

# Analisi delle opportunità e delle criticità per la transizione energetica nel TPL in Italia

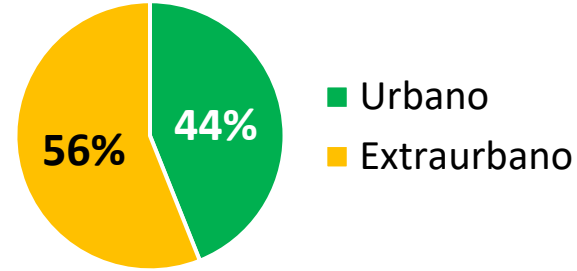
Prof. Ing. Pierluigi Coppola  
Ing. Francesco De Fabiis



POLITECNICO  
MILANO 1863

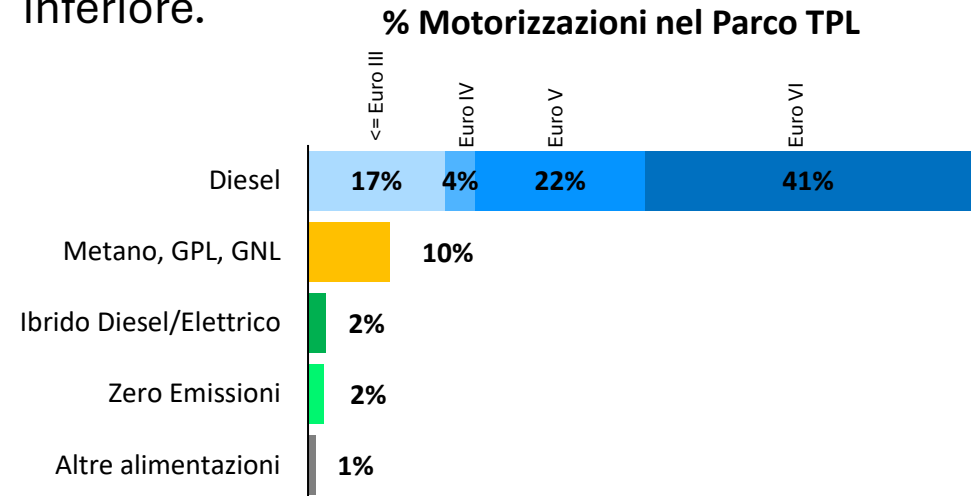
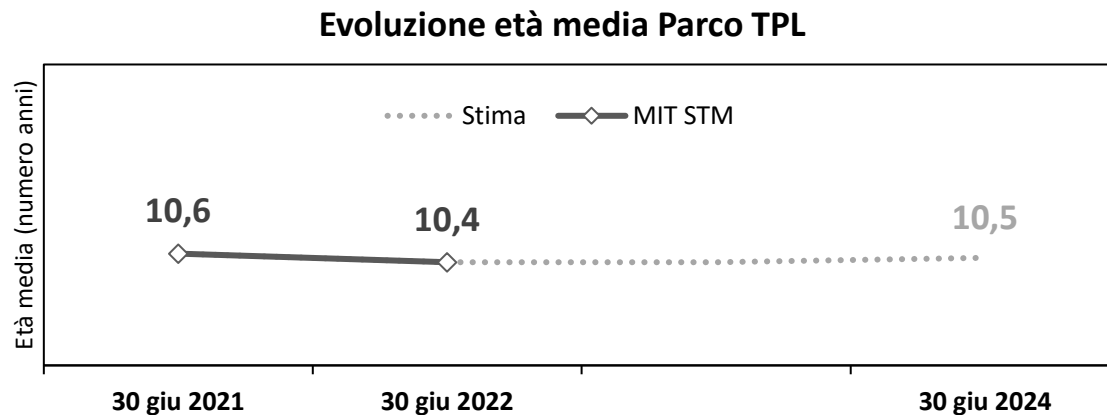
# Numeri del Parco Autobus per il TPL in Italia\*

Il parco autobus per il Trasporto Pubblico Locale si compone di circa **43mila autobus**, di cui circa **19mila** mezzi per il servizio urbano e i restanti **24mila** per il servizio extraurbano.



L'età media del parco autobus al 30 giugno 2024 è stimata pari a **10,5 anni** (circa 9,5 per la flotta urbana e 11,3 per quella extraurbana).

Il parco è costituito per l'85% di motorizzazioni Diesel, di cui il 50% di classe ambientale Euro V o inferiore.



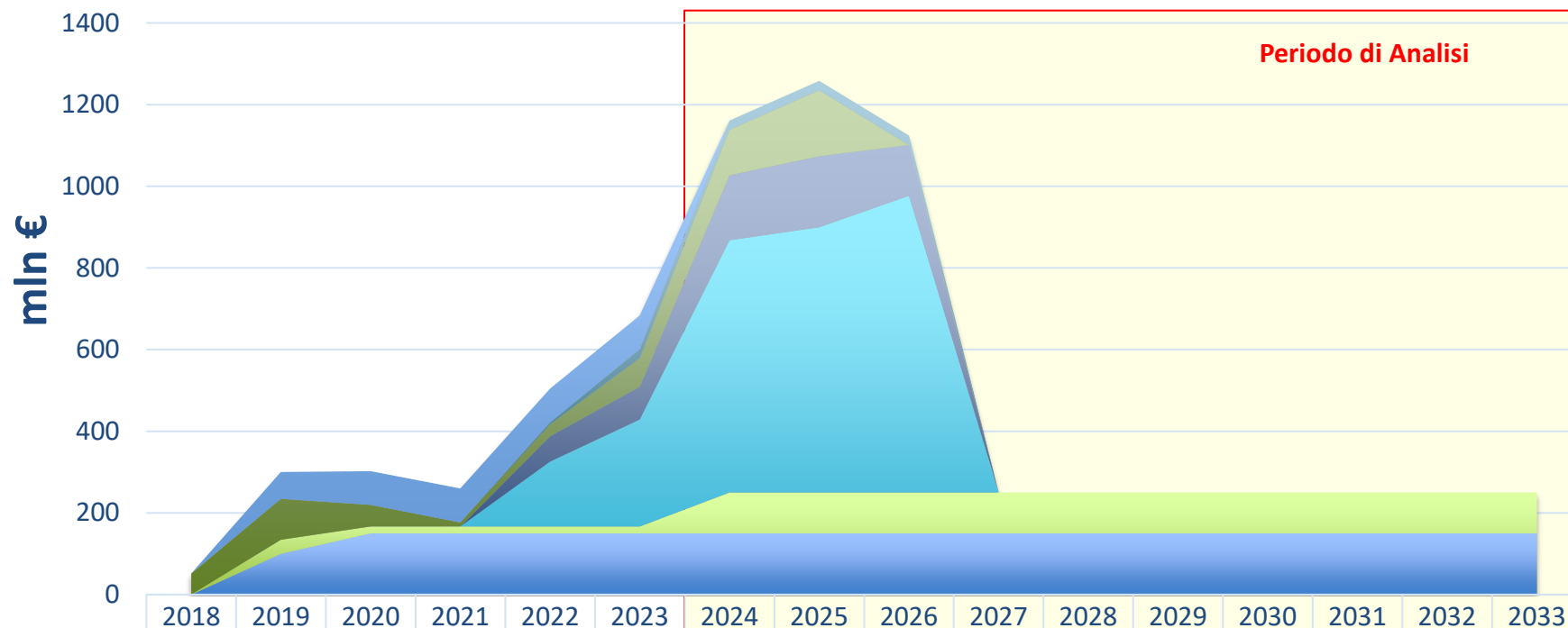
\* Elaborazioni e stime su dati MIT – STM (settembre 2022) e ANFIA - Associazione Nazionale Filiera Industria Automobilistica

# Fondi per il Rinnovo Flotte Bus TPL - Disponibilità Finanziaria Annuale

Dei finanziamenti stanziati per il rinnovo del parco autobus (v. tabella), da spendere dal 2024 (luglio) al 2033 ne restano circa

**5,2 miliardi**, di cui :

- - 3,7 mld per rinnovo degli **autobus urbani**,
- - 1,5 mld per rinnovo degli **autobus extraurbani**.



	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
PSNMS Citta Alto Inquinamento [tot. 398 mln€]		66	83	83	83	83										
256/2022 e s.m.i. [tot. 96 mln€]					5	22	23	23	23							
Piano Operativo Infrastrutture + Addendum [tot. 591 mln€]	52	100	52	10	28	70	111	161	0	0	0					
PNC [tot. 600 mln€]					62	81	159	174	124							
PNRR - Rinnovo Flotte [tot. 2,4 Mld€]					159	262	618	650	727							
PSNMS Citta Metropolitane e Grandi Comuni [tot. 1,1 Mld€]		34	17	17	17	17	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
PSNMS Regioni [tot. 2,2 Mld€]		100	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

# Regole di utilizzo dei fondi e norme EU

Tutti i fondi disponibili non prevedono la possibilità di acquisto di autobus Diesel; questo vincolo è più stringente delle indicazioni della Commissione EU:

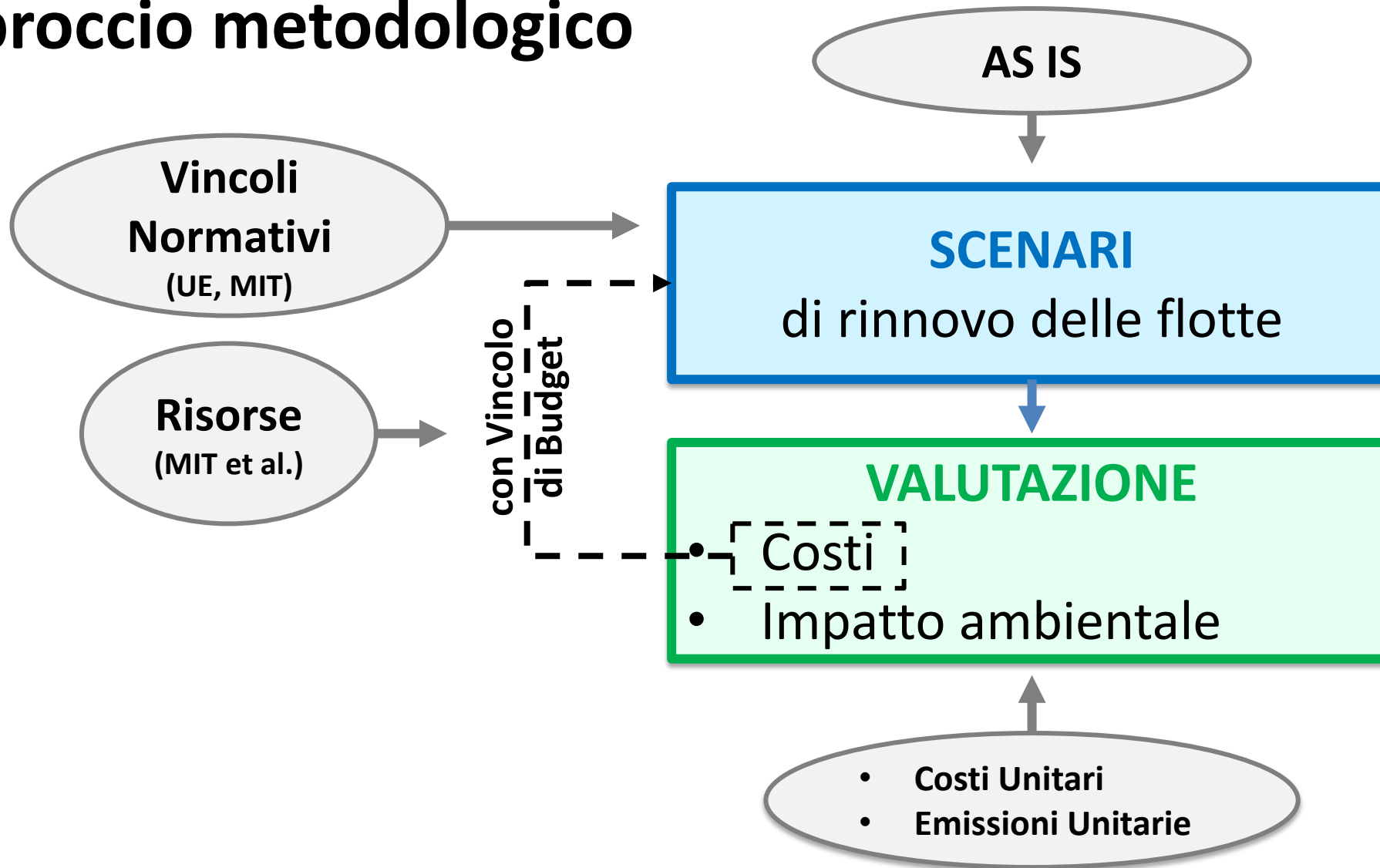
- **Direttiva 2019/1161** → Definisce quote minime d'acquisto di bus urbani a zero emissioni fino al 2030 \*
- **Regolamento 2024/1610** → A partire dal 2030, definisce quote minime d'acquisto di bus urbani a zero emissioni, e le percentuali (%) di riduzioni di emissioni medie CO2 Tank-To-Wheel rispetto al 2019 per i nuovi bus extraurbani immatricolati



NOTA: sebbene dal 2029 sarà obbligatorio per i costruttori immatricolare solo autobus con i nuovi standard emissivi Euro VII, le simulazioni nello studio sono state effettuate prendendo in considerazione i valori di emissioni unitari degli autobus Euro VI; si ritiene che questa assumption non modifichi le conclusioni del presente studio.

