%).

IMPATTI AMBIENTALI CICLO-VITA

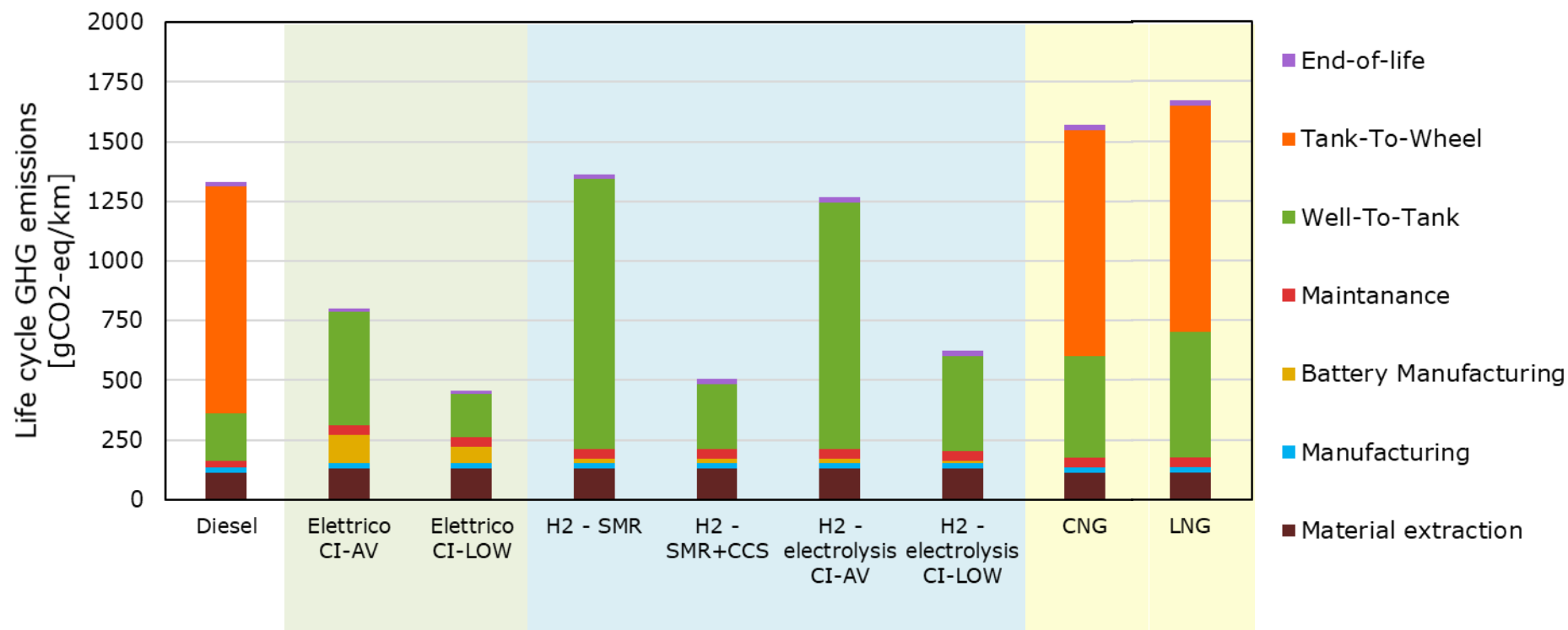
- Calcolo delle **emissioni climalteranti** (Greenhouse Gases) su base ciclo vita per tecnologia selezionata



- Calcolo delle **emissioni dirette** per tecnologia selezionata. Gli **inquinanti** tracciati sono:
 - PM2.5
 - CO
 - NOx



IMPATTI AMBIENTALI CICLO-VITA – EMISSIONI CLIMALTERANTI



CI-AV : intensità carbonica *average* (259 gCO₂-eq/kWh)

CI-LOW : intensità carbonica *low* (100 gCO₂-eq/kWh)

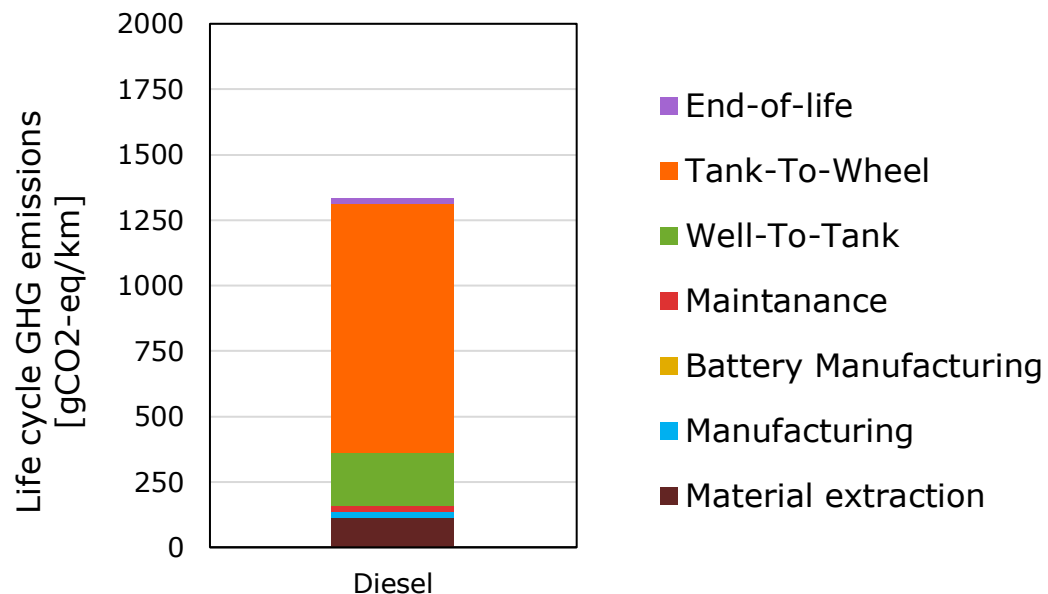
SMR : Steam Methane Reforming

CCS : Carbon Capture & Storage

Average number of passenger : 20

Distanza percorsa di ciclo vita : 800'000 km

IMPATTI AMBIENTALI CICLO-VITA – EMISSIONI CLIMALTERANTI



CI-AV : intensità carbonica *average* (259 gCO₂-eq/kWh)

CI-LOW : intensità carbonica *low* (100 gCO₂-eq/kWh)

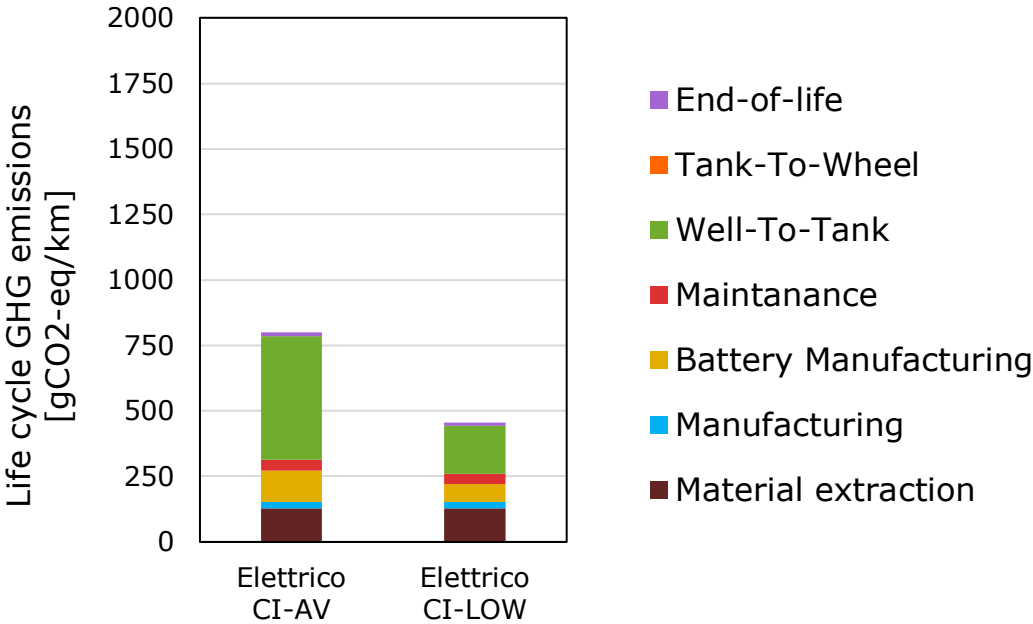
SMR : Steam Methane Reforming

CCS : Carbon Capture & Storage

Assunzioni e parametri:

Combustibile			
	Potere calorifero (LHV)	MJ/L	36
	Conventional Diesel WTT	gCO ₂ eq/MJ	15.4
	Conventional Diesel TTW	gCO ₂ eq/MJ	73.3
Consumo			
	Diesel Bus	L/100km	36

IMPATTI AMBIENTALI CICLO-VITA – EMISSIONI CLIMALTERANTI



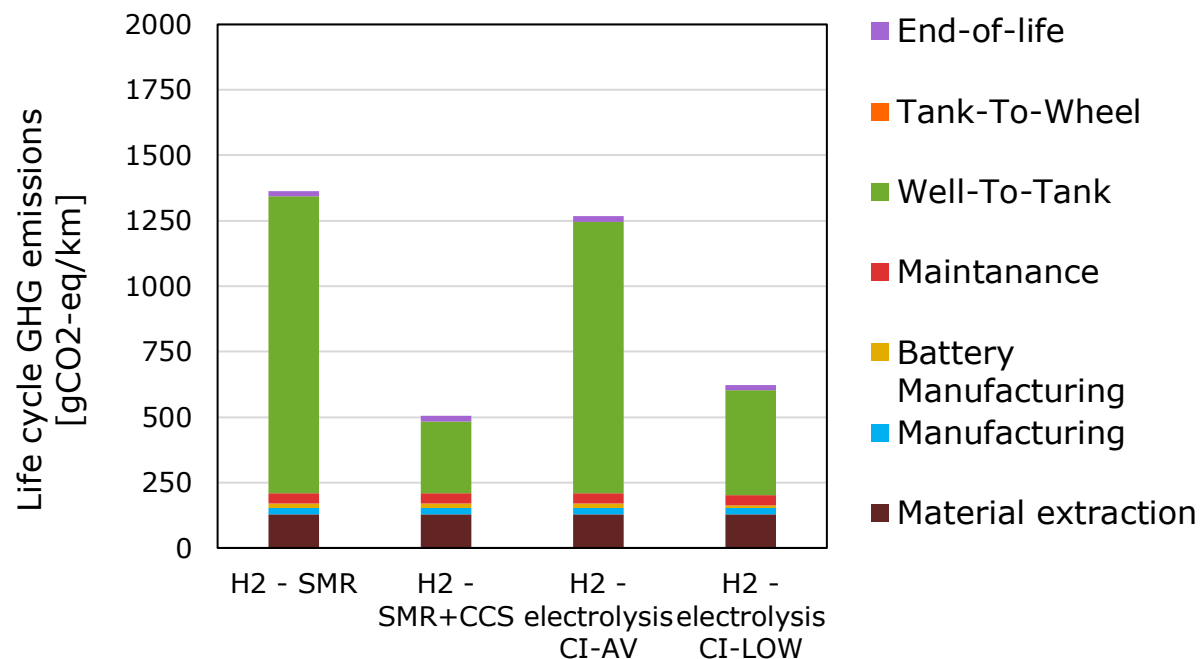
CI-AV : intensità carbonica *average* (259 gCO₂-eq/kWh)
CI-LOW : intensità carbonica *low* (100 gCO₂-eq/kWh)
SMR : Steam Methane Reforming
CCS : Carbon Capture & Storage

Assunzioni e parametri:

Combustibile			
Carbon Intensity Power Generation	gCO ₂ eq/kWh	-	
Charging efficiency	-		0.93
Intensità carbonica per consumo termico	gCO ₂ eq/kWh	281	
Consumo			
Electric Bus	kWh/100km	170	
Batterie			
Pacco batterie	kWh	330	
Sostituzione batterie	km	200'000	
Consumo di elettricità	kWh _{el} /kWh	200	
Consumo termico	kWh _t /kWh	75	

* source: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC85326/wtt_report_v4a_april2014_pubsy.pdf

IMPATTI AMBIENTALI CICLO-VITA – EMISSIONI CLIMALTERANTI



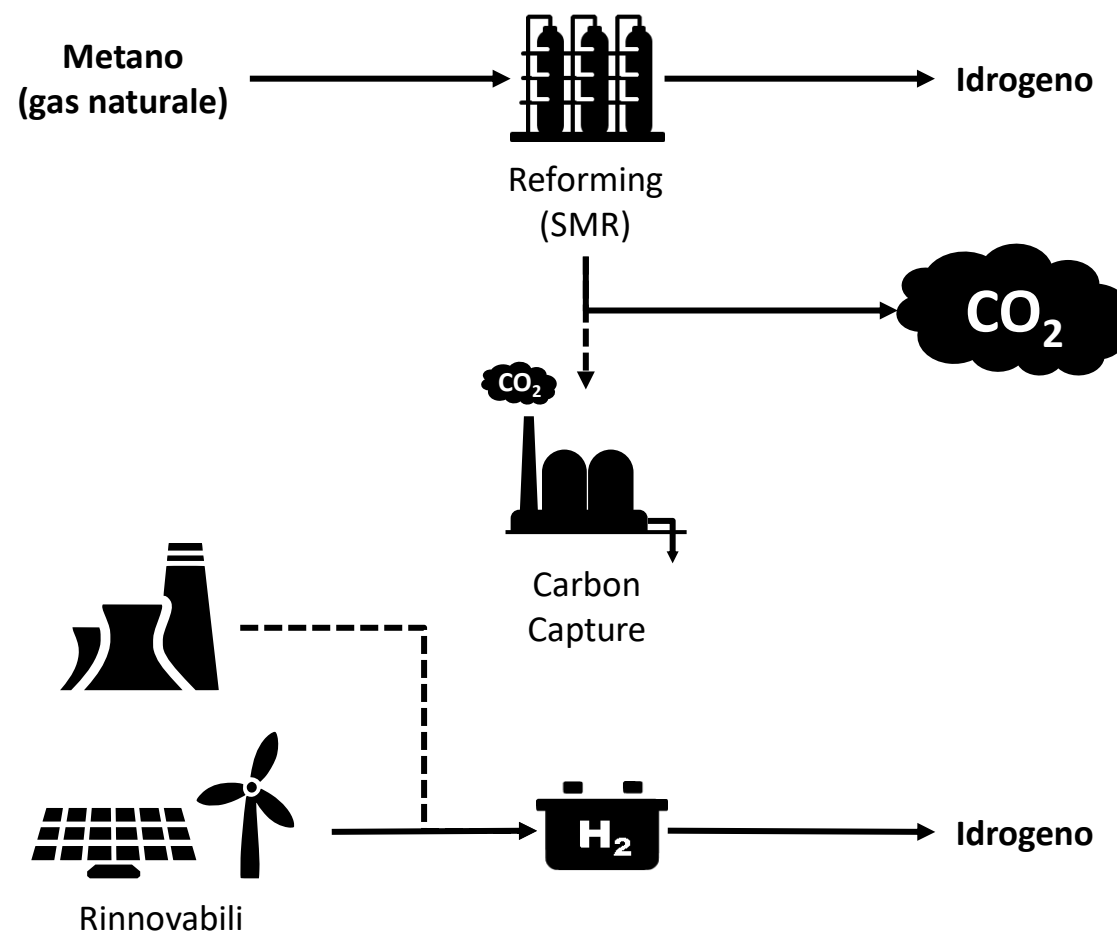
CI-AV : intensità carbonica *average* (259 gCO₂-eq/kWh)