\* Non applicabile a tutte le aziende TPL

# Approccio metodologico



# Scenari

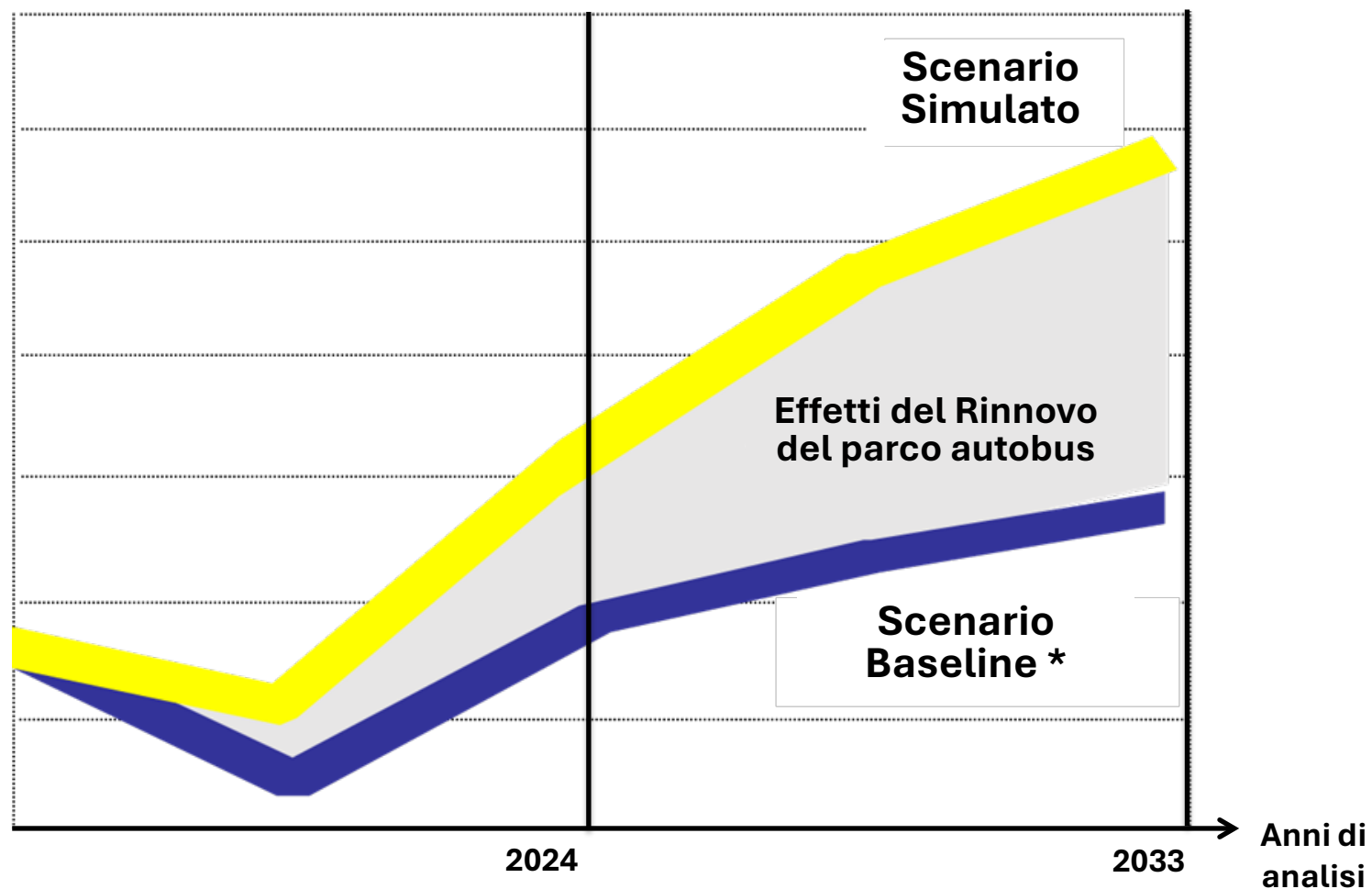
	Urbano	ExtraUrbano
<b>Baseline</b>	<b>[Diesel Euro VI]</b> <i>(tutte nuove acquisizioni diesel alimentate con gasolio tradizionale)</i>	<b>[Diesel Euro VI]</b> <i>(tutte nuove acquisizioni diesel alimentate con gasolio tradizionale)</i>
<b>HVO</b>		<b>[HVO]</b> <i>(nuove acquisizioni diesel alimentate con HVO)</i>
<b>Business-as-Usual</b> <i>(compliance con fondi italiani disponibili)</i>	<b>[Tutto Elettrico]</b> <i>(tutte nuove acquisizioni BEB)</i>	<b>[LNG – H2 – BEB]</b> <i>(*)</i>
<b>Compliance EU</b>	<b>[BEB.EU]</b> <i>(Acquisizioni BEB secondo vincoli da Normativa e Regolamento)</i>	<b>[LNG – H2 – BEB. EU]</b> <i>(**)</i>
<b>Compliance EU graduale</b>	<b>[BEB.g]</b> <i>(Acquisizioni BEB secondo vincoli da Normativa e Regolamento <b>ridotti</b>)</i>	

(\*) No acquisizioni Diesel, ma solo (bio-)LNG, Idrogeno ed Elettrico (quest'ultimo nel lungo periodo) secondo un mix variabile nei seguenti range (bio-)LNG tra 75% e 50%; Idrogeno tra 20% e 40%; elettrico tra 5-10%

(\*\*) Acquisizioni diesel fino al 2030, e poi si acquista un mix di motorizzazioni e vettori energetici che consente la riduzione delle emissioni tank-to-wheel del 43% (come da Reg.EU 1610/2024)

# Indicatori di valutazione

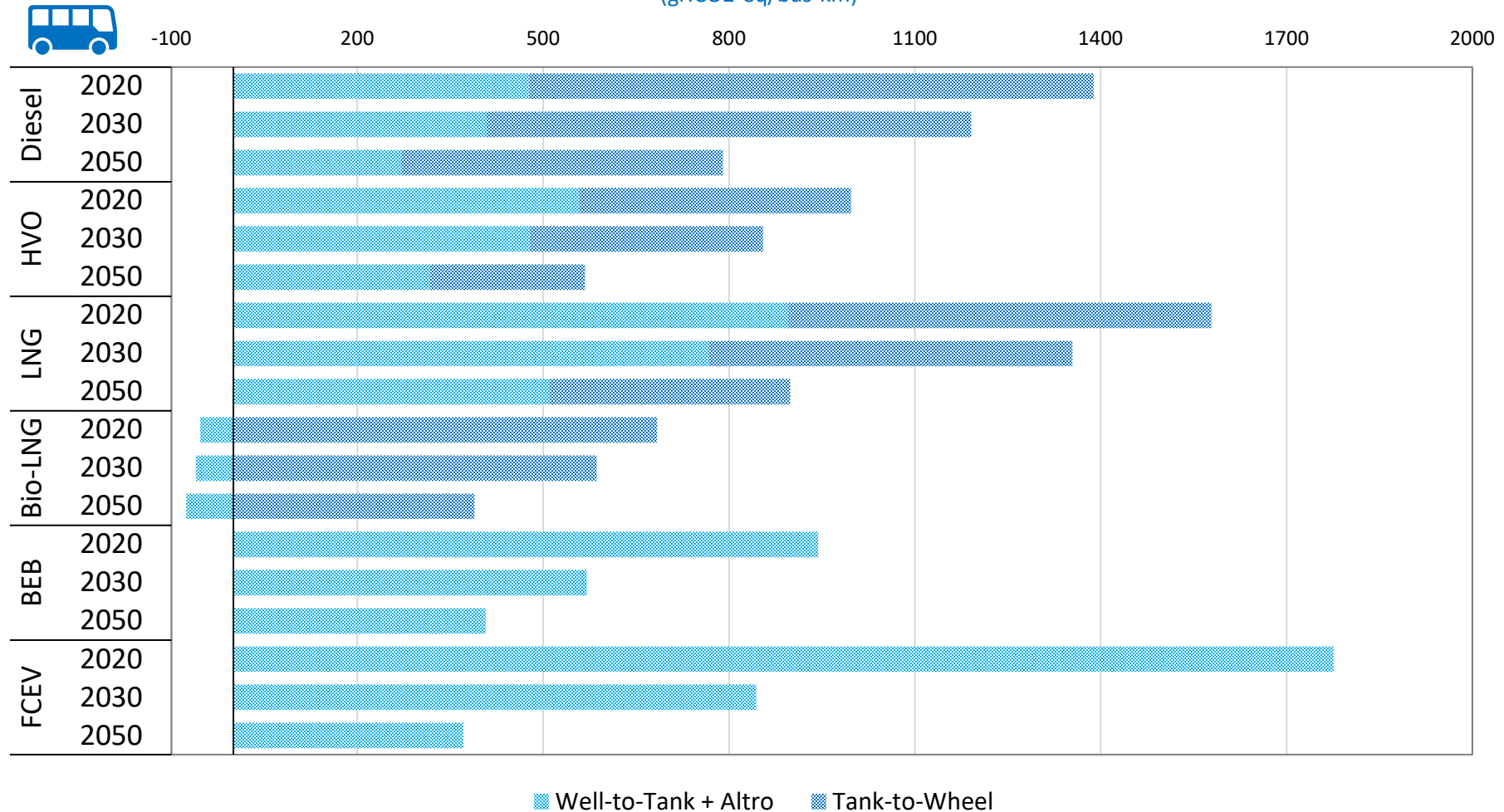
- Numero di **nuovi bus** acquistati
- **Età media** del parco
- Variazione di **costi** di trazione e manutenzione
- Variazione di **CO2 equivalente** (cambiamento climatico)
- Variazione di **emissioni dirette** (qualità dell'aria)



\* *Baseline: acquisizione di soli nuovi autobus Diesel EURO VI, alimentati con gasolio tradizionale*