CI-LOW : intensità carbonica *low* (100 gCO₂-eq/kWh)

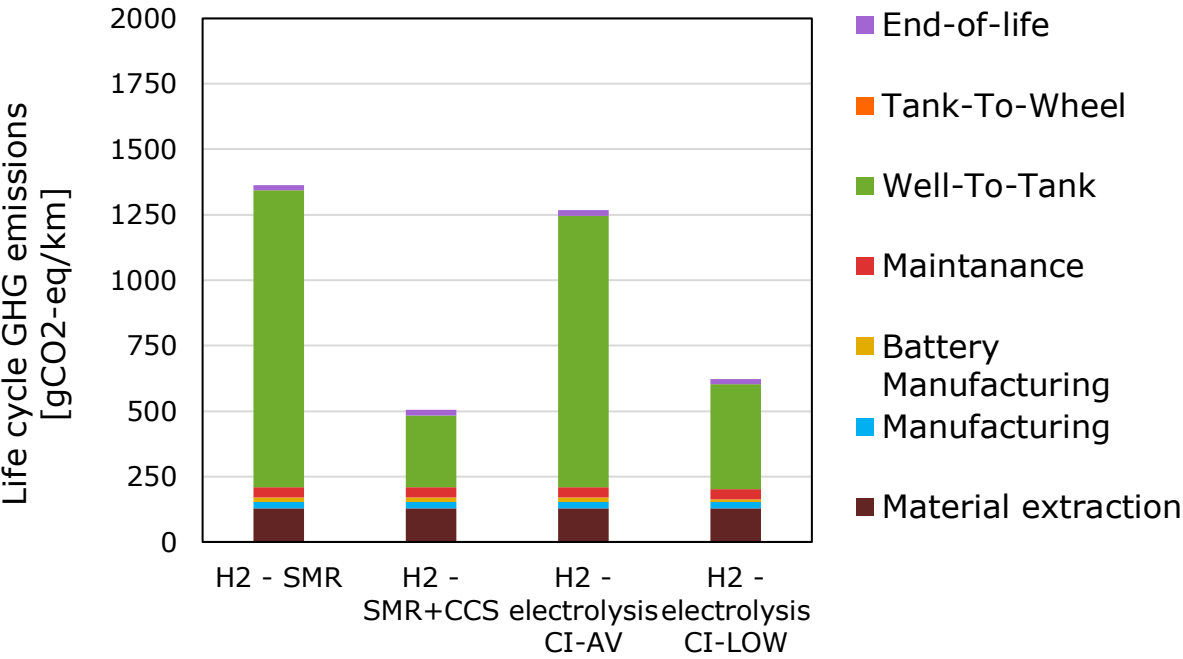
SMR : Steam Methane Reforming

CCS : Carbon Capture & Storage

Produzione di idrogeno:



IMPATTI AMBIENTALI CICLO-VITA – EMISSIONI CLIMALTERANTI



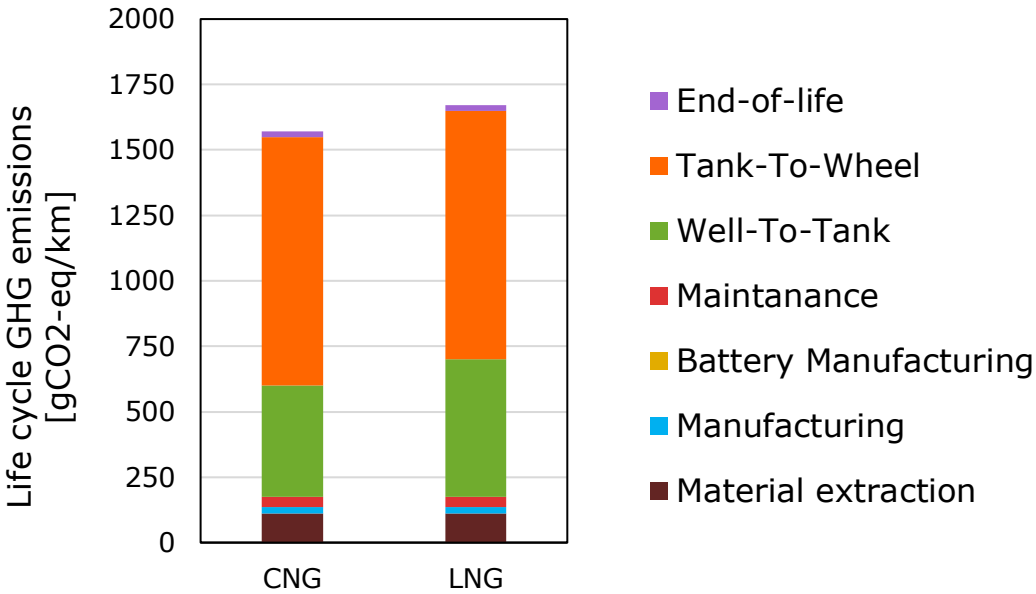
CI-AV : intensità carbonica *average* (259 gCO₂-eq/kWh)
CI-LOW : intensità carbonica *low* (100 gCO₂-eq/kWh)
SMR : Steam Methane Reforming
CCS : Carbon Capture & Storage

Assunzioni e parametri:

Combustibile			
	Idrogeno	MJ/kg	120
	Idrogeno da gas naturale	gCO ₂ eq/MJ	118
	Idrogeno da carbone	gCO ₂ eq/MJ	240
	Carbon Intensity Power Generation	gCO ₂ eq/kWh	-
Consumo			
	Bus a idrogeno	kg/100km	8
Batterie			
	Pacco batterie	kWh	50
	Sostituzione batterie	km	200'000
	Consumo di elettricità	kWh _{el} /kWh	200
	Consumo termico	kWh _t /kWh	75
Altro			
	Efficienza elettrolizzatore	kWh/kg	50
	Consumo CCS	kWh/tonCO ₂	375
	Efficienza rimozione CCS	-	0.84

* source: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC85326/wtt_report_v4a_april2014_pubsy.pdf

IMPATTI AMBIENTALI CICLO-VITA – EMISSIONI CLIMALTERANTI



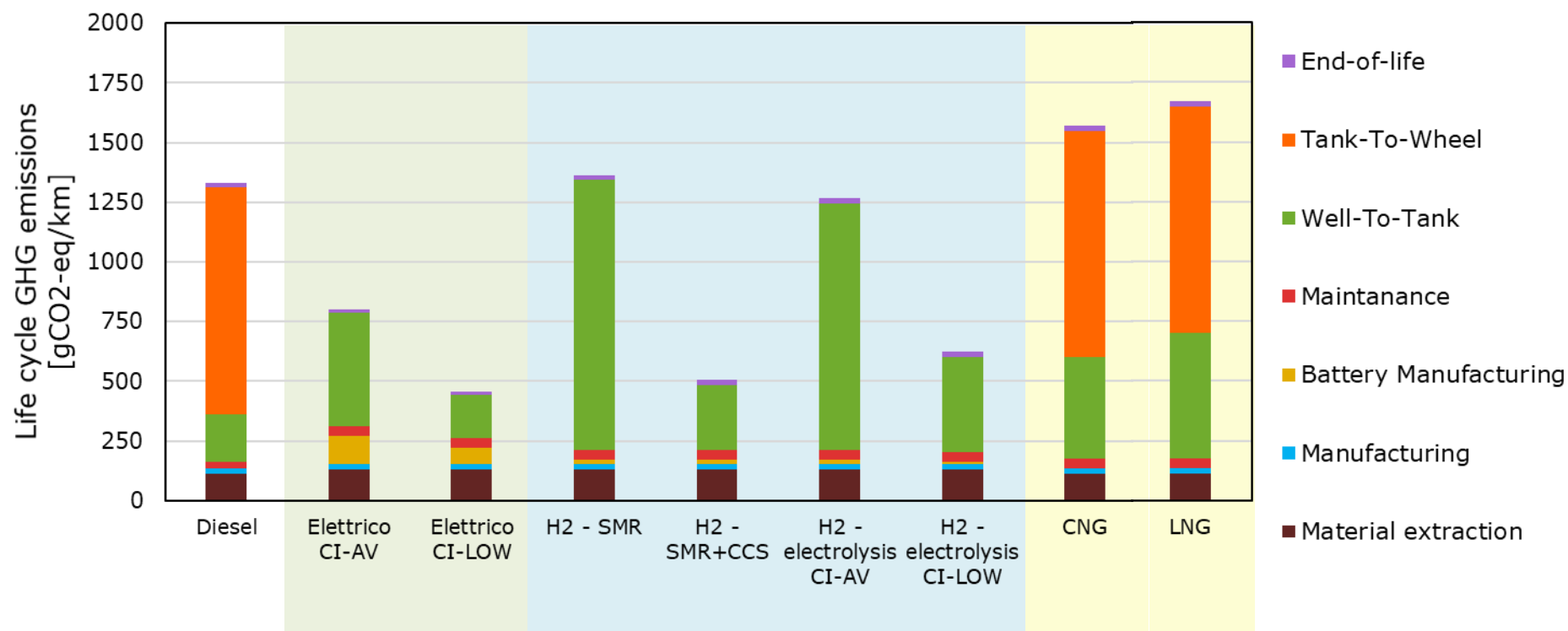
CI-AV : intensità carbonica *average* (259 gCO₂-eq/kWh)
CI-LOW : intensità carbonica *low* (100 gCO₂-eq/kWh)
SMR : Steam Methane Reforming
CCS : Carbon Capture & Storage

Assunzioni e parametri:

Combustibile			
Potere calorifero (LHV) – CNG	MJ/kg		47.5
Potere calorifero (LHV) – LNG	MJ/kg		48.6
LNG - WTT	gCO ₂ eq/MJ		19.3
LNG - WTT CH ₄ leaks	gCO ₂ eq/MJ		11.8
LNG - TTW	gCO ₂ eq/MJ		56.3
CNG - WTT	gCO ₂ eq/MJ		13.1
CNG - WTT CH ₄ leaks	gCO ₂ eq/MJ		12.1
CNG - TTW	gCO ₂ eq/MJ		56.3
CH ₄ leakage/consumo	-		2.3 %
Consumo			
Bus LNG	kg/100km		34.7
Bus CNG	kg/100km		35.5
Extra consumo rispetto al diesel (MJ)	-		0.30

* source: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC85326/wtt_report_v4a_april2014_pubsy.pdf

IMPATTI AMBIENTALI CICLO-VITA – EMISSIONI CLIMALTERANTI



CI-AV : intensità carbonica *average* (259 gCO₂-eq/kWh)

CI-LOW : intensità carbonica *low* (100 gCO₂-eq/kWh)

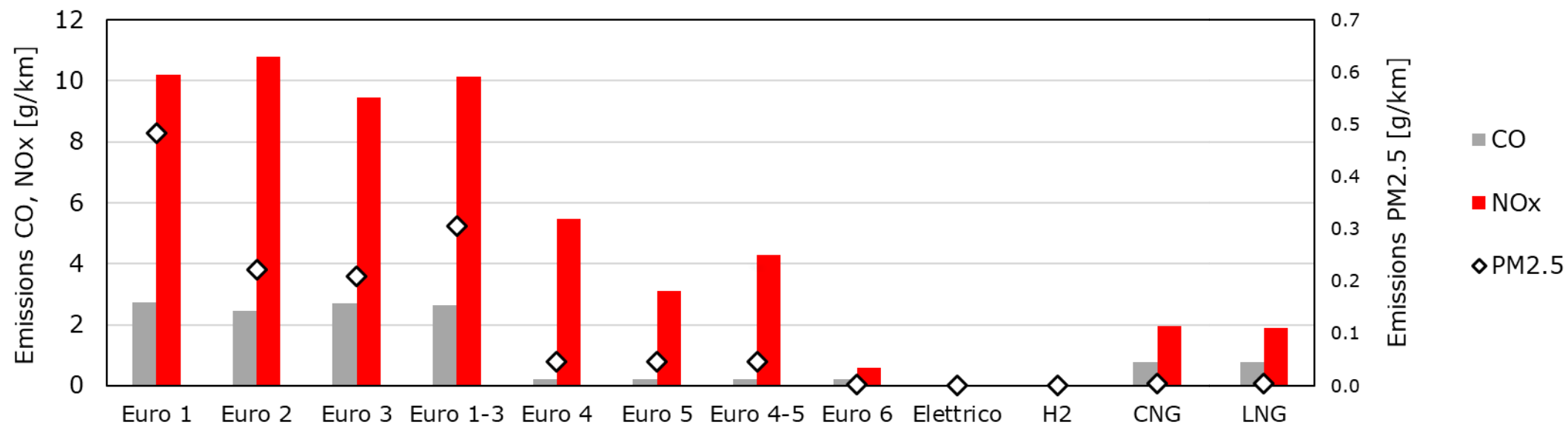
SMR : Steam Methane Reforming

CCS : Carbon Capture & Storage

Average number of passenger : 20

Distanza percorsa di ciclo vita : 800'000 km

IMPATTI AMBIENTALI CICLO-VITA – EMISSIONI INQUINANTI



Assunzioni:

- Non sono state considerate emissioni riguardanti il deterioramento dello pneumatico
- Sono state considerate le sole emissioni derivanti dalla combustione

Le emissioni PM2.5 sono trascurabili per le tecnologie più recenti, anche a combustione interna.