# Approccio metodologico: Life-Cycle Assessment (LCA)

## Emissioni Climalteranti Life-Cycle (gr.CO2-eq/bus-km)

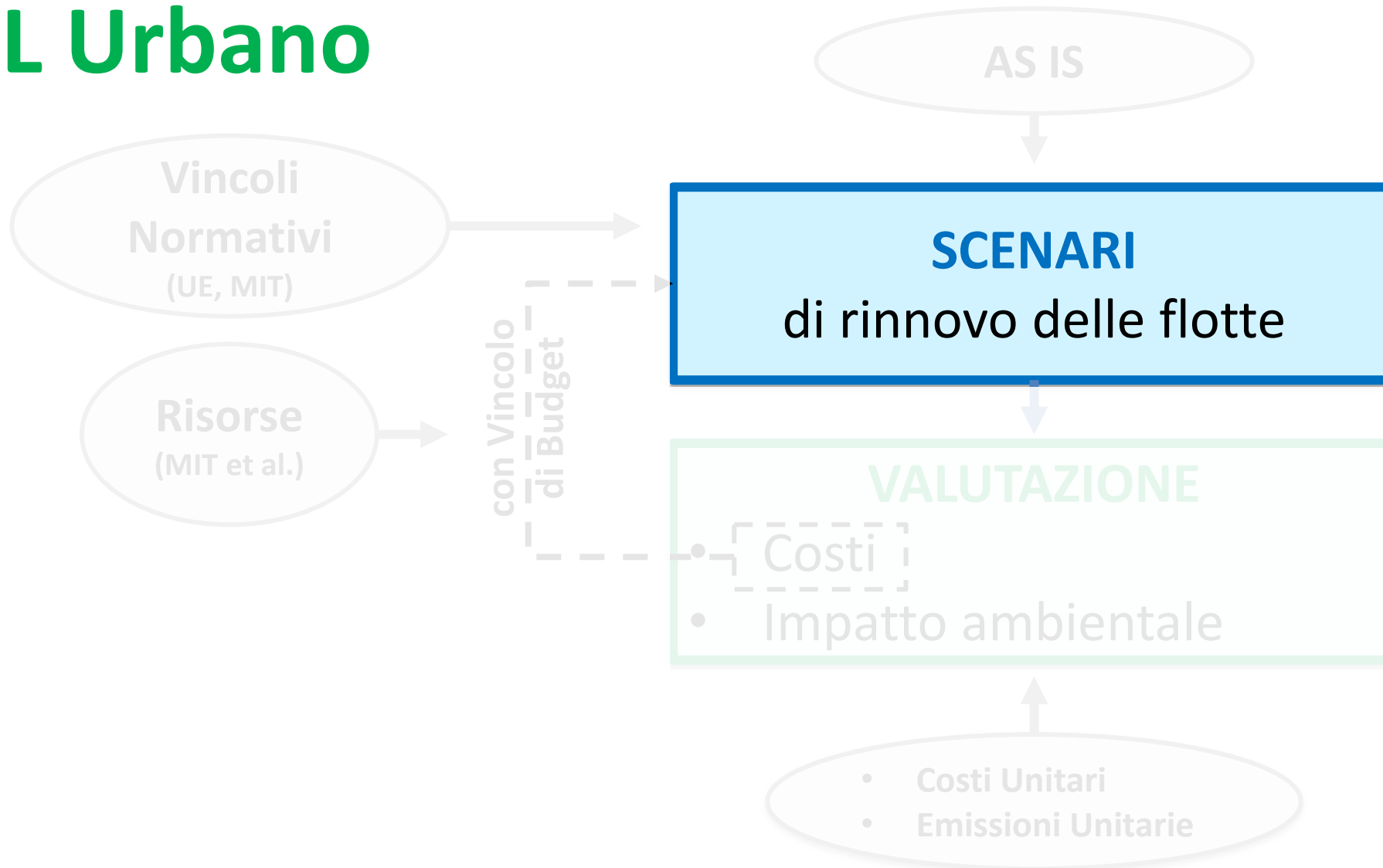




---

# TPL Urbano

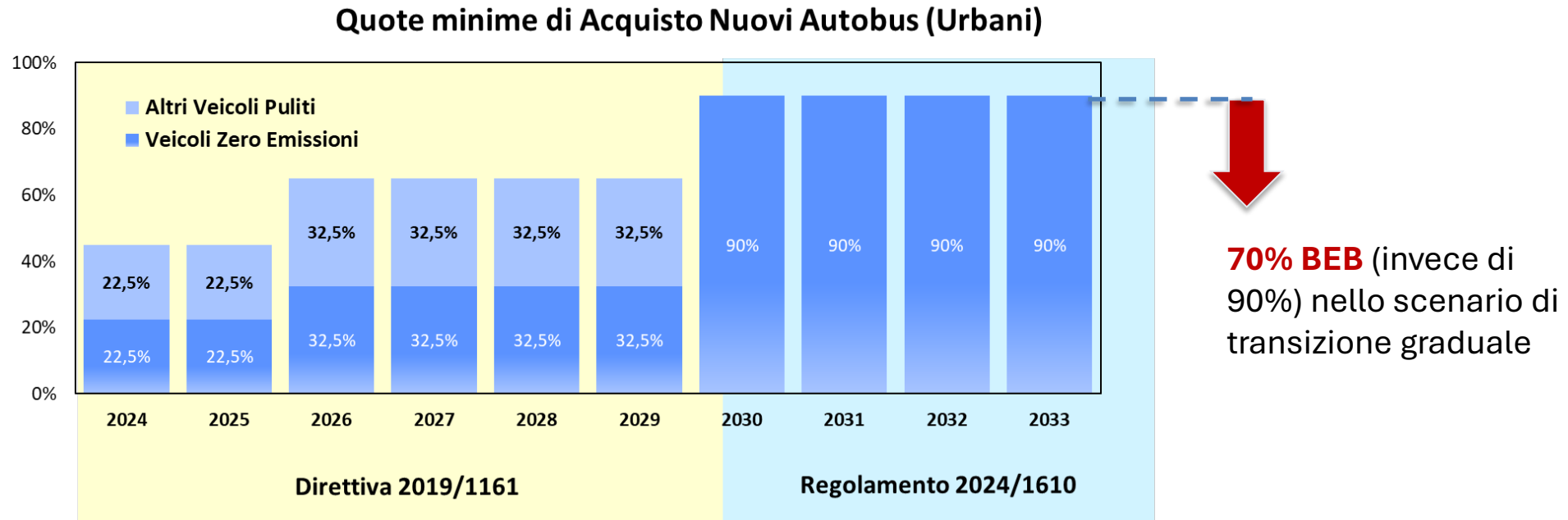
# TPL Urbano



# Scenari di Rinnovo delle Flotte - TPL Urbano

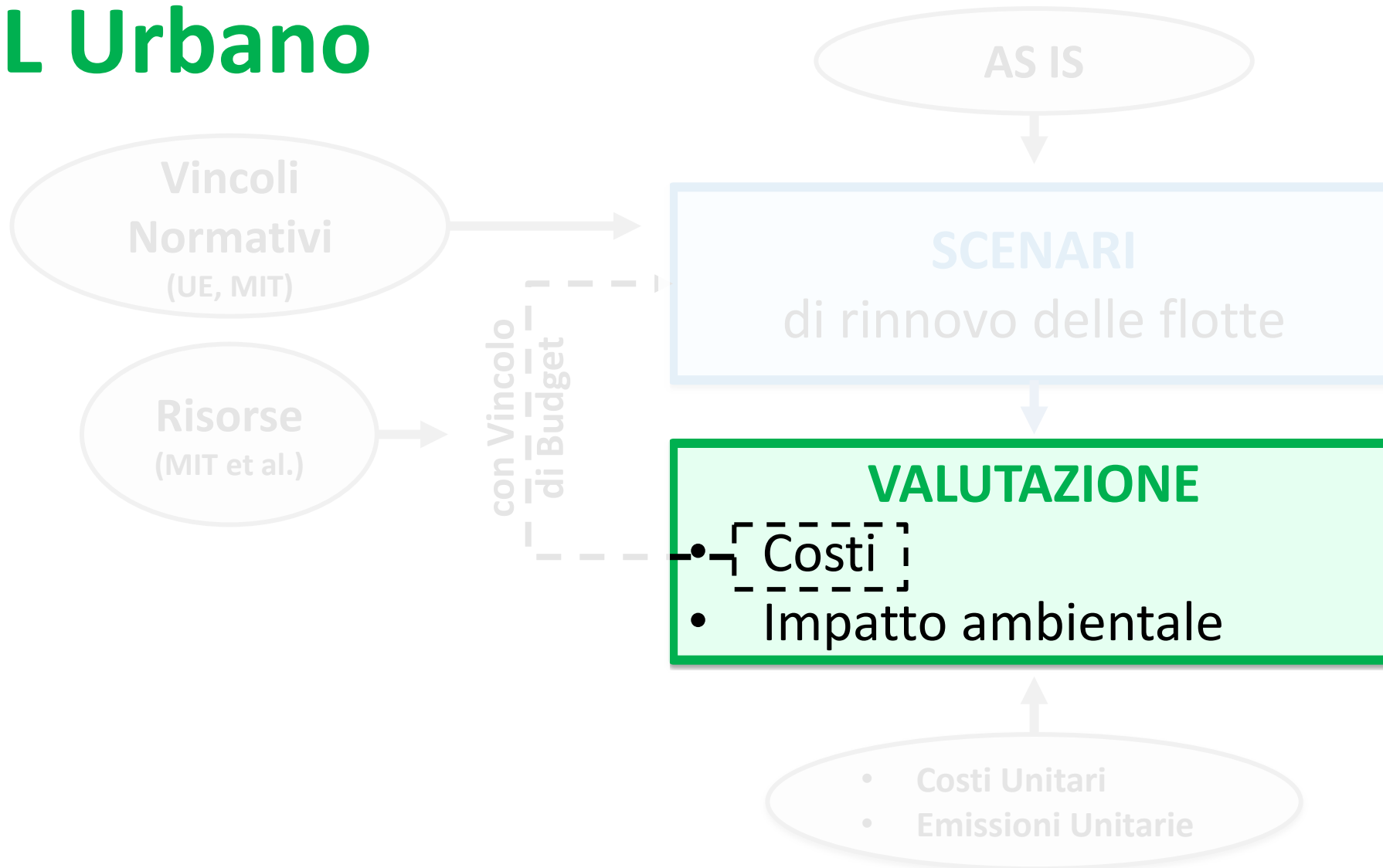
Motorizzazioni/Vettori Energetici considerati: Diesel, Elettrico a Batteria (BEB)

- **Scenario «Tutto elettrico»:** transizione 'veloce' verso BEB
- **Scenario «BEB.EU»:** Transizione come da normativa EU
- **Scenario «BEB.g»:** Transizione 'graduale' verso BEB



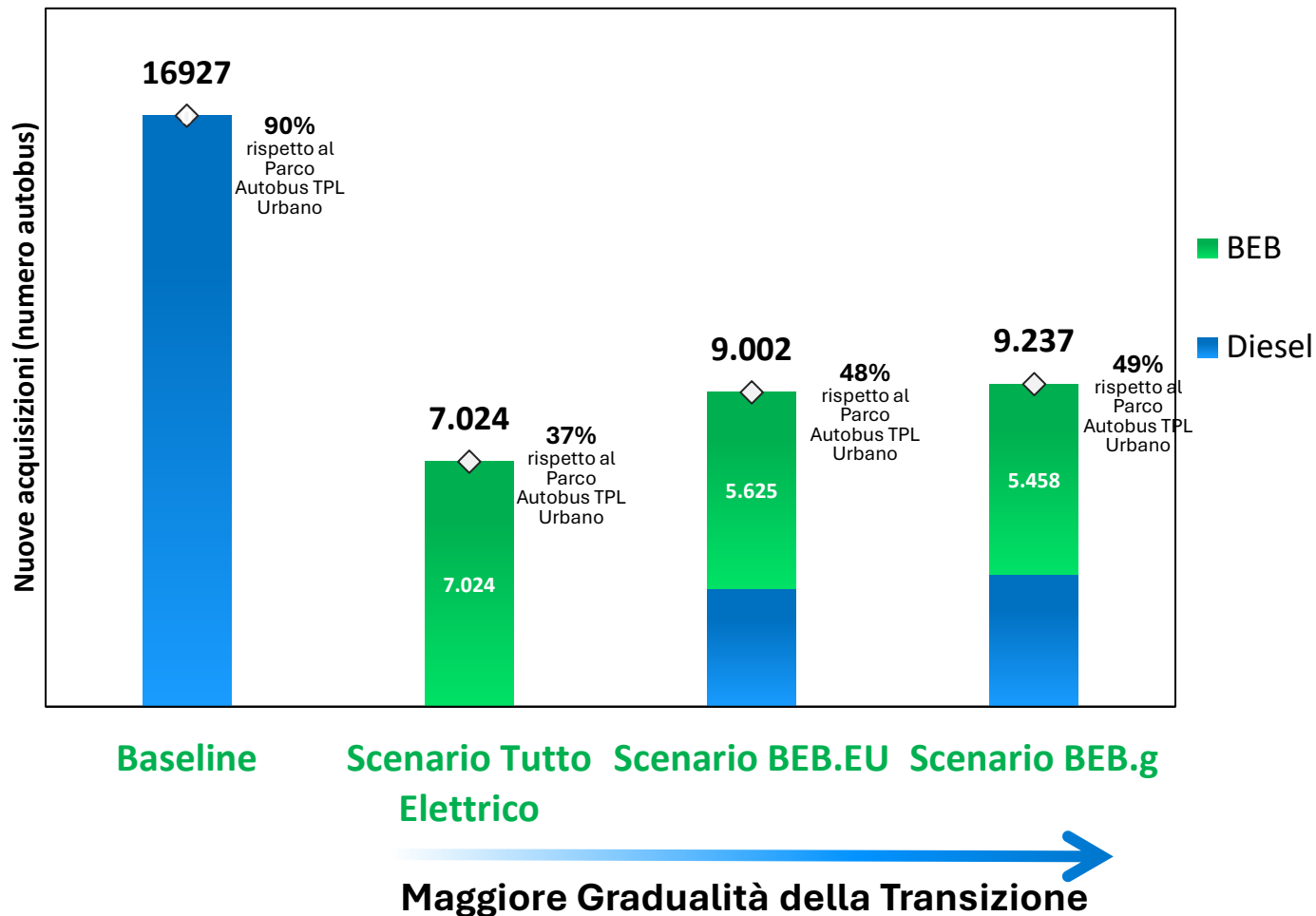
- *Direttiva 2019/1161* (<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2019/1161/oj/ita/pdf>)
- *Regolamento 2024/1610* ([https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=OJ:L\\_202401610](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401610))

# TPL Urbano



# Valutazione Scenari - TPL Urbano

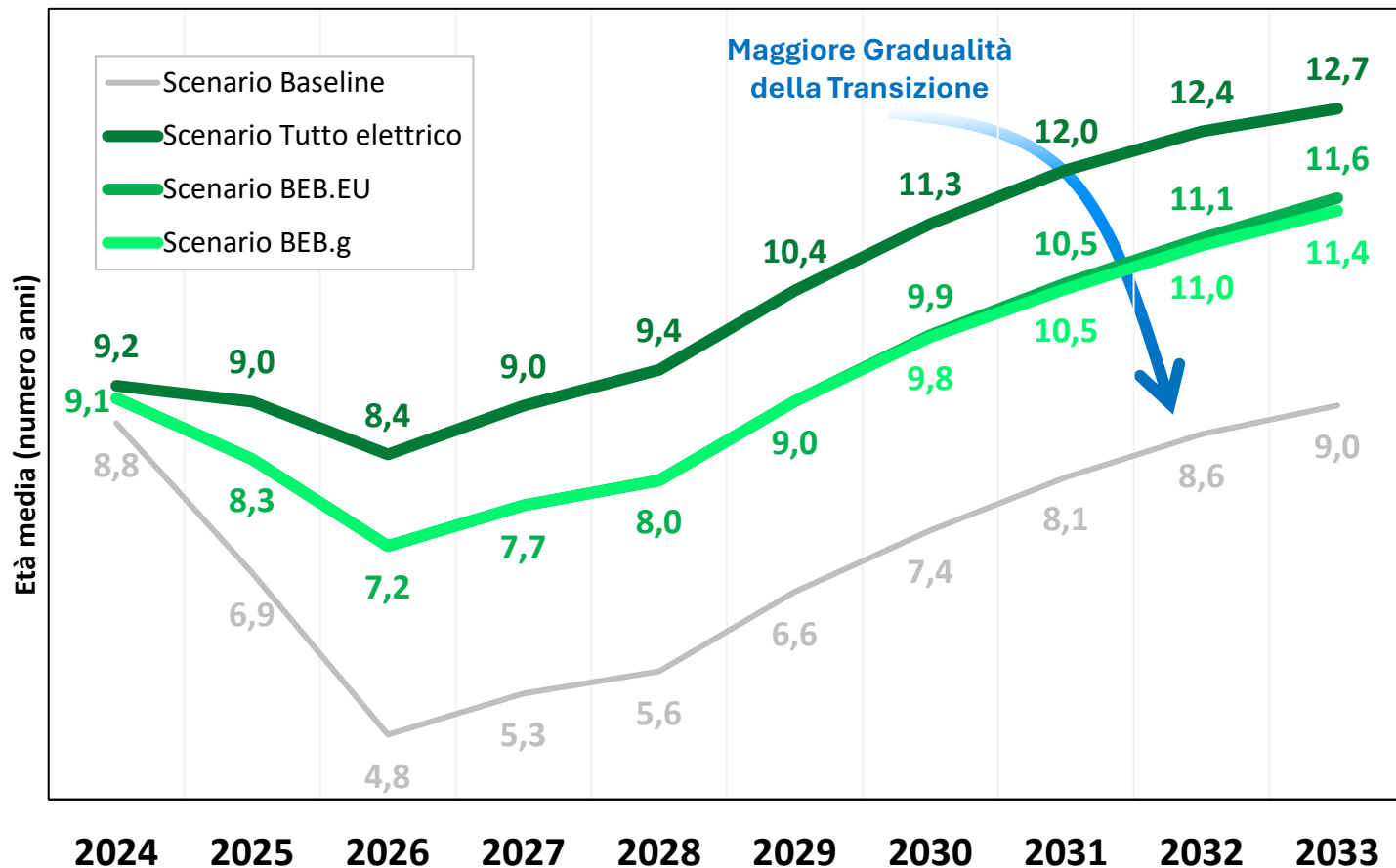
## Nuove Acquisizioni nel Periodo 2024-2033



- Nello scenario **Baseline** (ovvero procedendo esclusivamente a nuove acquisizioni diesel) si riesce a rinnovare il **90%** (circa **17 mila** autobus) **della flotta attuale**
- Nello **scenario di transizione «tutto Elettrico»** si riesce ad acquistare circa **7000** nuovi autobus pari al **37%** della flotta attuale
- Negli **scenari di transizione più graduale (BEB.EU e BEB.g)** si riesce ad acquistare un numero maggior di nuovi autobus (**9000** e **9200** rispettivamente) rispetto allo scenario in cui si acquistano solo autobus elettrici, rispettivamente **+28%** e **+32%**

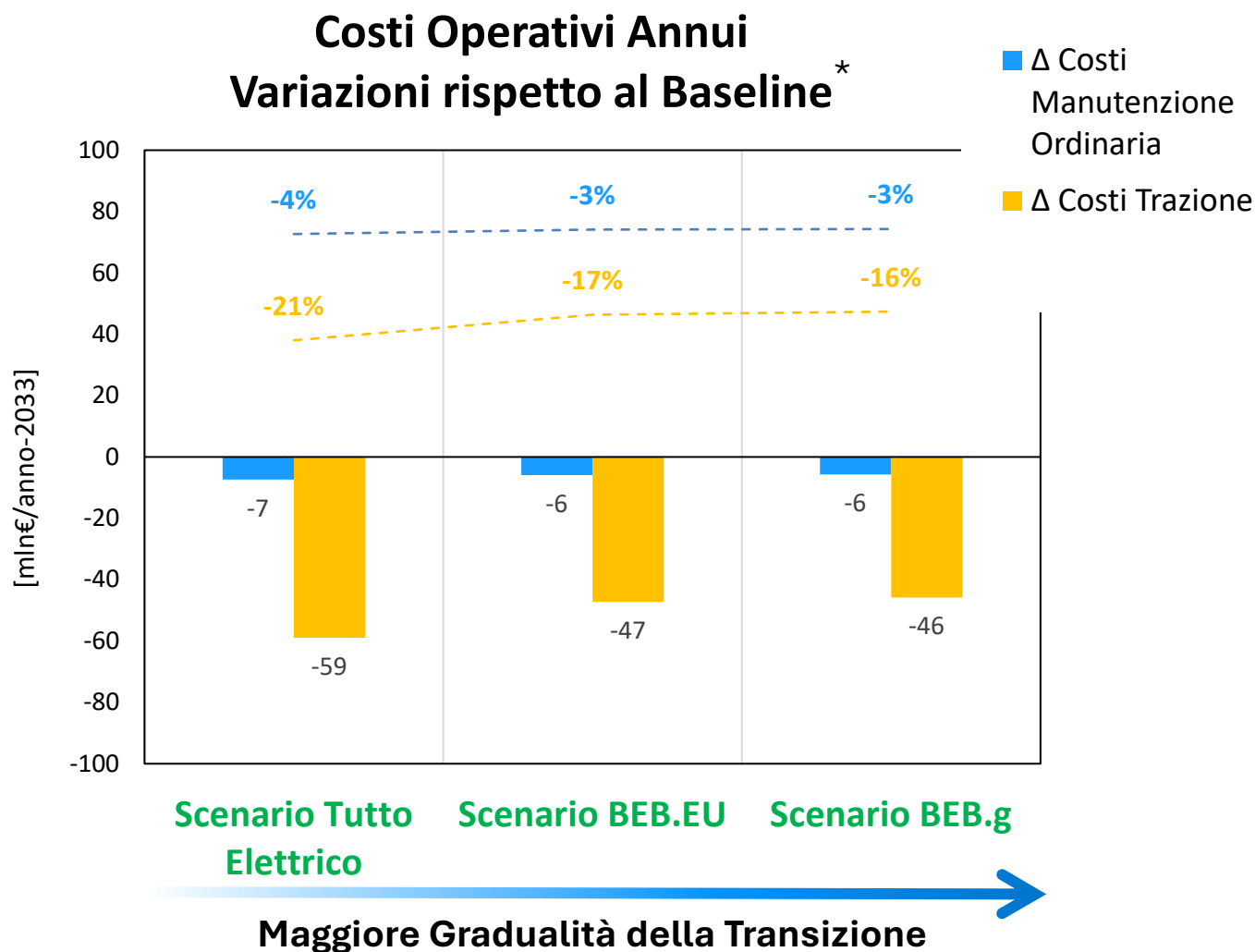
# Valutazione Scenari - TPL Urbano

## Età media della Flotta nel Periodo 2024-2033



- I fondi disponibili per il rinnovo degli autobus urbani (concentrati tra il **2024-2026**) consentono una significativa **riduzione dell'età media della flotta** di autobus urbani
- Negli **scenari di transizione BEB.EU e BEB.g** si raggiunge un'età media del parco autobus TPL urbano pari a circa 7 anni nel 2026 (7,5 anni standard EU)
- A partire dal 2026 l'età media del parco ricomincia a crescere: **occorrono fondi aggiuntivi** per mantenere l'età media in linea con lo standard EU

# Valutazione Scenari - TPL Urbano



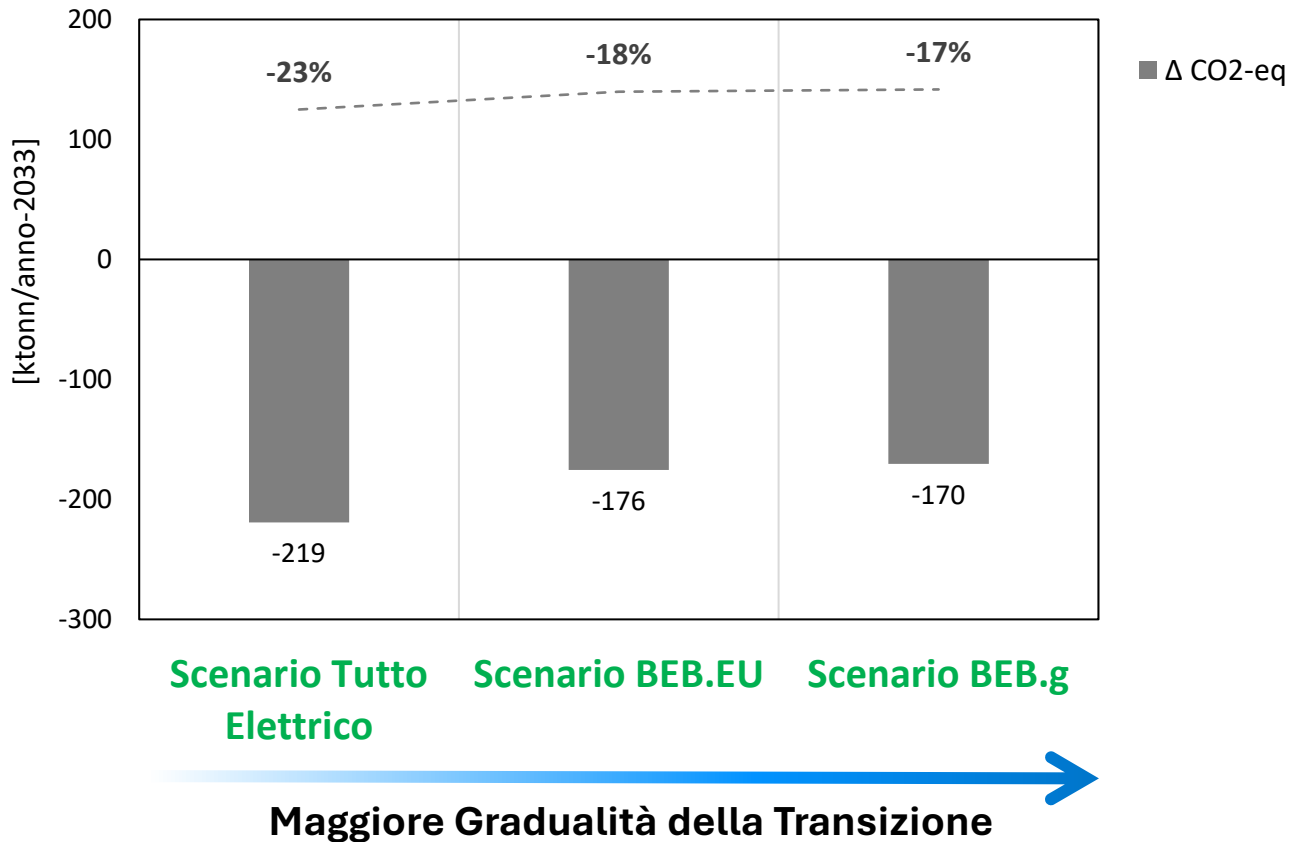
- In tutti gli scenari si stima una **riduzione dei costi di trazione** rispetto allo Scenario Baseline (\*) e anche una (seppur minima) riduzione dei **costi di manutenzione**
- Tale riduzione è maggiore (-21% vs. -17/-16% per i costi di trazione; -4% vs. -3% per i costi di manutenzione ordinaria) nello scenario «**Tutto elettrico**» in quanto la trazione e la manutenzione dei BEB ha costi unitari minori rispetto agli autobus diesel

NOTA: Le variazioni di costi sono state calcolate a **parità del numero di autobus per la copertura del servizio**, sebbene il passaggio all'elettrico potrebbe comportare un incremento della dimensione della flotta a parità di servizio.