LA MOBILITÀ ELETTRICA

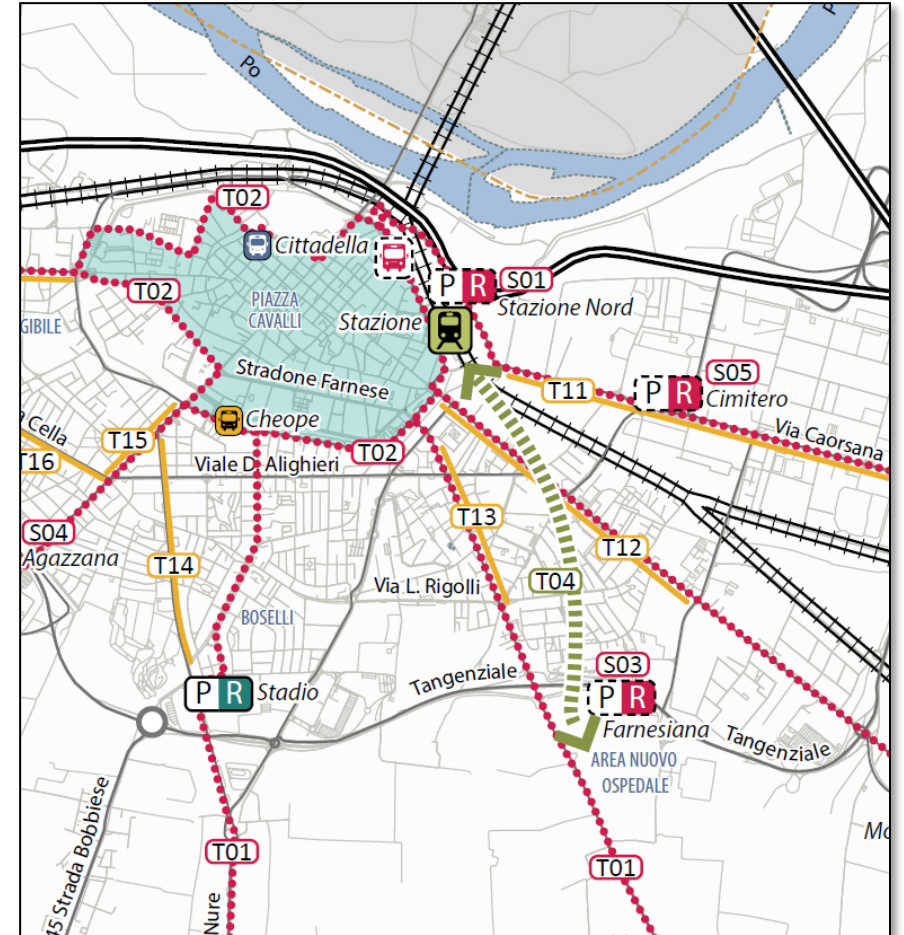
OPPORTUNITÀ, VINCOLI E PROSPETTIVE PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE

- La transizione energetica nel TPL
 - I numeri del TPL in Italia
 - Politiche EU e ITA
 - Fondi per il rinnovo delle flotte di autobus
- Vincoli e prospettive di sviluppo della tecnologia
 - Veicoli (batterie, prestazioni, ...)
 - Infrastruttura di ricarica
- Costi della transizione e impatti energetico-ambientali
- Casi Studio
 - Progetto di una linea elettrica di Bus Rapid Transit (BRT)
 - Valutazione ciclo-vita di scenari di rinnovo di una flotta di autobus

CASO STUDIO (I): PROGETTO DI UNA LINEA ELETTRICA DI BUS RAPID TRANSIT (BRT)

IL CONTESTO

- Il Comune di Piacenza nel 2020 ha approvato il suo **Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS)**.
- Tra le azioni previste dal piano c'era quella di assicurare una connessione veloce tra la **Stazione Ferroviaria FS** e il **Nuovo Polo Ospedaliero** che verrà realizzato poco fuori l'area densamente urbanizzata della città.



La connessione tra la stazione ferroviaria FS e il Nuovo Polo Ospedaliero
(Fonte: PUMS di Piacenza)

CASO STUDIO (I): PROGETTO DI UNA LINEA ELETTRICA DI BUS RAPID TRANSIT (BRT)

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Uno studio di fattibilità tecnica ed economica è richiesto dal **DM MIT 16 giugno 2017 n.300 'Linee Guida per la Valutazione degli Investimenti in Opere Pubbliche'**, al fine di identificare, tra tutte le soluzioni tecnicamente fattibili, quella economicamente più vantaggiosa



CASO STUDIO (I): PROGETTO DI UNA LINEA ELETTRICA DI BUS RAPID TRANSIT (BRT)

METODOLOGIA

- I. Analisi fattibilità tecnica e soluzioni tecnologiche
- II. Previsioni di domanda
- III. Analisi Costi-Benefici (soluzione economicamente più vantaggiosa)
- IV. Localizzazione e layout deposito
- V. Analisi richiesta energetica, strategia di ricarica e definizione programma di esercizio della nuova linea

CASO STUDIO (I): PROGETTO DI UNA LINEA ELETTRICA DI BUS RAPID TRANSIT (BRT)

METODOLOGIA

- I. Analisi fattibilità tecnica e soluzioni tecnologiche
- II. Previsioni di domanda
- III. Analisi Costi-Benefici (soluzione economicamente più vantaggiosa)
- IV. Localizzazione e layout deposito
- V. Analisi richiesta energetica, strategia di ricarica e definizione programma di esercizio della nuova linea

CASO STUDIO (I): PROGETTO DI UNA LINEA ELETTRICA DI BUS RAPID TRANSIT (BRT)

SOLUZIONI TECNOLOGICHE

Linea elettrica Bus Rapid Transit (BRT)



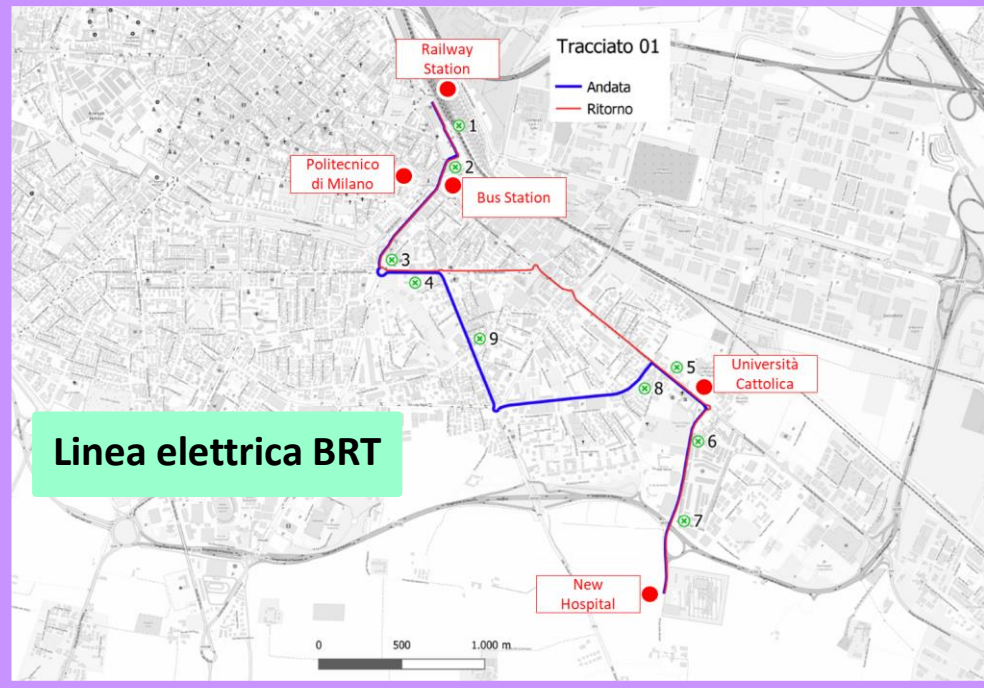
Linea Tranviaria



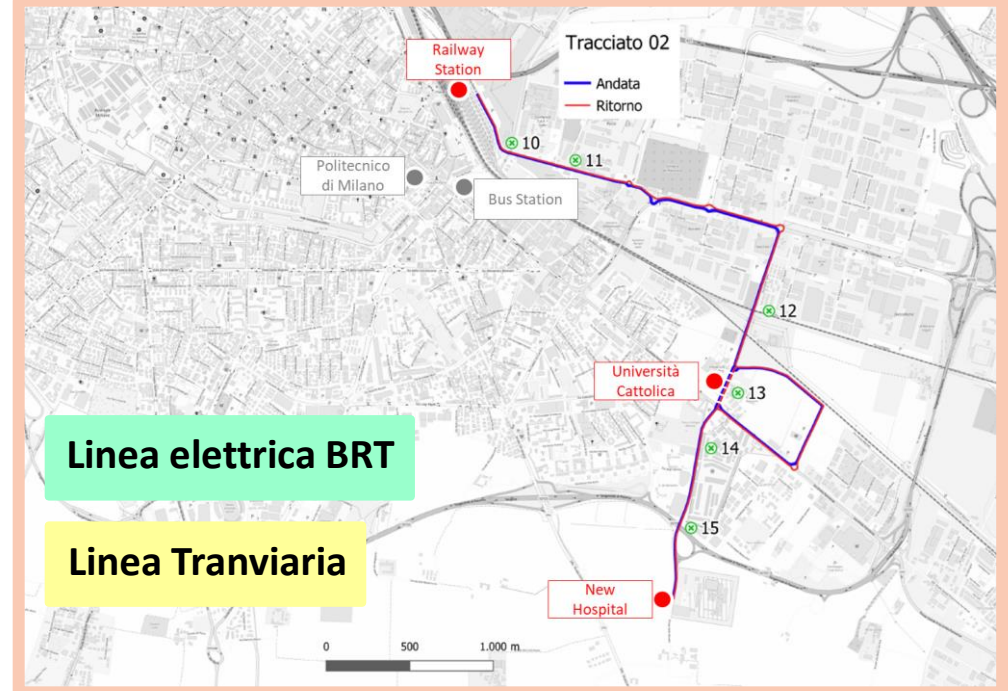
CASO STUDIO (I): PROGETTO DI UNA LINEA ELETTRICA DI BUS RAPID TRANSIT (BRT)

INSTRADAMENTO NELLA VIABILITÀ ESISTENTE: IPOTESI DI TRACCIATO

Tracciato 1



Tracciato 2



CASO STUDIO (I): PROGETTO DI UNA LINEA ELETTRICA DI BUS RAPID TRANSIT (BRT)

METODOLOGIA

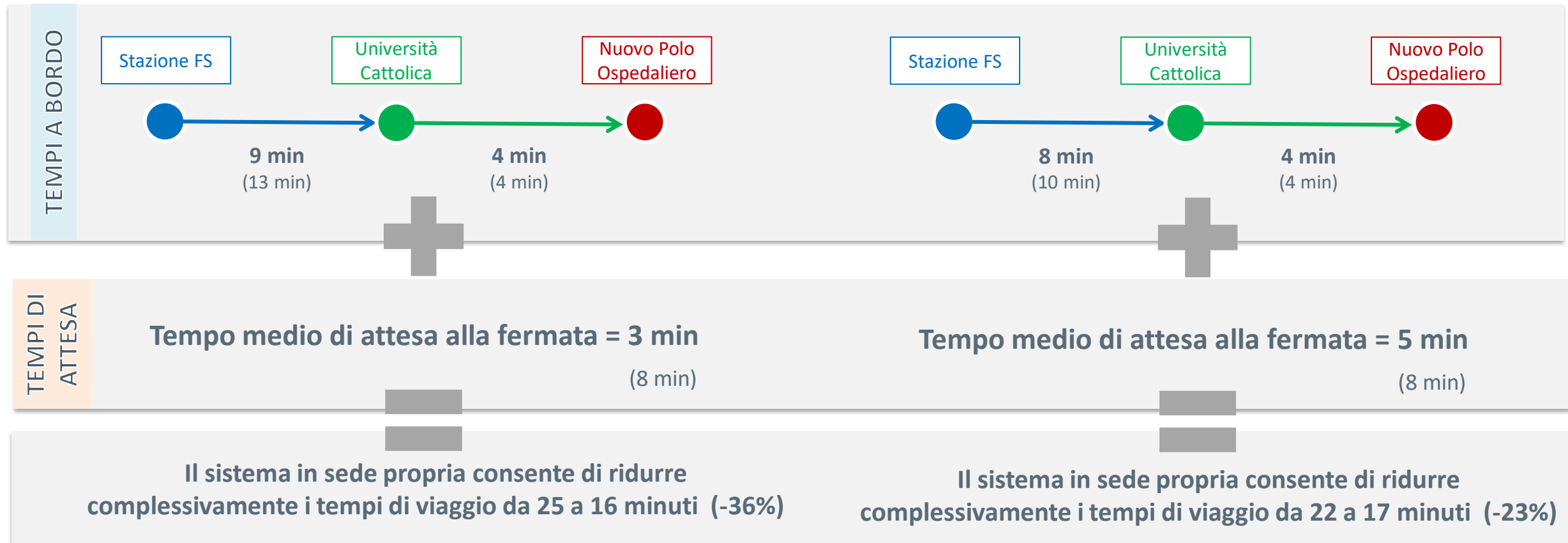
- I. Analisi fattibilità tecnica e soluzioni tecnologiche
- II. Previsioni di domanda
- III. Analisi Costi-Benefici (soluzione economicamente più vantaggiosa)
- IV. Localizzazione e layout deposito
- V. Analisi richiesta energetica, strategia di ricarica e definizione programma di esercizio della nuova linea

CASO STUDIO (I): PROGETTO DI UNA LINEA ELETTRICA DI BUS RAPID TRANSIT (BRT)

PRESTAZIONI DEI DUE TRACCIATI

TRACCIATO 1

TRACCIATO 2

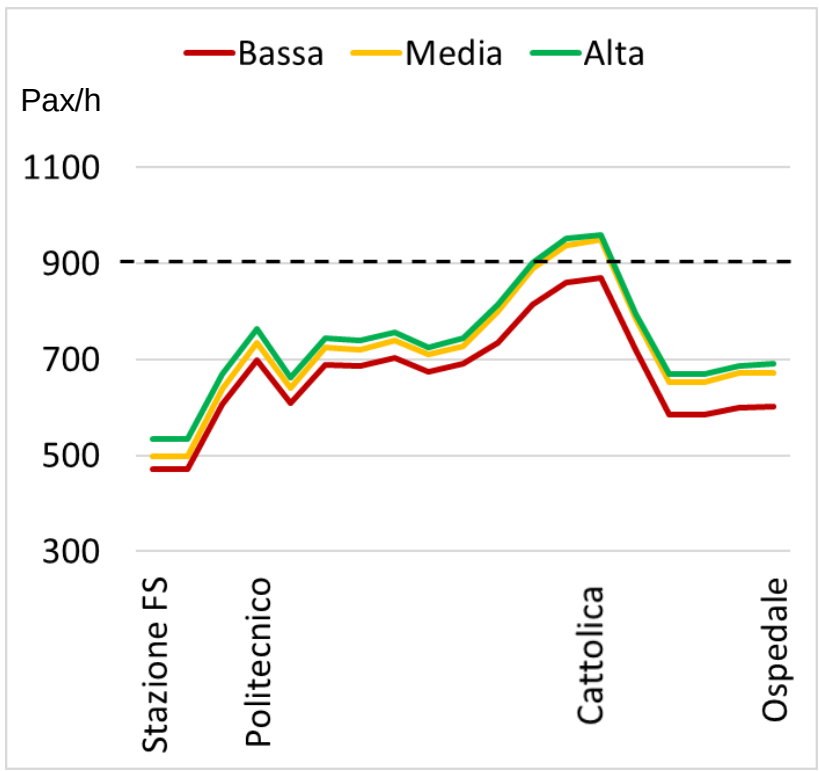


CASO STUDIO (I): PROGETTO DI UNA LINEA ELETTRICA DI BUS RAPID TRANSIT (BRT)