\* **Baseline:** acquisizione di soli nuovi autobus Diesel EURO VI, alimentati con gasolio tradizionale

# Valutazione Scenari - TPL Urbano

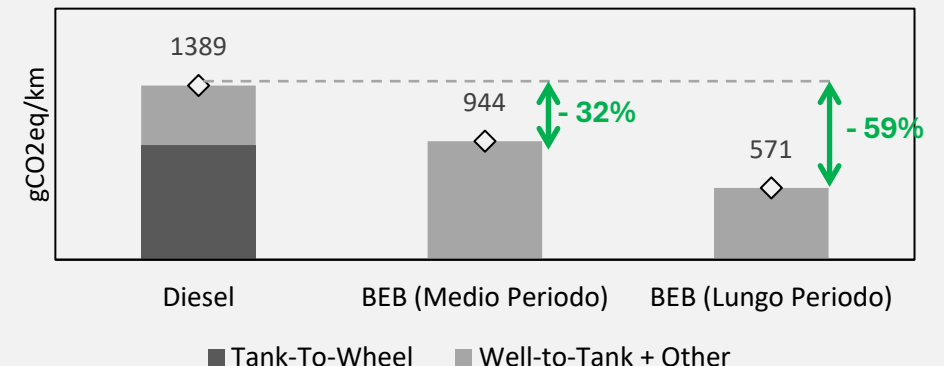
## Emissioni CO2-eq Annue Variazioni rispetto al Baseline\*



- La riduzione di CO2 è pari al **-23%** nello scenario di acquisizione di soli autobus elettrici e di circa il **-18%/-17%** negli altri scenari.

Ciò è dovuto al minore impatto unitario (soprattutto Tank-to-Wheel) degli autobus elettrici, pari a **-32%** (stima di medio periodo, fino al 2030) e **-59%** (stima di lungo periodo, dal 2030)

## Emissioni Unitarie gCO2eq/km

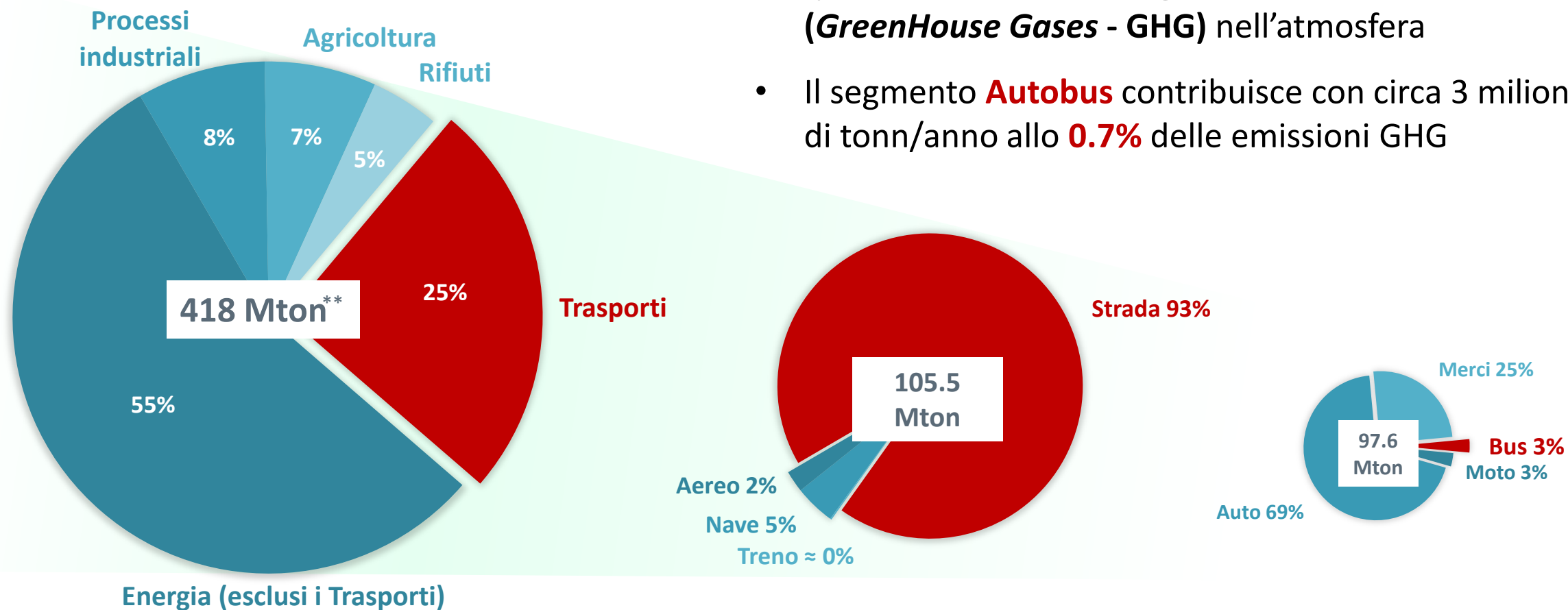


\* **Baseline:** acquisizione di soli nuovi autobus Diesel EURO VI, alimentati con gasolio tradizionale



# Le emissioni di Gas Climalteranti in Italia\*: il peso del TPL

- La mobilità e i trasporti contribuiscono per circa un quarto alle emissioni di **gas climalteranti (GreenHouse Gases - GHG)** nell'atmosfera
- Il segmento **Autobus** contribuisce con circa 3 milioni di tonn/anno allo **0.7%** delle emissioni GHG

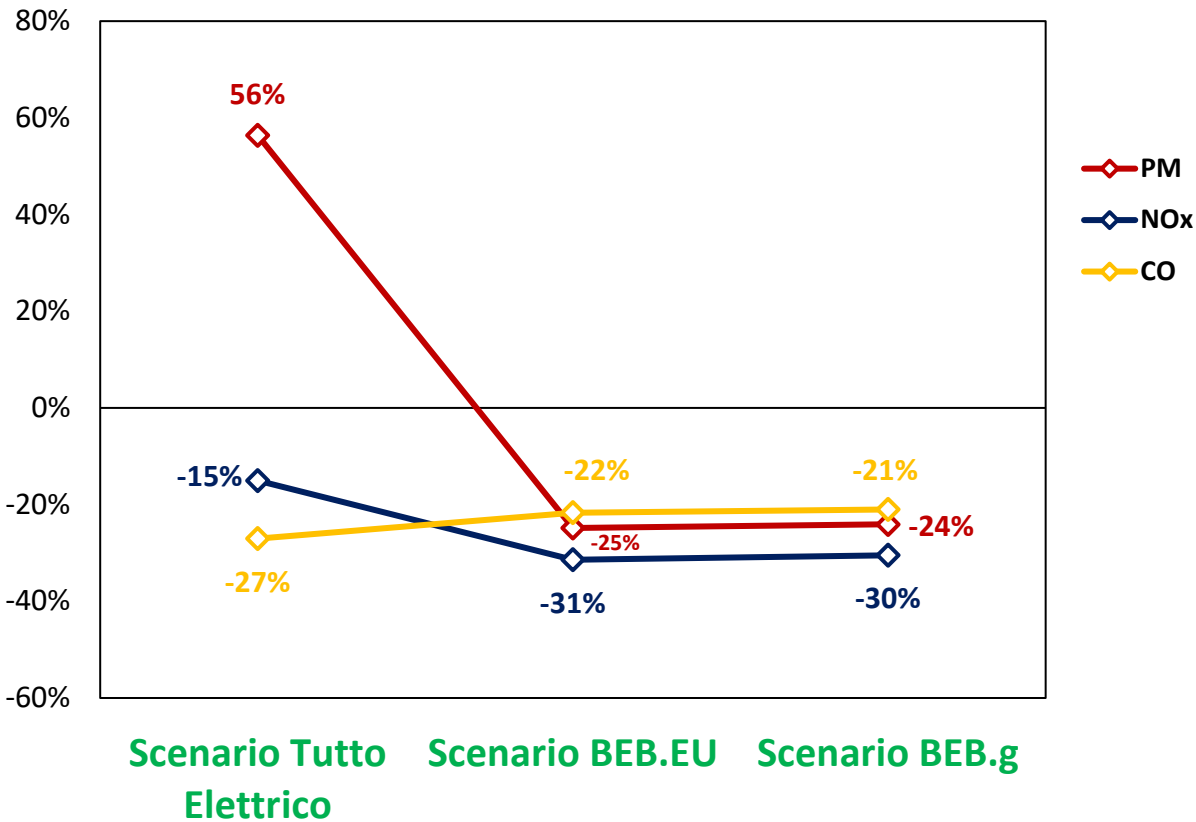


\*Elaborazioni su dati **ISPRA (2021) – Italian Greenhouse Gas National Inventory Report**

\*\* escluse le emissioni Land use, land-use change and forestry (LULUCF) (-41.6 Mton)

# Valutazione Scenari - TPL Urbano

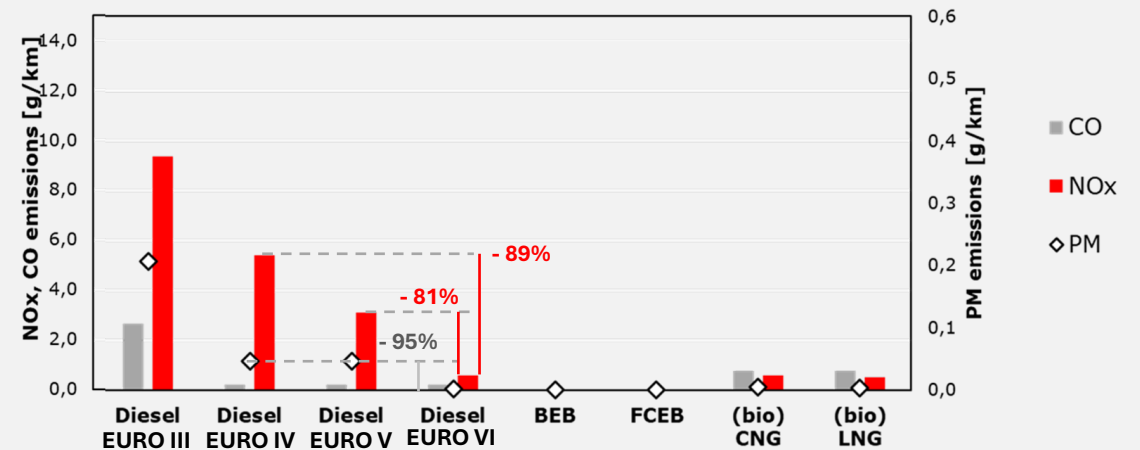
## Emissioni Dirette Annue Variazioni rispetto al Baseline \*



Maggiore Gradualità della Transizione

- L'acquisto di un maggior numero di nuovi autobus permette di sostituire autobus di classe EURO IV e EURO V, con conseguente maggiore riduzione di PM2,5 e NOx.

Ciò è dovuto al minore impatto unitario di PM2,5 e NOx di motorizzazioni Diesel EURO VI, rispetto a Diesel EURO IV (-95% PM2,5; -89% NOx) e EURO V (-95% PM2,5; -81% NOx).



\* **Baseline:** acquisizione di soli nuovi autobus Diesel EURO VI, alimentati con gasolio tradizionale

---

# TPL ExtraUrbano

# TPL ExtraUrbano



# Scenari di Rinnovo delle Flotte - TPL ExtraUrbano

Motorizzazioni/Vettori  
Energetici

Diesel

HVO

(Bio-)LNG

Idrogeno - FCEV

Elettrico - BEB

Scenari  
nuove acquisizioni autobus

[Baseline]

*(tutte nuove acquisizioni diesel alimentate con gasolio tradizionale)*

[HVO]

*(nuove acquisizioni diesel alimentate con HVO)*

[LNG – H2 – BEB]

No acquisizioni Diesel, ma solo (bio-) LNG, Idrogeno ed Elettrico (quest'ultimo nel lungo periodo) secondo un mix variabile nei seguenti range:

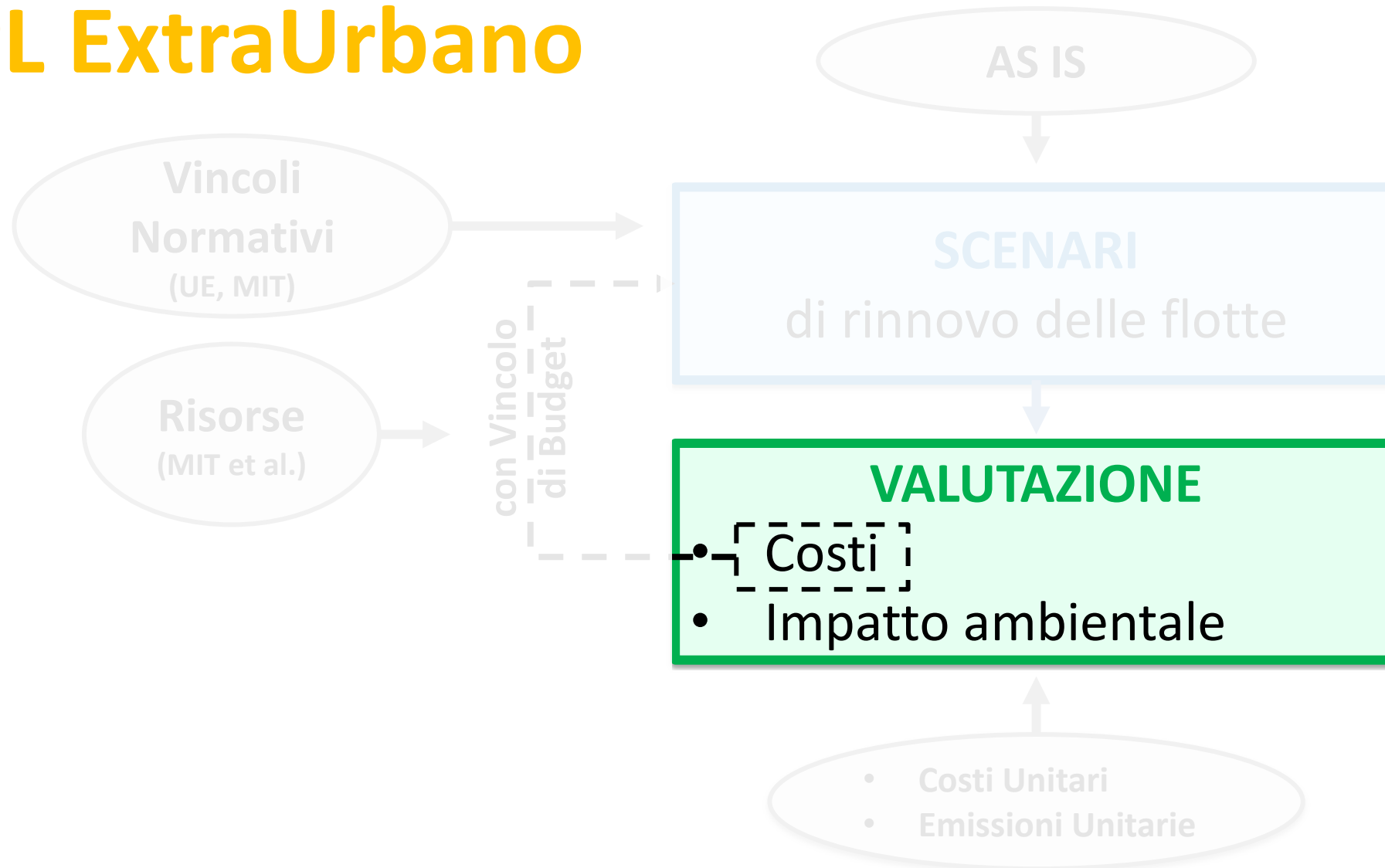
- (bio-)LNG tra 75% e 50%;
- Idrogeno tra 20% e 40%;
- elettrico tra 5-10%

[LNG – H2 – BEB.EU] \*

Acquisizioni diesel fino al 2030, e poi si acquista un mix di motorizzazioni e vettori energetici, ossia Diesel, (bio-LNG), FCEV e BEB, in percentuali tali da consentire la riduzione delle emissioni medie complessive tank-to-wheel dei nuovi veicoli del 43%, rispetto al 2019.

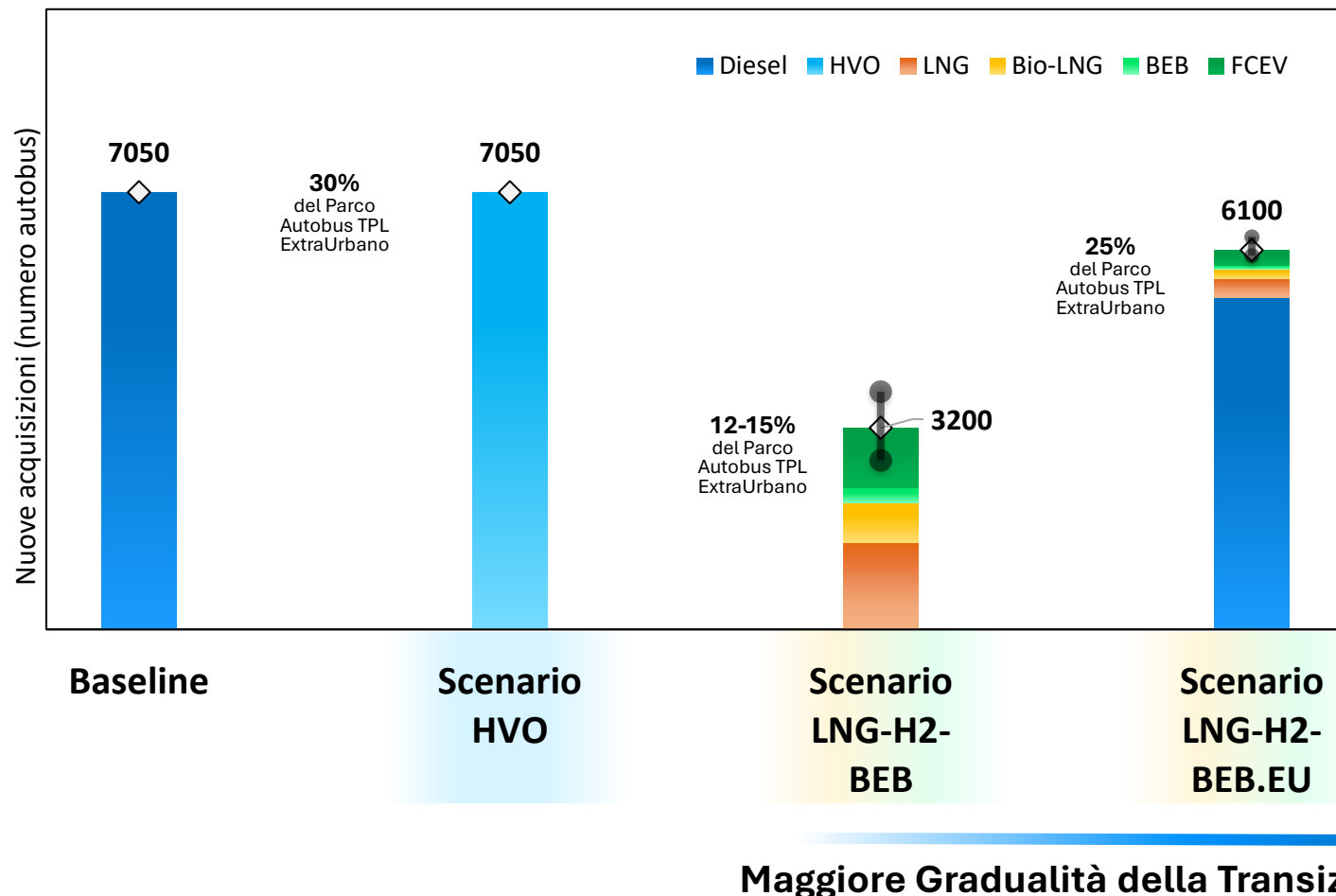
\* Regolamento 2024/1610 ([https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=OJ:L\\_202401610](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401610)) per gli autobus del TPL: le **emissioni Tank-to-Wheel** dei nuovi veicoli immatricolati **devono ridursi del 43% a partire da 2030** (64% dal 2035 e 90% dal 2040) rispetto ai livelli del 2019.

# TPL ExtraUrbano



# Valutazione Scenari – TPL ExtraUrbano

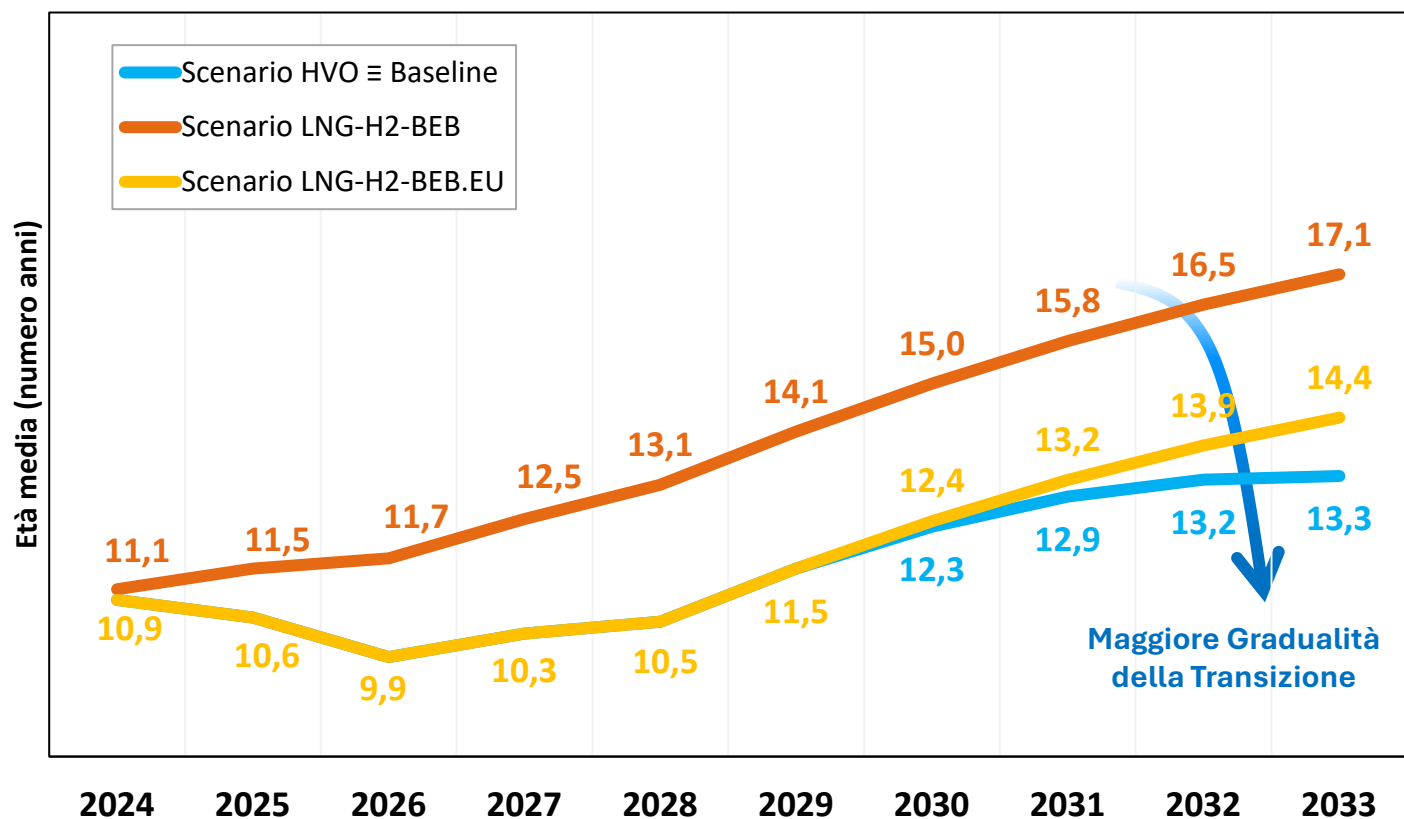
## Nuove Acquisizioni nel Periodo 2024-2033