PREVISIONI DI DOMANDA

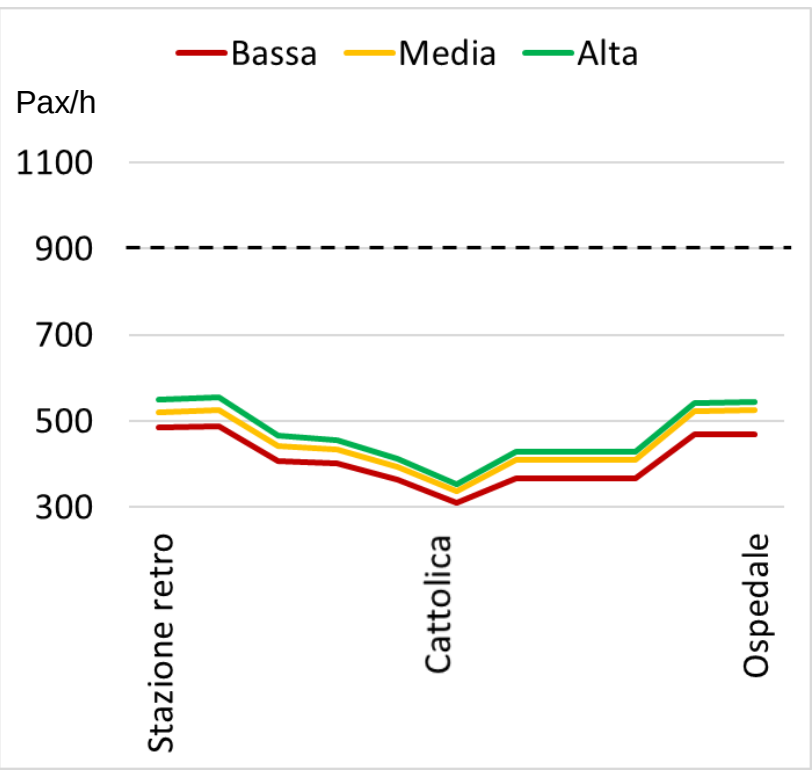
TRACCIATO 1

eBRT

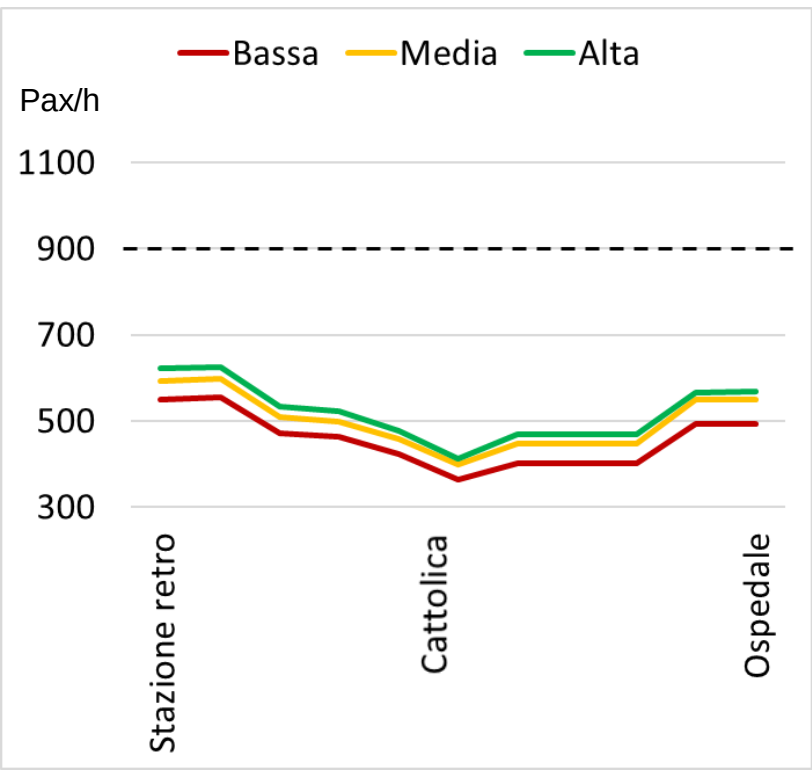


TRACCIATO 2

eBRT



Tram



CASO STUDIO (I): PROGETTO DI UNA LINEA ELETTRICA DI BUS RAPID TRANSIT (BRT)

METODOLOGIA

- I. Analisi fattibilità tecnica e soluzioni tecnologiche
- II. Previsioni di domanda
- III. Analisi Costi-Benefici (soluzione economicamente più vantaggiosa)
- IV. Localizzazione e layout deposito
- V. Analisi richiesta energetica, strategia di ricarica e definizione programma di esercizio della nuova linea

CASO STUDIO (I): PROGETTO DI UNA LINEA ELETTRICA DI BUS RAPID TRANSIT (BRT)

STIMA DEI COSTI

	TRACCIATO 1	TRACCIATO 2	
Costi di investimento [mln€]	17.5	15.8	29.1
Costi di manutenzione [€*1000/anno]	35	34	148
Costi di esercizio [€*1000/anno]	70	68	296
	eBRT	eBRT	Tranvia

CASO STUDIO (I): PROGETTO DI UNA LINEA ELETTRICA DI BUS RAPID TRANSIT (BRT)

STIMA DEI BENEFICI

- **Interni**
 - Risparmi di tempo
 - Variazione di costi operativi (per utenti auto)
- **Esterni**
 - Riduzione della congestione sulla rete stradale
 - Riduzione dell'incidentalità stradale
 - Riduzione delle emissioni di inquinanti da traffico
 - Riduzione delle emissioni acustiche
 - Riduzione delle emissioni di gas serra

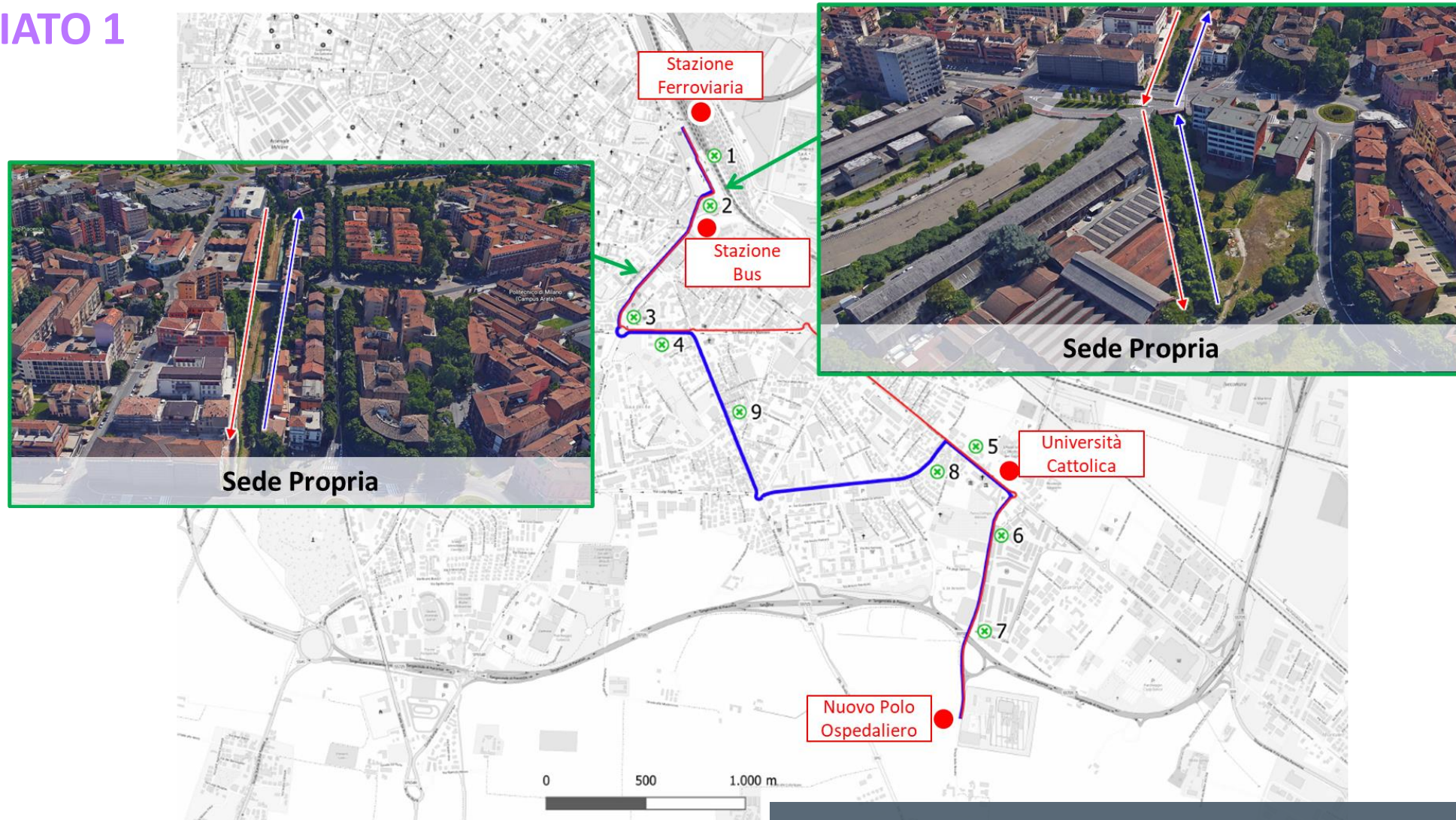
CASO STUDIO (I): PROGETTO DI UNA LINEA ELETTRICA DI BUS RAPID TRANSIT (BRT)

RISULTATI ANALISI ECONOMICA

	TRACCIATO 1		TRACCIATO 2	
	eBRT		eBRT	Tram
Rapporto Benefici/Costi	1.5		1.4	0.6
VAN economico [mln€]	9.5		7.2	-9.7

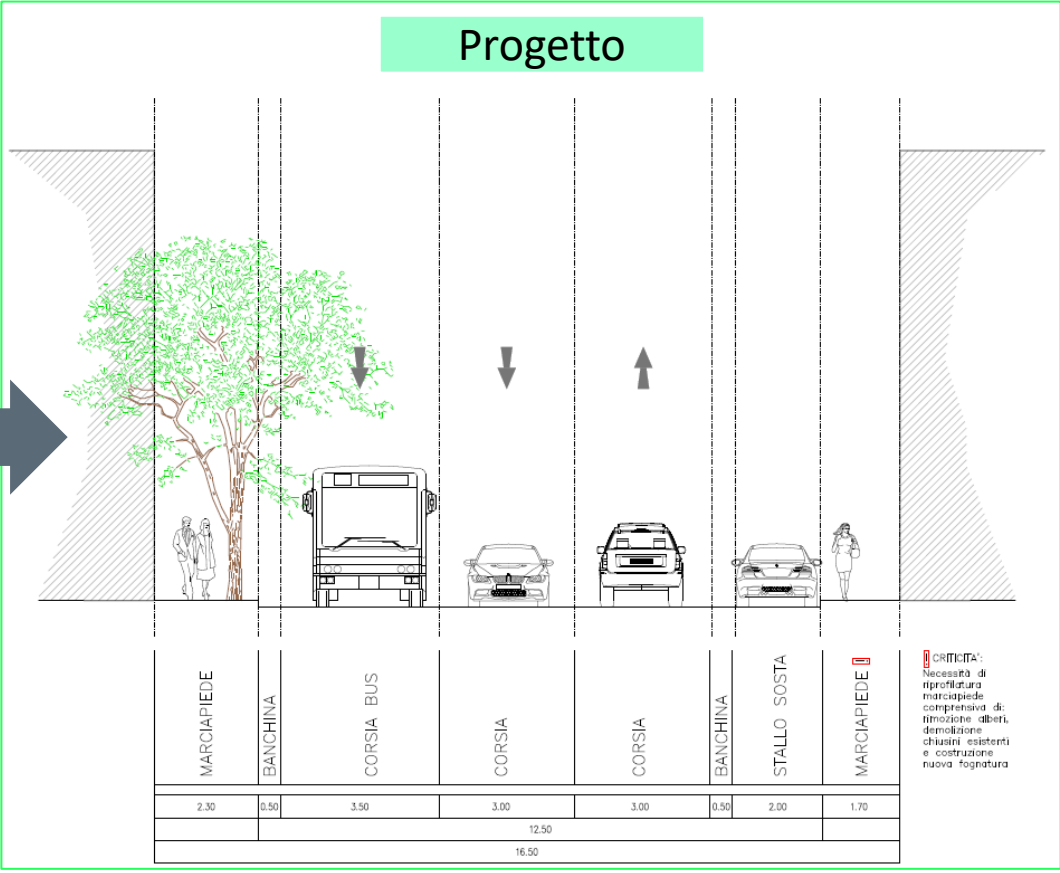
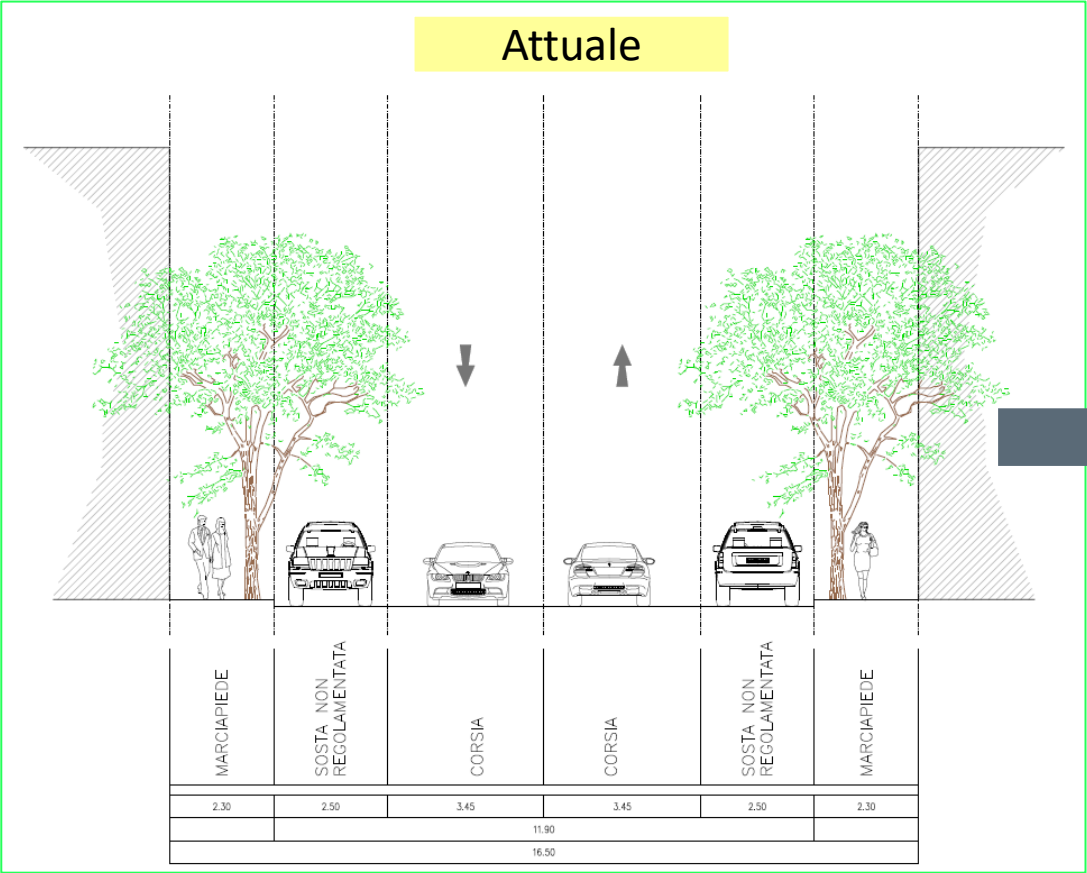
CASO STUDIO (I): PROGETTO DI UNA LINEA ELETTRICA DI BUS RAPID TRANSIT (BRT)