- Nello Scenario Baseline (e **HVO**) si riesce a rinnovare il **30% del parco attuale** (circa **7000** autobus) in esercizio nei contesti extraurbani
- Con i vincoli dei **fondi italiani** (che non consentono acquisizioni diesel): il numero di autobus che si riesce a rinnovare varia **tra 3000 e 3500** in base al mix tecnologico delle nuove acquisizioni (LNG-H2-BEB)
- Rispettando i **vincoli EU** (che non consentono acquisizioni diesel solo a partire dal 2030) si riescono ad acquisire circa **6100** nuovi autobus

# Valutazione Scenari – TPL ExtraUrbano

## Età media della Flotta nel Periodo 2024-2033



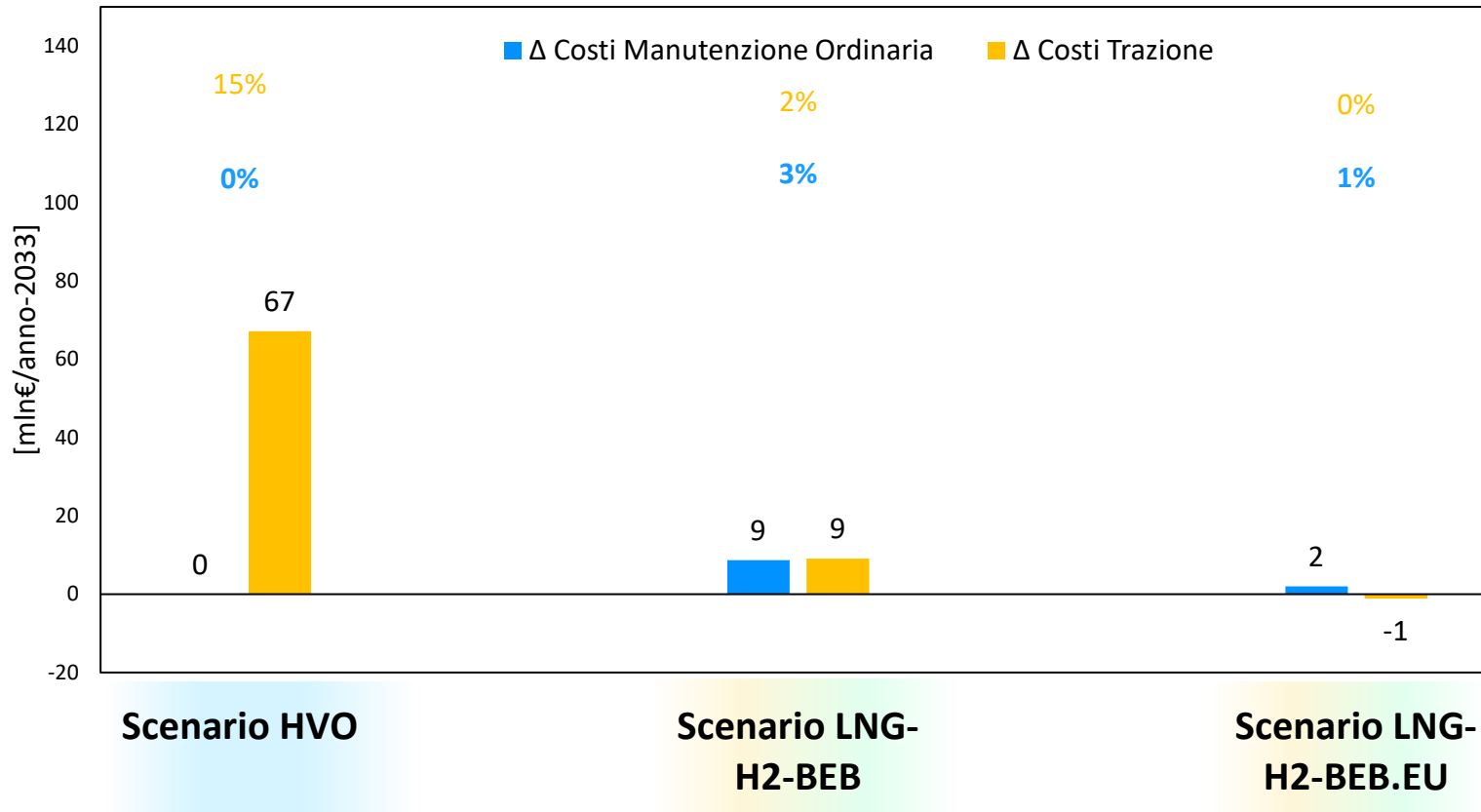
- Tra il **2024-2026** si riesce a contenere l'aumento dell'età media della flotta extraurbana ; nello scenario *compliant* con il regolamento EU, si riduce l'età media
- A partire dal 2026 l'età media del parco ricomincia a crescere: **occorrono fondi aggiuntivi** per raggiungere lo standard EU (età media = 7,5 anni)

NOTA: gli scenari HVO e baseline coincidono in quanto il numero di nuove acquisizioni è lo stesso; inoltre, fino al 2030 essi coincidono con lo scenario EU (v. assunzioni su scenari)



# Valutazione Scenari – TPL ExtraUrbano

## Costi Operativi Annui Variazioni rispetto al Baseline \*



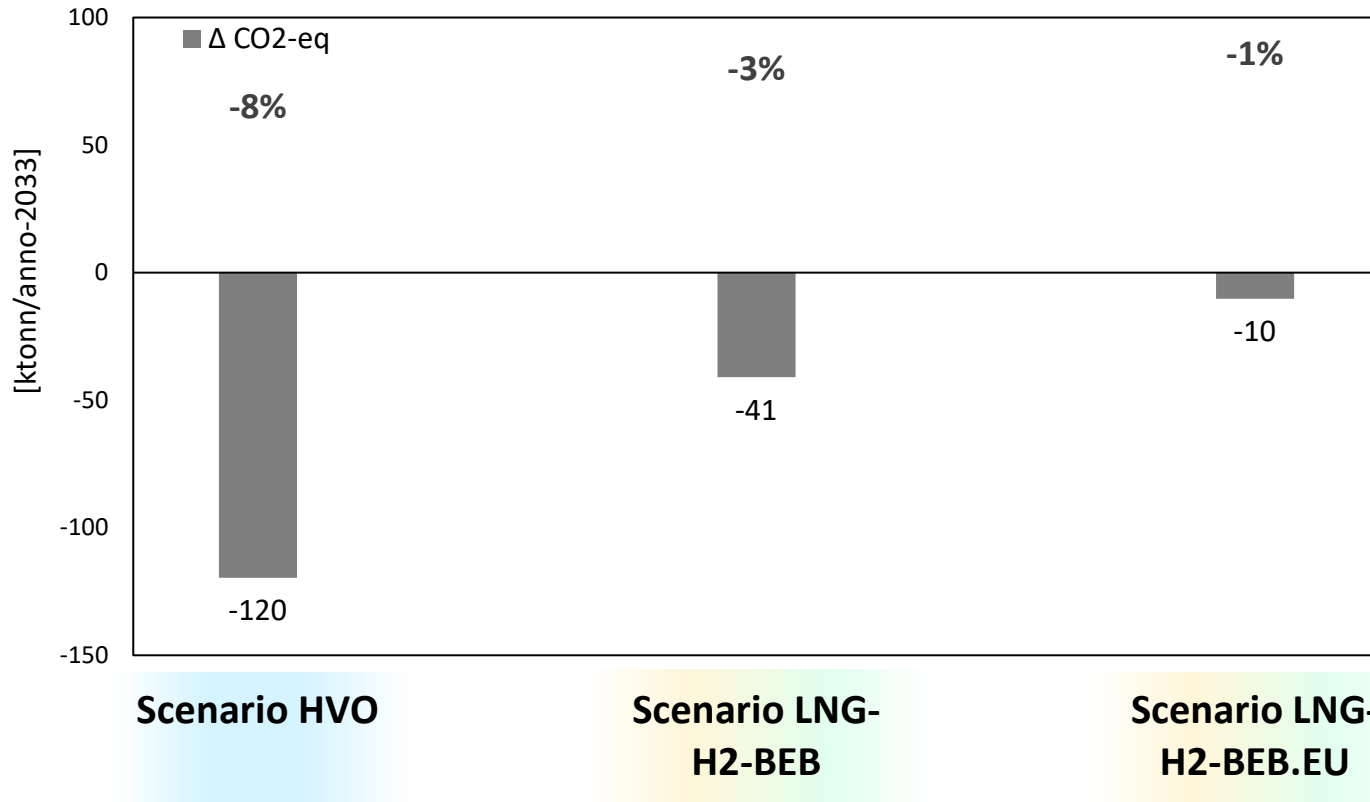
- I **costi di trazione** rimangono invariati, rispetto allo Scenario Baseline; solo per lo Scenario **HVO** si stima un aumento dei costi di trazione del **+15%**
- Non si osservano impatti significativi sui **costi di manutenzione** per tutti gli Scenari simulati.

Maggiore Gradualità della Transizione

\* **Baseline:** acquisizione di soli nuovi autobus Diesel EURO VI, alimentati con gasolio tradizionale