TRACCIATO 1



CASO STUDIO (I): PROGETTO DI UNA LINEA ELETTRICA DI BUS RAPID TRANSIT (BRT)

TRACCIATO 1 – ESEMPIO SEZIONE TIPO



CASO STUDIO (I): PROGETTO DI UNA LINEA ELETTRICA DI BUS RAPID TRANSIT (BRT)

METODOLOGIA

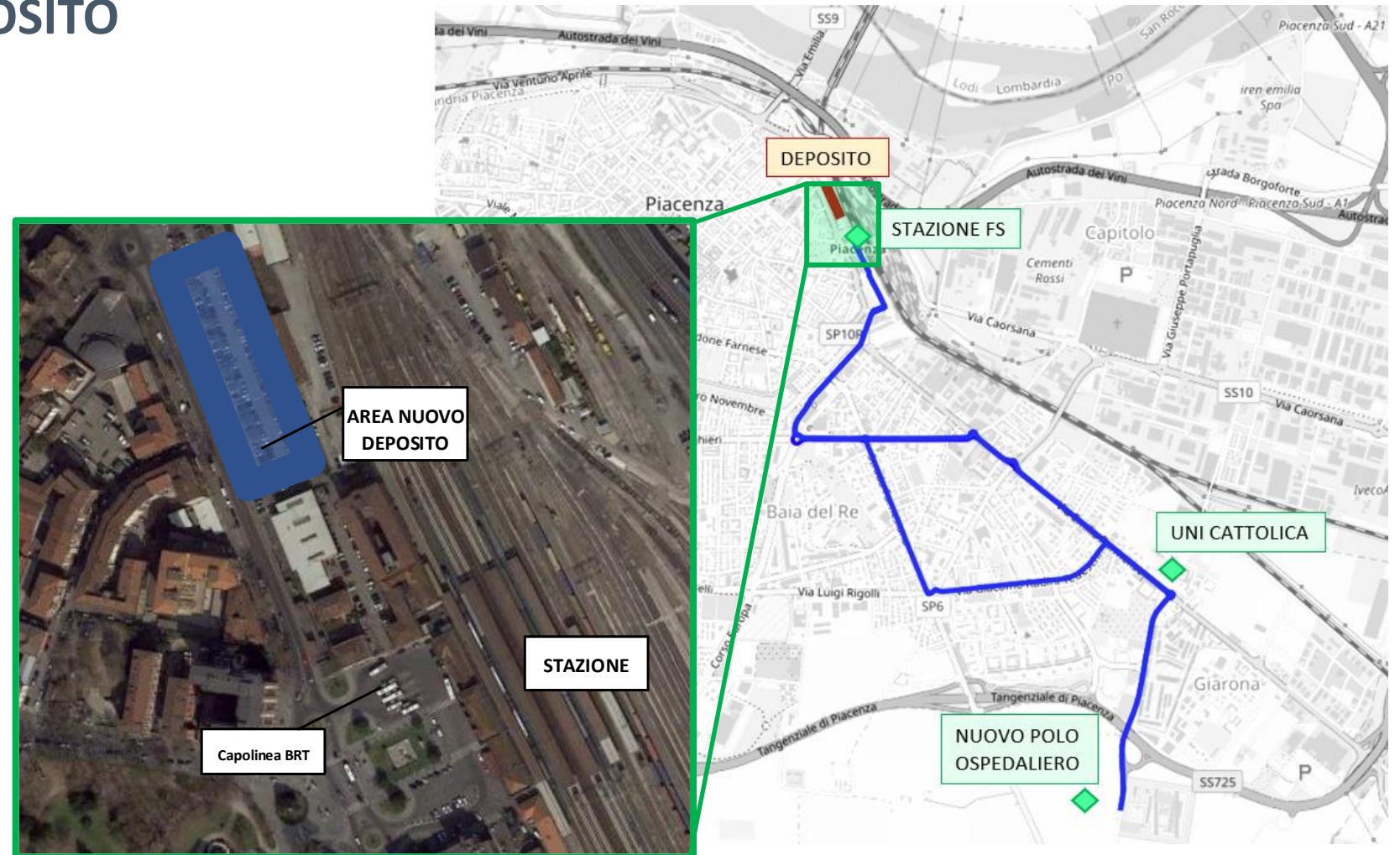
- I. Analisi fattibilità tecnica e soluzioni tecnologiche
- II. Previsioni di domanda
- III. Analisi Costi-Benefici (soluzione economicamente più vantaggiosa)
- IV. Localizzazione e layout deposito
- V. Analisi richiesta energetica, strategia di ricarica e definizione programma di esercizio della nuova linea

CASO STUDIO (II): PROGETTO DI UNA LINEA ELETTRICA DI BUS RAPID TRANSIT (BRT)

LOCALIZZAZIONE DEL DEPOSITO

Il *nuovo deposito* dei mezzi del BRT è previsto in Viale Sant'Ambrogio *nei pressi della stazione*.

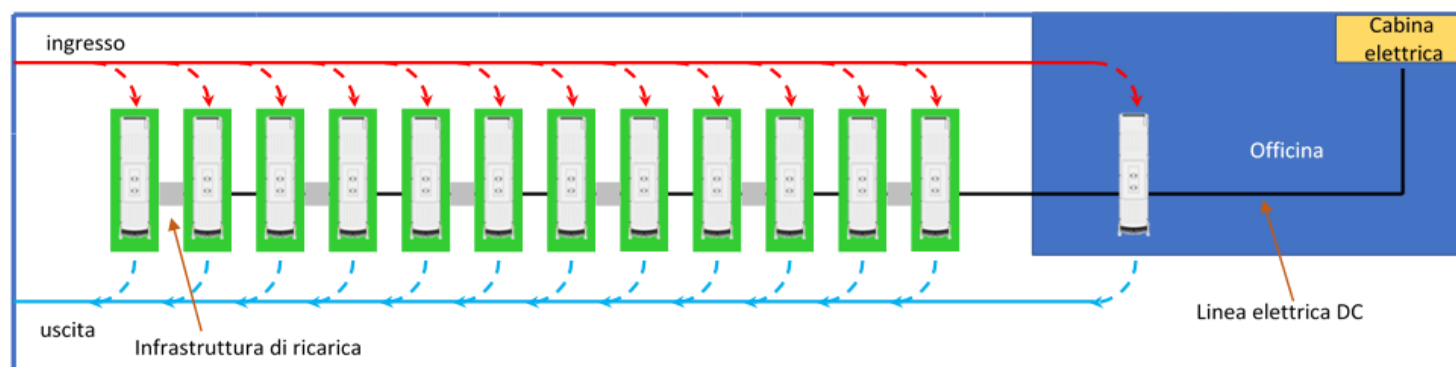
La localizzazione del deposito nei pressi di uno dei due capolinea riduce le percorrenze non di servizio (anche per le ricariche dei mezzi durante la giornata).



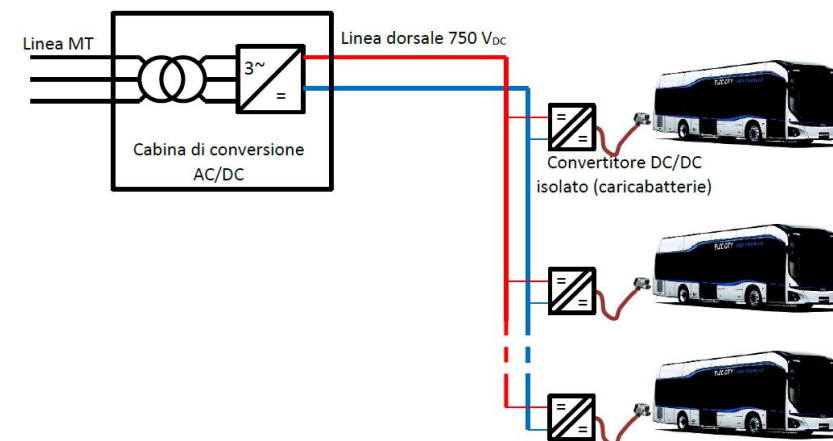
CASO STUDIO (I): PROGETTO DI UNA LINEA ELETTRICA DI BUS RAPID TRANSIT (BRT)

LAYOUT DEL DEPOSITO

Nel deposito si ubicheranno gli stalli di sosta dei mezzi e le colonnine di ricarica protette da pensiline, un capannone in cui realizzare un'officina per la manutenzione ordinaria e la cabina elettrica.



Ogni colonnina sarà dotata di due connettori in modo da ricaricare gli autobus sia sulla destra, sia sulla sinistra (i veicoli saranno dotati della presa di ricarica di tipo Combo2 su entrambi i lati). I convertitori DC/DC che prelevano l'energia dalla linea dorsale DC e la convertono per la ricarica degli autobus, possono essere installati nella colonnina o interrati nelle vicinanze.



CASO STUDIO (I): PROGETTO DI UNA LINEA ELETTRICA DI BUS RAPID TRANSIT (BRT)

METODOLOGIA

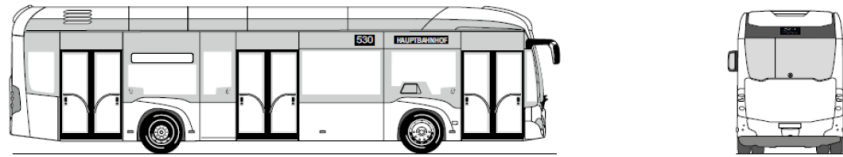
- I. Analisi fattibilità tecnica e soluzioni tecnologiche
- II. Previsioni di domanda
- III. Analisi Costi-Benefici (soluzione economicamente più vantaggiosa)
- IV. Localizzazione e layout deposito
- V. Analisi richiesta energetica, strategia di ricarica e definizione programma di esercizio della nuova linea

CASO STUDIO (I): PROGETTO DI UNA LINEA ELETTRICA DI BUS RAPID TRANSIT (BRT)

ANALISI DELLA RICHIESTA ENERGETICA E STRATEGIA DI RICARICA

Nell'analisi della richiesta energetica del veicolo si distinguono due contributi principali:

- trazione e ai suoi ausiliari
- climatizzazione (HVAC – Heating, Ventilation, Air Conditioning)



Trazione e ausiliari (kWh/km)	1.2
Climatizzazione (kWh/km)	1.3
Consumo specifico totale (kWh/km)	2.5

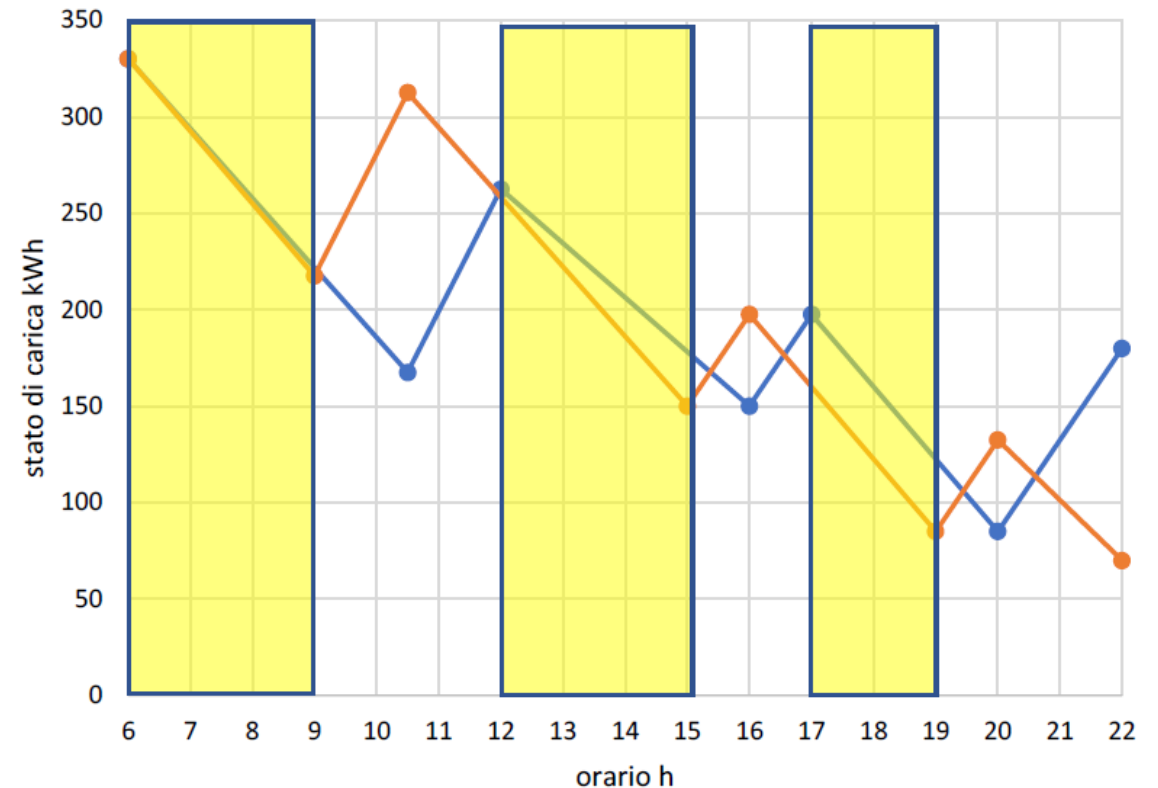
CASO STUDIO (I): PROGETTO DI UNA LINEA ELETTRICA DI BUS RAPID TRANSIT (BRT)

STRATEGIA DI RICARICA

Per ottimizzare le batterie, limitandone il livello di scarica (DoD – Depth of Discharge), si ipotizzano i seguenti turni di servizio e ricarica:

- dei 10 bus necessari all'esercizio, 5 bus vanno in deposito per una ricarica di circa 1 ora (tra le 9:00 e le 10:30 al netto dei tempi di accesso/egresso al/dal deposito) e poi di nuovo in linea
- gli altri 5 bus vanno in deposito per una ricarica di 1 ora (tra le 10:30 e le 12:00)

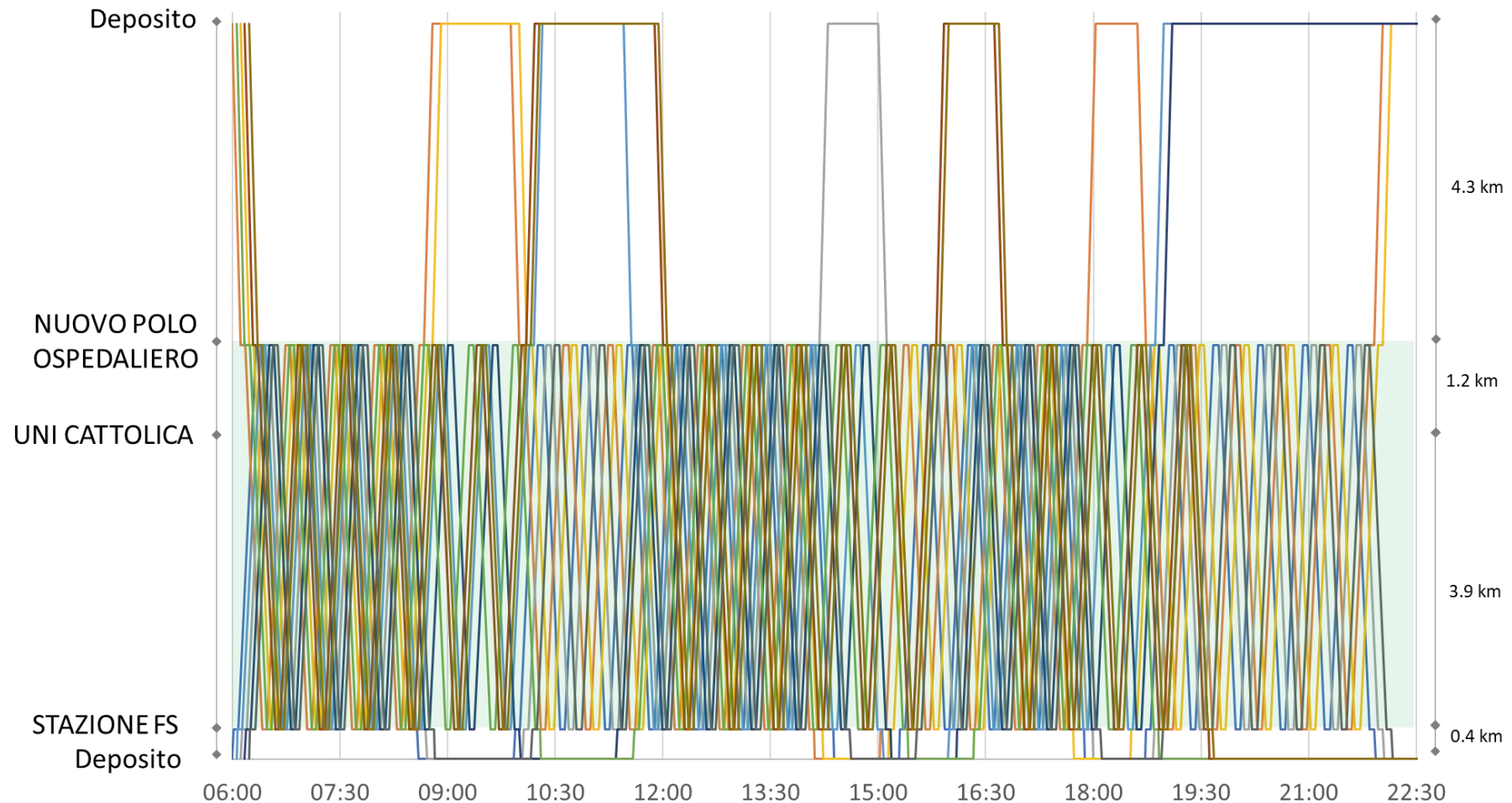
Analogamente anche dopo il secondo periodo di punta (12:00-15:00) e il terzo (17:00-19:00)



* Le linee arancione e blu rappresentano un lotto di 5 bus

CASO STUDIO (I): PROGETTO DI UNA LINEA ELETTRICA DI BUS RAPID TRANSIT (BRT)

PROGRAMMA DI ESERCIZIO (ORARIO GRAFICO LINEA)



LA MOBILITÀ ELETTRICA

OPPORTUNITÀ, VINCOLI E PROSPETTIVE PER IL TRASPORTO PUBBLICO LOCALE

- La transizione energetica nel TPL
 - I numeri del TPL in Italia
 - Politiche EU e ITA
 - Fondi per il rinnovo delle flotte di autobus
- Vincoli e prospettive di sviluppo della tecnologia
 - Veicoli (batterie, prestazioni, ...)
 - Infrastruttura di ricarica
- Costi della transizione e impatti energetico-ambientali
- Casi Studio
 - Progetto di una linea elettrica di Bus Rapid Transit (BRT)
 - Valutazione ciclo-vita di scenari di rinnovo di una flotta di autobus

CASO STUDIO (II): VALUTAZIONE CICLO-VITA DI SCENARI DI RINNOVO DI UNA FLOTTA DI AUTOBUS

METODOLOGIA

- I. Individuazione dei fabbisogni futuri
- II. Ipotesi di nuove acquisizioni
- III. Analisi finanziaria
- IV. Analisi degli impatti energetico-ambientali
- V. Sintesi dei risultati e conclusioni

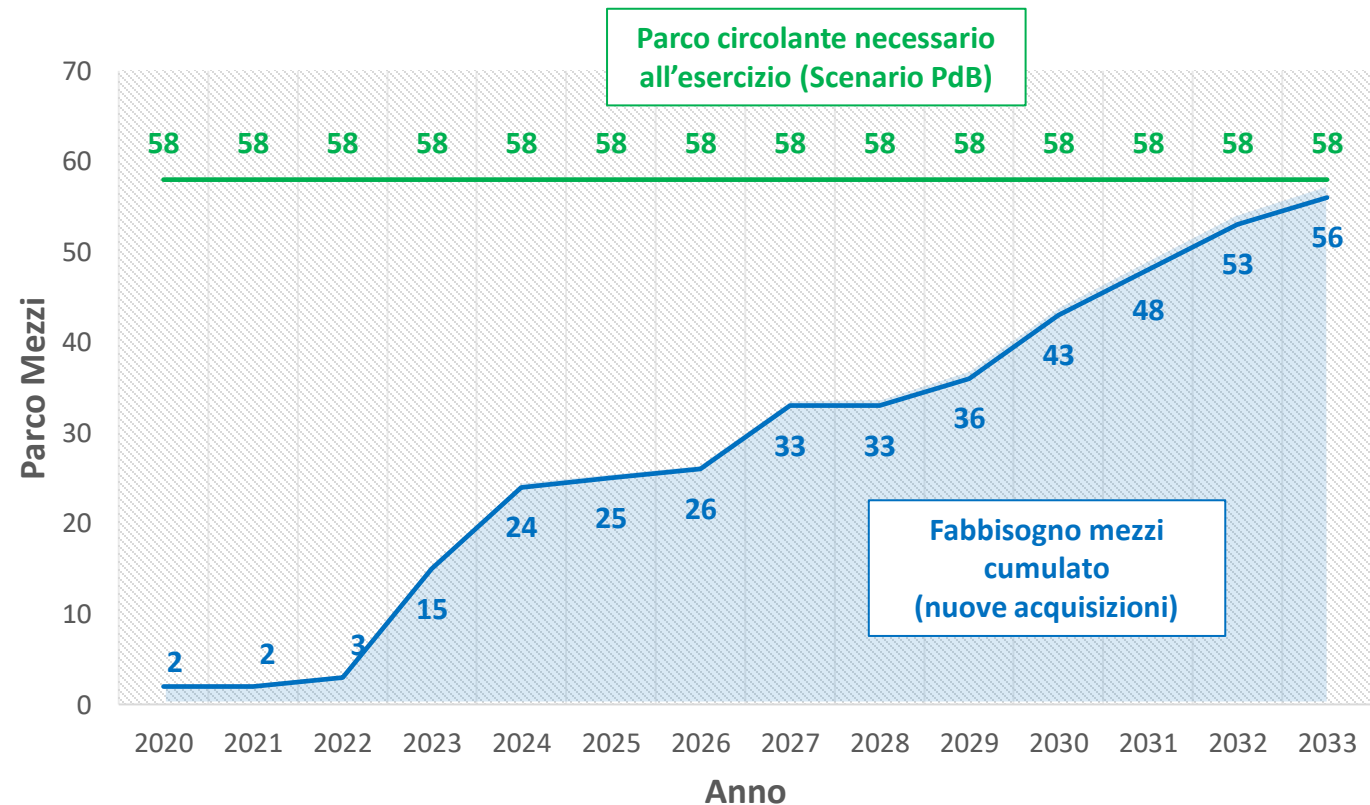
CASO STUDIO (II): VALUTAZIONE CICLO-VITA DI SCENARI DI RINNOVO DI UNA FLOTTA DI AUTOBUS

INDIVIDUAZIONE DEI FABBISOGNI FUTURI

Per la determinazione del fabbisogno del nuovo materiale rotabile sono stati considerati **2 vincoli sull'età del parco mezzi** (come da obiettivi del Programma di Bacino):

- 15 anni come valore massimo di anzianità per la dismissione del veicolo;
- 7,5 anni come valore medio massimo di anzianità della flotta.

STIMA DEL FABBISOGNO



CASO STUDIO (II): VALUTAZIONE CICLO-VITA DI SCENARI DI RINNOVO DI UNA FLOTTA DI AUTOBUS

IPOTESI DI NUOVE ACQUISIZIONI

In considerazione delle differenti tecnologie di trazione nel medio e lungo periodo e dalla configurazione di due depositi per i mezzi urbani

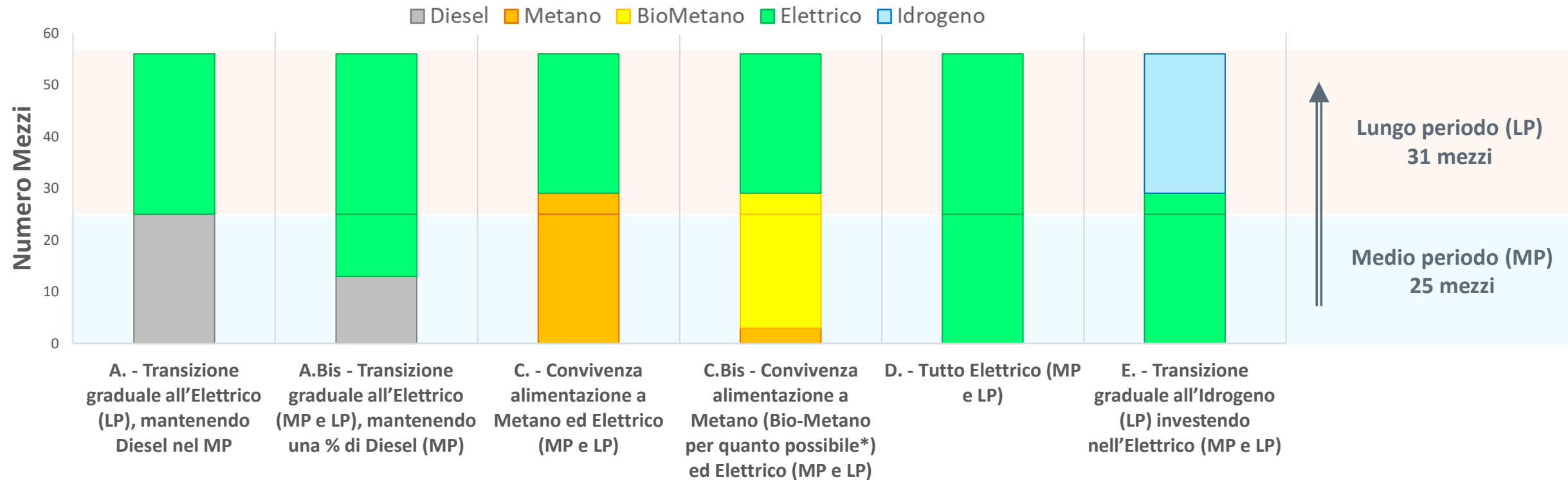
		Configurazione Depositi Tendenziale
A.	Transizione graduale all'Elettrico (LP), mantenendo Diesel nel MP	2 depositi elettrici
A.Bis	Transizione graduale all'Elettrico (MP e LP), mantenendo una % di Diesel (MP)	2 depositi elettrici
C.	Convivenza alimentazione a Metano ed Elettrico (MP e LP)	1 deposito metano + 1 deposito elettrico
C.Bis	Convivenza alimentazione a Metano (Bio-Metano per quanto possibile*) ed Elettrico (MP e LP)	1 deposito metano + 1 deposito elettrico
D.	Tutto Elettrico (MP e LP)	2 depositi elettrici
E.	Transizione graduale all'Idrogeno (LP) investendo nell'Elettrico (MP e LP)	1 deposito elettrico + 1 deposito idrogeno

* In funzione della popolazione residente e di un tasso di produzione medio di Frazione Organica di Rifiuti Solidi Urbani (FORSU), per il Sottobacino in esame la stima è che al massimo il 45% delle percorrenze può esercita con mezzi alimentati con Bio-Metano da FORSU

CASO STUDIO (II): VALUTAZIONE CICLO-VITA DI SCENARI DI RINNOVO DI UNA FLOTTA DI AUTOBUS

IPOTESI DI NUOVE ACQUISIZIONI

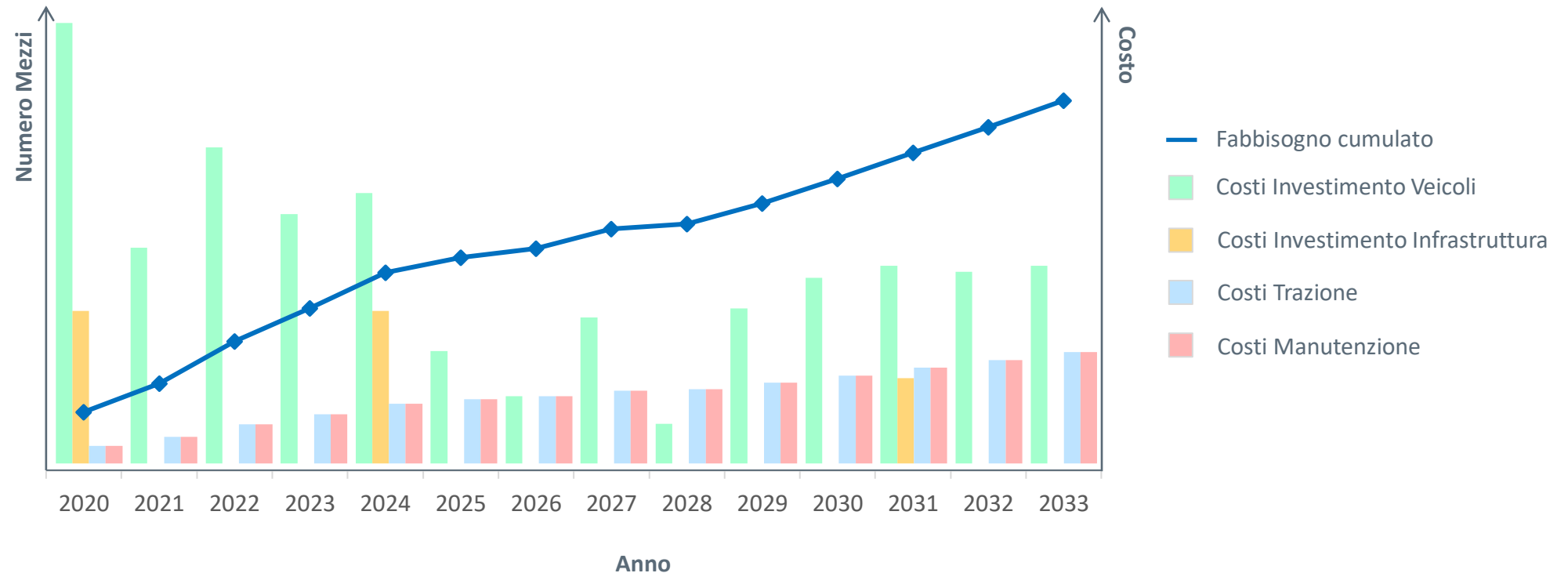
In considerazione delle differenti tecnologie di trazione nel medio e lungo periodo e dalla configurazione tendenziale di due depositi per i mezzi urbani



CASO STUDIO (II): VALUTAZIONE CICLO-VITA DI SCENARI DI RINNOVO DI UNA FLOTTA DI AUTOBUS

ANALISI FINANZIARIA

Analisi comparativa dei costi (attualizzati) di investimento e operativi dei nuovi veicoli nei differenti scenari di analisi



- Non si considerano le entrate di esercizio, in quanto invarianti tra i differenti scenari di analisi
- Non considerano i costi operativi e di dismissione dei mezzi attuali, in quanto invarianti tra i differenti scenari di analisi

CASO STUDIO (II): VALUTAZIONE CICLO-VITA DI SCENARI DI RINNOVO DI UNA FLOTTA DI AUTOBUS

ANALISI FINANZIARIA

- **Flussi di Cassa Attualizzati** (Discounted Cash Flow – DCF) *Regolamento Delegato (UE) n. 480/2014*
- Considera il **Valore Attuale Netto Finanziario** (VANF) per comparare i differenti scenari

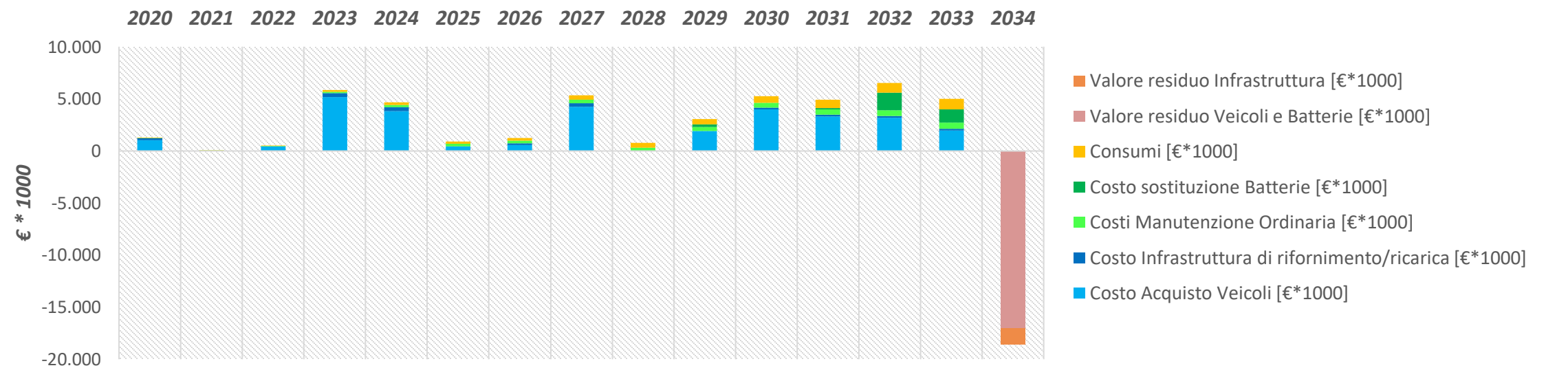
$$VANF(r) = \sum_{t=0}^T \frac{-C_t}{(1+r)^t}$$

Il VANF è calcolato come la somma dei ‘flussi di costo’ C_t , attualizzati, relativi a tutti gli anni t (da 0 a T) all’interno dell’orizzonte temporale di analisi.

- Attualizzazione dei costi con **r tasso di sconto** finanziario pari al 3%

CASO STUDIO (II): VALUTAZIONE CICLO-VITA DI SCENARI DI RINNOVO DI UNA FLOTTA DI AUTOBUS

ANALISI FINANZIARIA



# Anno	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Anno	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
Costo Acquisto Veicoli [€*1000]	1053	0	440	5191	3843	440	578	4226	0	1918	3996	3320	3202	1980	
Costo Infrastruttura di rifornimento/ricarica [€*1000]	175	0	0	350	350	0	170	345	0	0	170	170	170	170	
Costi Manutenzione Ordinaria [€*1000]	23	23	33	147	232	241	252	331	331	365	440	499	557	592	
Costo sostituzione Batterie [€*1000]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	280	0	140	1680	1260	
Consumi [€*1000]	27	27	37	149	231	241	262	426	426	505	656	799	932	1016	
Valore residuo Veicoli e Batterie [€*1000]															-17012
Valore residuo Infrastruttura [€*1000]															-1561

Tasso di sconto = 3%

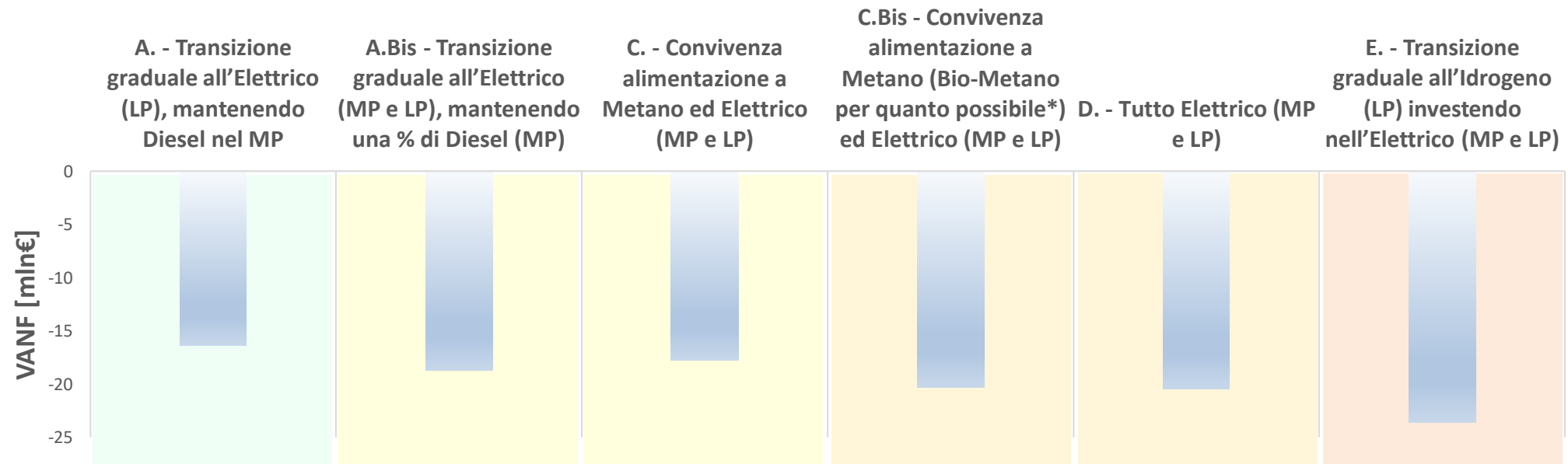
VANF [mln €] = - 23.6

* Grafico, tabella e valori numerici a titolo di esempio

CASO STUDIO (II): VALUTAZIONE CICLO-VITA DI SCENARI DI RINNOVO DI UNA FLOTTA DI AUTOBUS

ANALISI FINANZIARIA

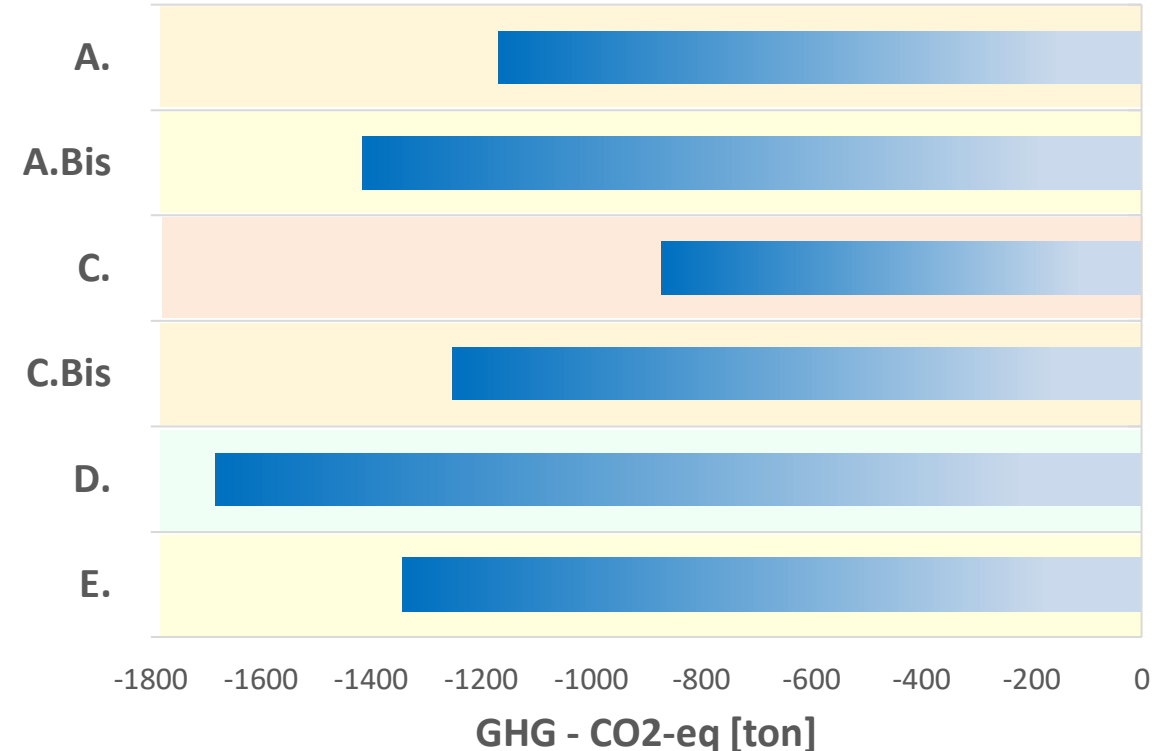
		VANF [mln€]
A.	Transizione graduale all'Elettrico (LP), mantenendo Diesel nel MP	-16.4
A.Bis	Transizione graduale all'Elettrico (MP e LP), mantenendo una % di Diesel (MP)	-18.7
C.	Convivenza alimentazione a Metano ed Elettrico (MP e LP)	-17.8
C.Bis	Convivenza alimentazione a Metano (Bio-Metano per quanto possibile*) ed Elettrico (MP e LP)	-20.3
D.	Tutto Elettrico (MP e LP)	-20.5
E.	Transizione graduale all'Idrogeno (LP) investendo nell'Elettrico (MP e LP)	-23.6



CASO STUDIO (II): VALUTAZIONE CICLO-VITA DI SCENARI DI RINNOVO DI UNA FLOTTA DI AUTOBUS

ANALISI DEGLI IMPATTI ENERGETICO-AMBIENTALI

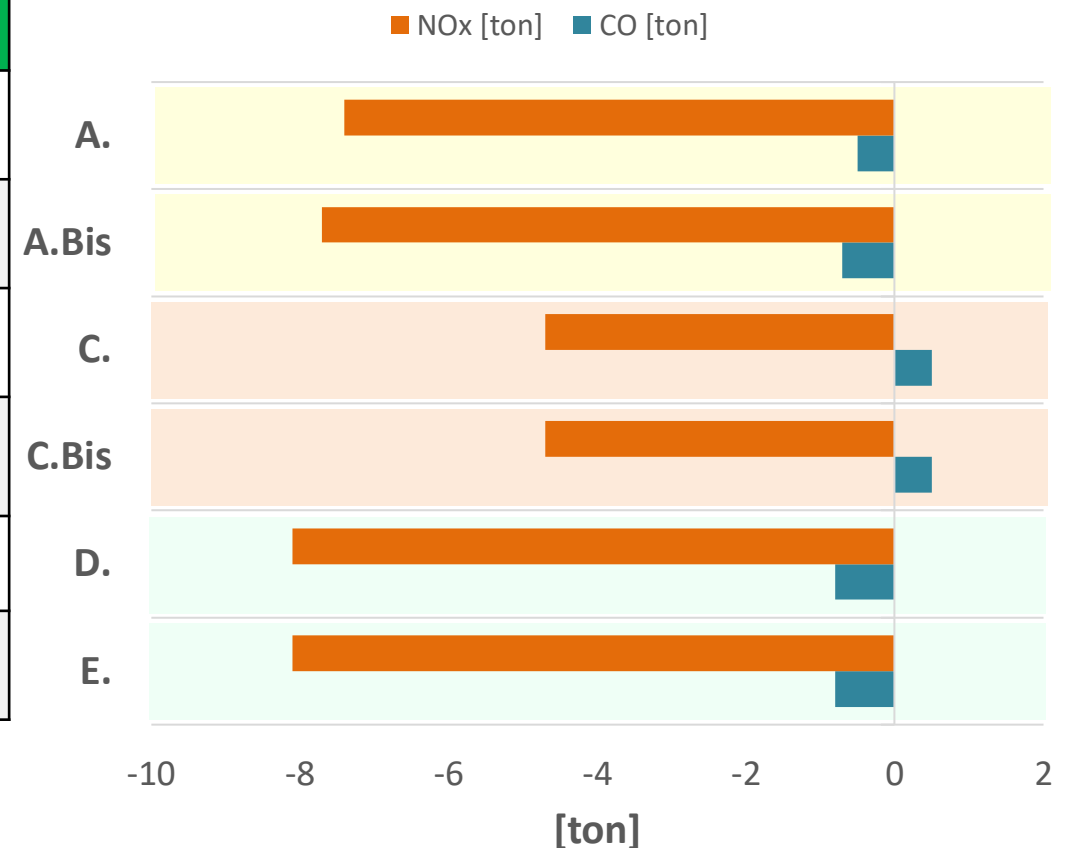
		GHG - CO2-eq (ton)
A.	Transizione graduale all'Elettrico (LP), mantenendo Diesel nel MP	-1169
A.Bis	Transizione graduale all'Elettrico (MP e LP), mantenendo una % di Diesel (MP)	-1416
C.	Convivenza alimentazione a Metano ed Elettrico (MP e LP)	-871
C.Bis	Convivenza alimentazione a Metano (Bio-Metano per quanto possibile*) ed Elettrico (MP e LP)	-1251
D.	Tutto Elettrico (MP e LP)	-1682
E.	Transizione graduale all'Idrogeno (LP) investendo nell'Elettrico (MP e LP)	-1342



CASO STUDIO (II): VALUTAZIONE CICLO-VITA DI SCENARI DI RINNOVO DI UNA FLOTTA DI AUTOBUS

ANALISI DEGLI IMPATTI ENERGETICO-AMBIENTALI

		CO (ton)	NOx (ton)
A.	Transizione graduale all'Elettrico (LP), mantenendo Diesel nel MP	-0.5	-7.4
A.Bis	Transizione graduale all'Elettrico (MP e LP), mantenendo una % di Diesel (MP)	-0.7	-7.7
C.	Convivenza alimentazione a Metano ed Elettrico (MP e LP)	0.5	-4.7
C.Bis	Convivenza alimentazione a Metano (Bio-Metano per quanto possibile*) ed Elettrico (MP e LP)	0.5	-4.7
D.	Tutto Elettrico (MP e LP)	-0.8	-8.1
E.	Transizione graduale all'Idrogeno (LP) investendo nell'Elettrico (MP e LP)	-0.8	-8.1



CASO STUDIO (II): VALUTAZIONE CICLO-VITA DI SCENARI DI RINNOVO DI UNA FLOTTA DI AUTOBUS

SINTESI DEI RISULTATI E CONCLUSIONI

- La matrice di decisione permette di confrontare scenari alternativi di investimento sulla base di criteri e obiettivi non omogenei (ad esempio costi di investimento/esercizio e impatti ambientali)

Criteri <i>di valutazione</i>	Scenari di investimento						<i>Pesi</i>
	1	2	...	<i>j</i>	...	<i>J</i>	
1	x_{11}	x_{12}		x_{1j}		x_{1J}	w_1
2	x_{21}	x_{22}		x_{2j}		x_{2J}	w_2
....							
<i>m</i>	x_{m1}	x_{m2}		x_{mj}		x_{mJ}	w_m
....							
....							
<i>M</i>	x_{M1}	x_{M2}		x_{Mj}		x_{MJ}	w_M

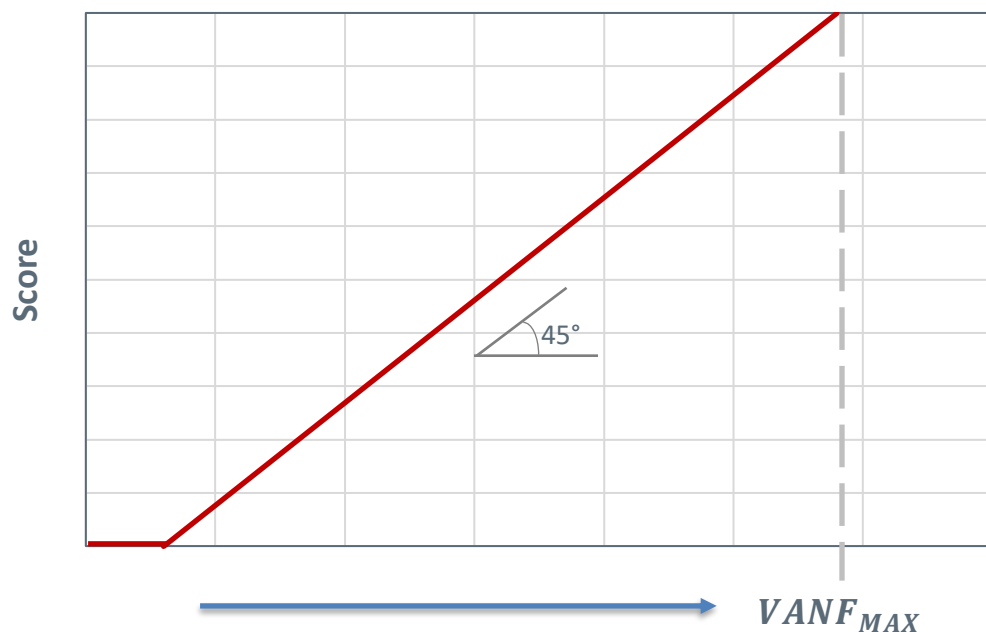
- I punteggi attribuiti ad ogni scenario rispetto ad ogni criterio possono essere omogeneizzati introducendo opportune scale di valutazione, ad esempio scale [min-max] variabili tra 0-100

CASO STUDIO (II): VALUTAZIONE CICLO-VITA DI SCENARI DI RINNOVO DI UNA FLOTTA DI AUTOBUS

SINTESI DEI RISULTATI E CONCLUSIONI

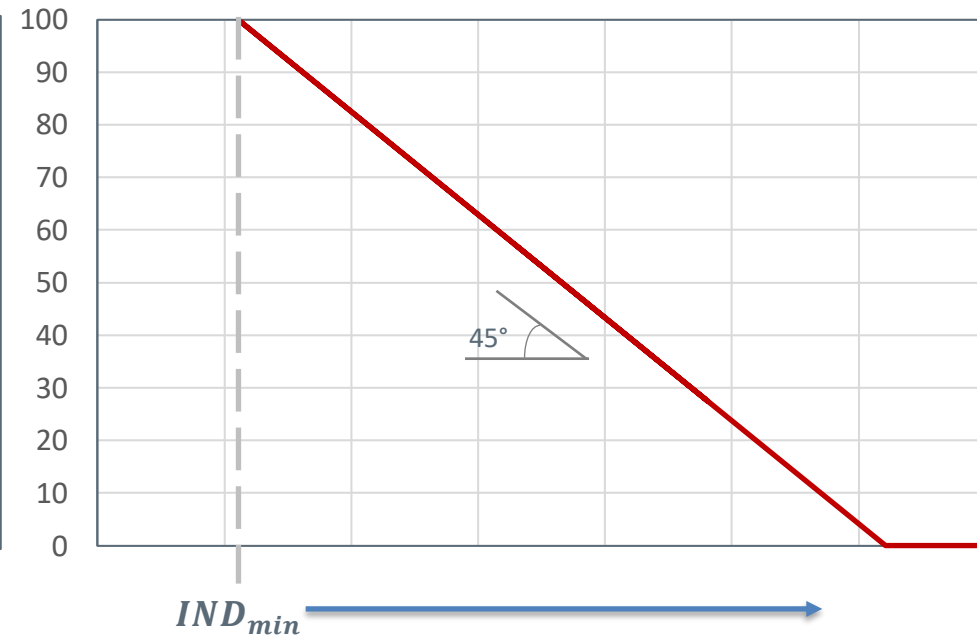
- Normalizzazione degli indicatori di valutazione finanziaria e ambientale

**INDICATORE FINANZIARIO
(VANF)**



Più piccolo è il VANF (ovvero maggiore sono i costi attualizzati) minore è la Performance Finanziaria

INDICATORI AMBIENTALI



Più grande è il valore dell'indicatore (ovvero dell'impatto ambientale) minore è la Performance Ambientale

CASO STUDIO (II): VALUTAZIONE CICLO-VITA DI SCENARI DI RINNOVO DI UNA FLOTTA DI AUTOBUS

SINTESI DEI RISULTATI E CONCLUSIONI

Scenari Ambito URBANO	A - Transizione graduale all'elettrico (LP) mantenendo diesel nel MP	A.bis - Transizione graduale all'elettrico (MP e LP) mantenendo una % di diesel (MP)	C - Convivenza alimentazione a metano e elettrico (MP e LP)	C.bis - Convivenza alimentazione a metano (Bio-metano per quanto possibile) e elettrico (MP e LP)	D - Tutto elettrico (MP e LP)	E - Transizione graduale all'idrogeno (LP) investendo nell'elettrico (MP e LP)
Nuove Acquisizioni						
VAN	100	86	91	76	75	56
GHG - CO2-eq	69	84	52	74	100	80
CO	63	83	0	0	100	100
NOx	92	96	59	59	100	100

↑
Dominato da A

↑
Dominato da A e da A.bis

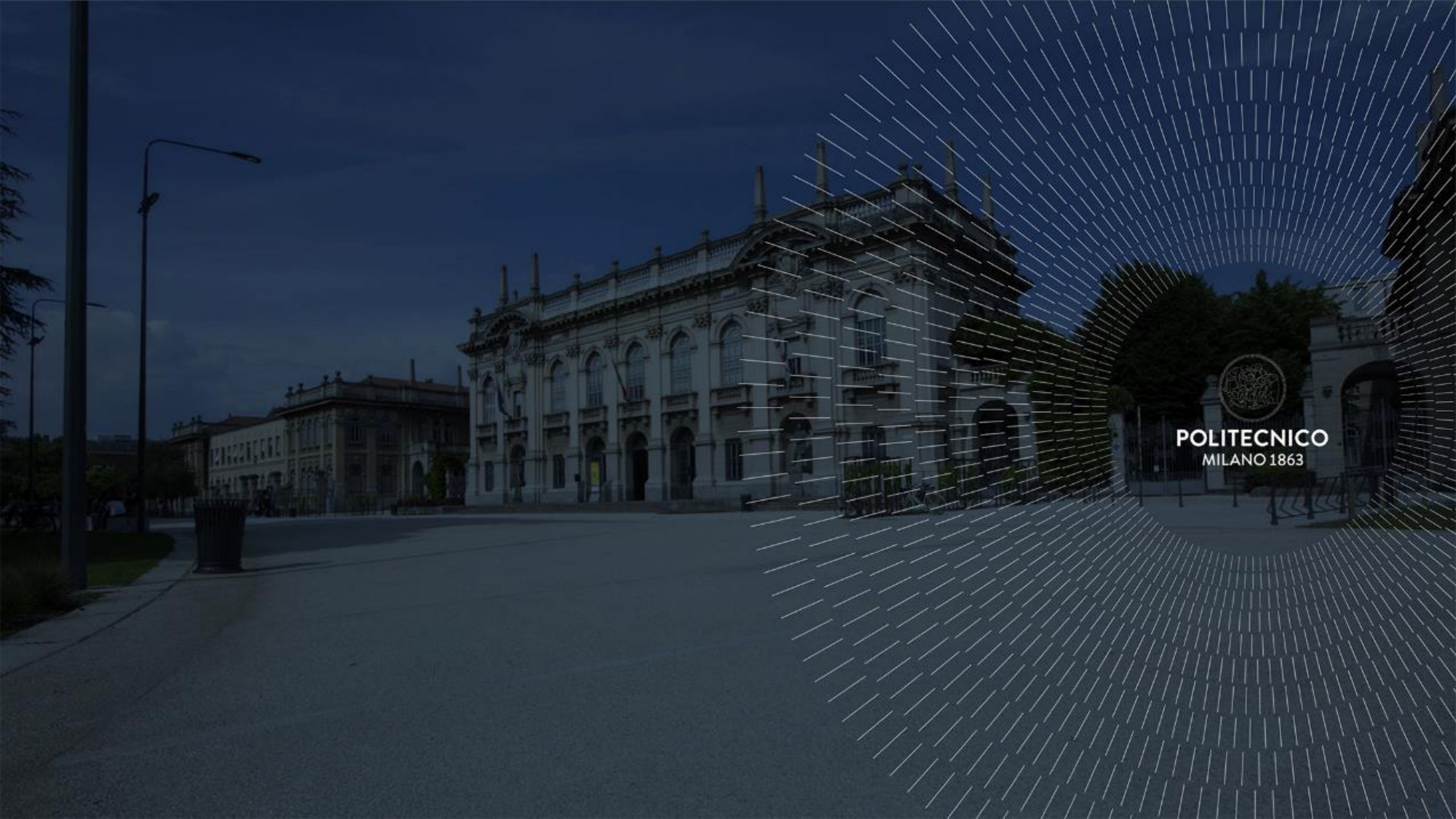
↑
Dominato da D

* Scala normalizzata [0-100]

CASO STUDIO (II): VALUTAZIONE CICLO-VITA DI SCENARI DI RINNOVO DI UNA FLOTTA DI AUTOBUS

SINTESI DEI RISULTATI E CONCLUSIONI

- Nel lungo periodo (2033) lo scenario «**tutto elettrico**» appare il meno impattante sotto il profilo energetico-ambientale: le emissioni dirette e di gas climalteranti (GHG) sono minori rispetto a tutti gli altri scenari anche nell'ipotesi di una produzione di energia elettrica ad alta intensità di Co2.
- Lo scenario che prevede l'introduzione di autobus a celle a combustibile a **idrogeno** risulta dominato dallo scenario 'tutto elettrico' sia per gli alti costi dei veicoli rispetto a quelli elettrici, sia per le alte emissioni di GHG per la produzione («well-to-tank») dell'idrogeno.
- Una transizione verso lo scenario 'tutto elettrico' mantenendo una quota di investimenti in autobus **diesel** consente un risparmio di costi finanziari (variabile in funzione della quota di investimenti diesel), a fronte di un incremento di emissioni dirette e di GHG.
- Scenari che considerano una transizione con mezzi alimentati a metano (o biometano) risultano dominati.




POLITECNICO
MILANO 1863