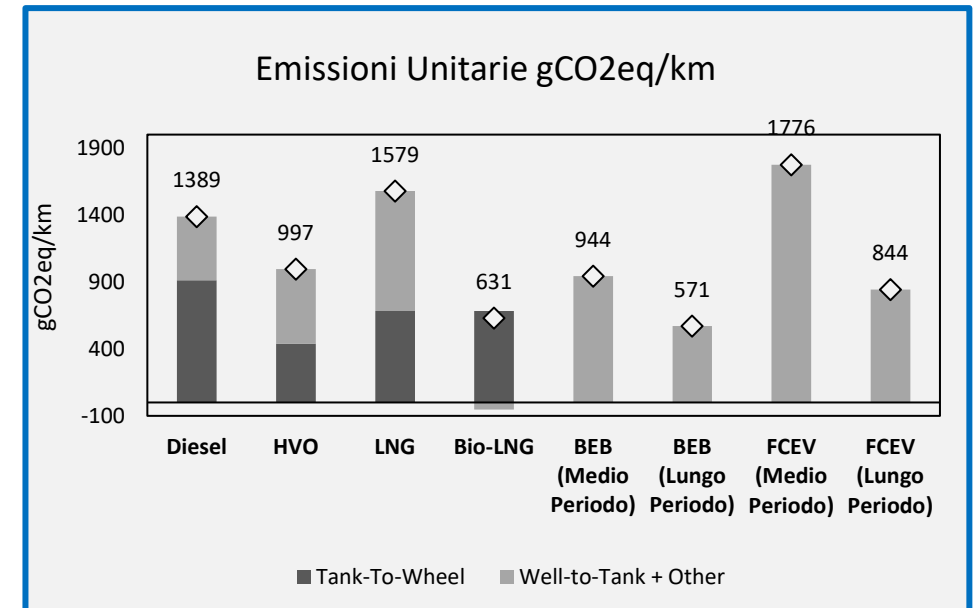
# Valutazione Scenari – TPL ExtraUrbano

## Emissioni CO2-eq Annue Variazioni rispetto al Baseline \*



➔  
Maggiore Gradualità della Transizione

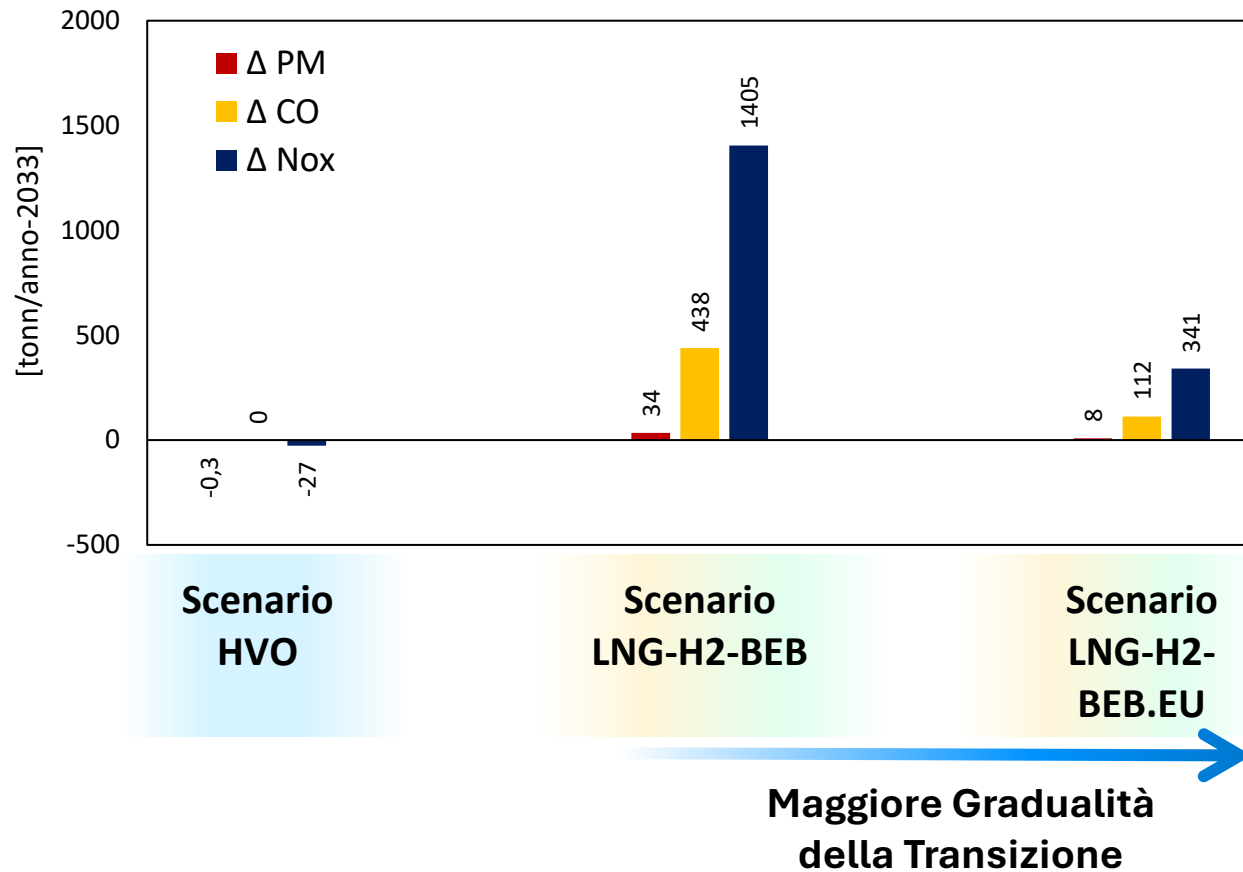
- Per lo Scenario **HVO** si stima una riduzione di emissioni di CO2 nel ciclo vita, pari a **-8%**; per gli altri scenari le riduzioni di CO2eq sono marginali



\* **Baseline:** acquisizione di soli nuovi autobus Diesel EURO VI, alimentati con gasolio tradizionale

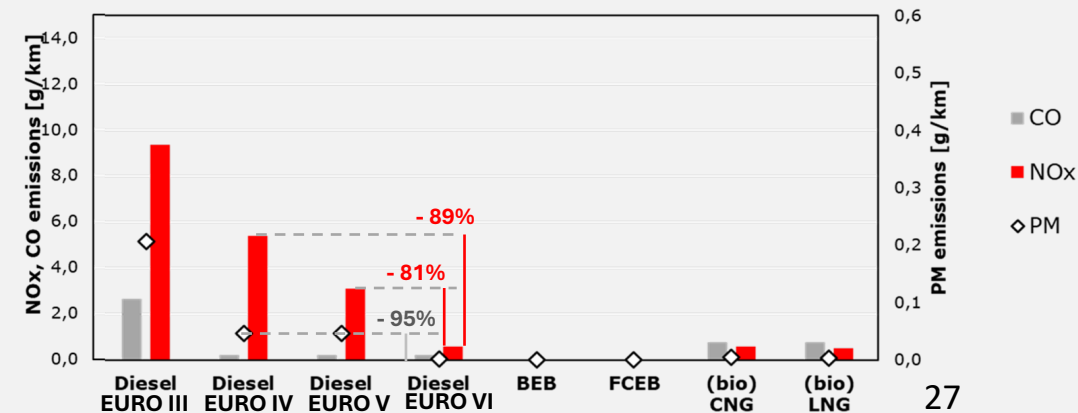
# Valutazione Scenari – TPL ExtraUrbano

## Emissioni Dirette Annue TPL Extraurbano Variazioni rispetto al Baseline



- A parte lo scenario **HVO**, tutti gli scenari di transizione hanno un impatto negativo sulle emissioni di inquinanti locali rispetto allo scenario Baseline, a causa del complessivo minore acquisto di nuovi autobus (seppure diesel ma Euro VI, in sostituzione dei vecchi Euro IV e V)

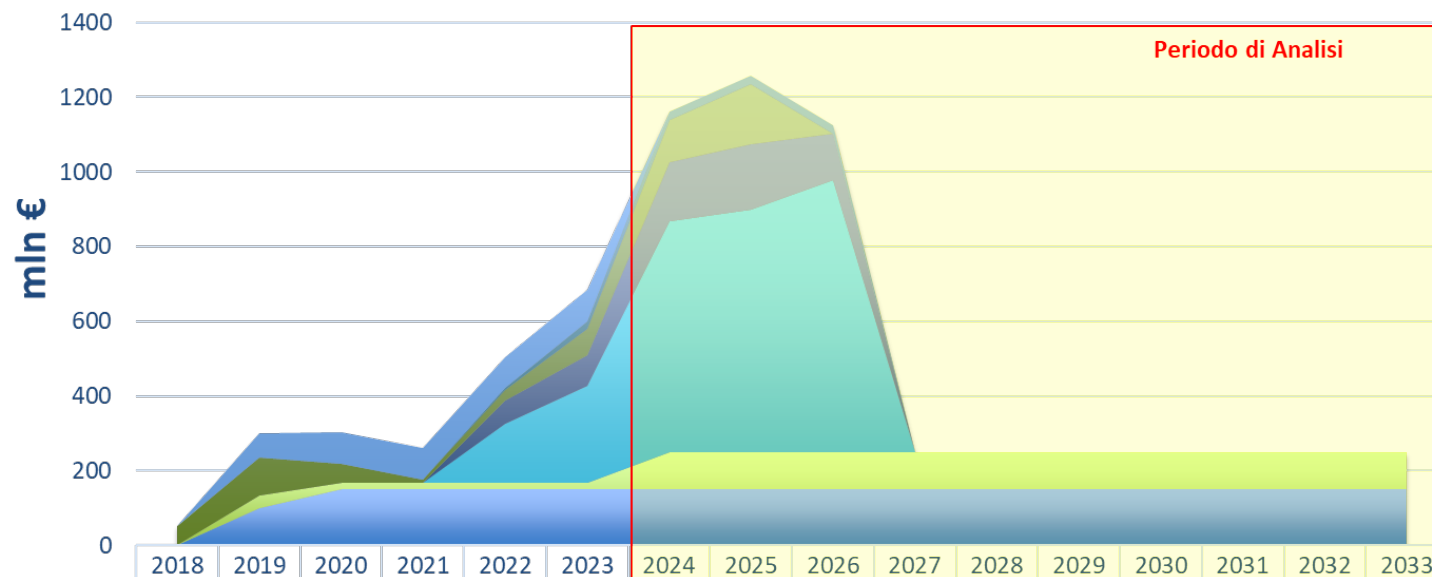
Ciò è dovuto al minore impatto unitario di PM<sub>2,5</sub> e NO<sub>x</sub> di motorizzazioni Diesel EURO VI, rispetto a Diesel EURO IV (-95% PM<sub>2,5</sub>; -89% NO<sub>x</sub>) e EURO V (-95% PM<sub>2,5</sub>; -81% NO<sub>x</sub>).



\* **Baseline:** acquisizione di soli nuovi autobus Diesel EURO VI, alimentati con gasolio tradizionale

# Conclusioni

- Lo studio ha valutato diversi **scenari di rinnovo delle flotte di autobus per il TPL (urbano ed extraurbano)** in Italia, sulla base dei fondi disponibili nel **periodo 2024 – 2033 e considerando i fondi ad oggi disponibili**



	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033
■ PSNMS Citta Alto Inquinamento [tot. 398 mln€]		66	83	83	83	83										
■ 256/2022 e s.m.i. [tot. 96 mln€]					5	22	23	23	23							
■ Piano Operativo Infrastrutture + Addendum [tot. 591 mln€]	52	100	52	10	28	70	111	161	0	0	0					
■ PNC [tot. 600 mln€]					62	81	159	174	124							
■ PNRR - Rinnovo Flotte [tot. 2,4 Mld€]					159	262	618	650	727							
■ PSNMS Citta Metropolitane e Grandi Comuni [tot. 1,1 Mld€]		34	17	17	17	17	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
■ PSNMS Regioni [tot. 2,2 Mld€]		100	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

---

# Conclusioni

- Gli scenari considerati si caratterizzano per le diverse assunzioni sul numero di nuove acquisizioni di **veicoli elettrici a batteria** (in ambito urbano) e di **veicoli alimentati con bio-diesel, bio-metano, o idrogeno** (in ambito extraurbano), fermo restando il budget disponibile anno per anno, e i vincoli dei fondi italiani (in taluni casi più vincolanti del regolamento EU)
- I risultati sono stati valutati in termini di:
  - **# nuove acquisizioni** di autobus
  - **Età media** del parco circolante (urbano e extraurbano)
  - Variazioni di **costi operativi**
  - Impatto sul «**climate change**», variazioni di CO<sub>2</sub>eq nel ciclo vita (**LCA**)
  - Impatto sulla **qualità dell'aria**, variazioni di CO, NO<sub>x</sub> e PM<sub>2,5</sub>

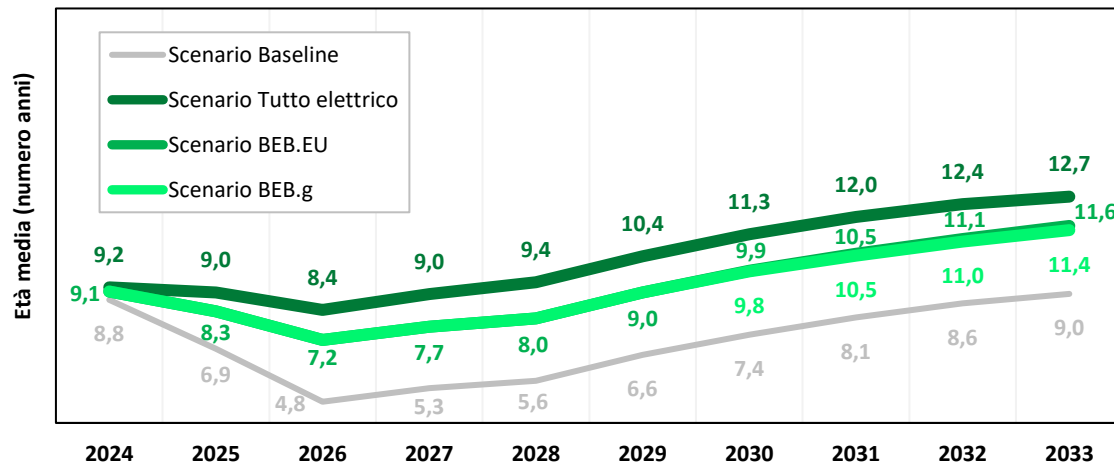
# Conclusioni

## Età media del parco

- I fondi disponibili per il rinnovo degli autobus urbani (concentrati per lo più tra il 2024-2026) consentono una **riduzione dell'età media della flotta** di autobus nell'ambito urbano e un contenimento dell'età media nell'ambito extraurbano **fino all'anno 2026**

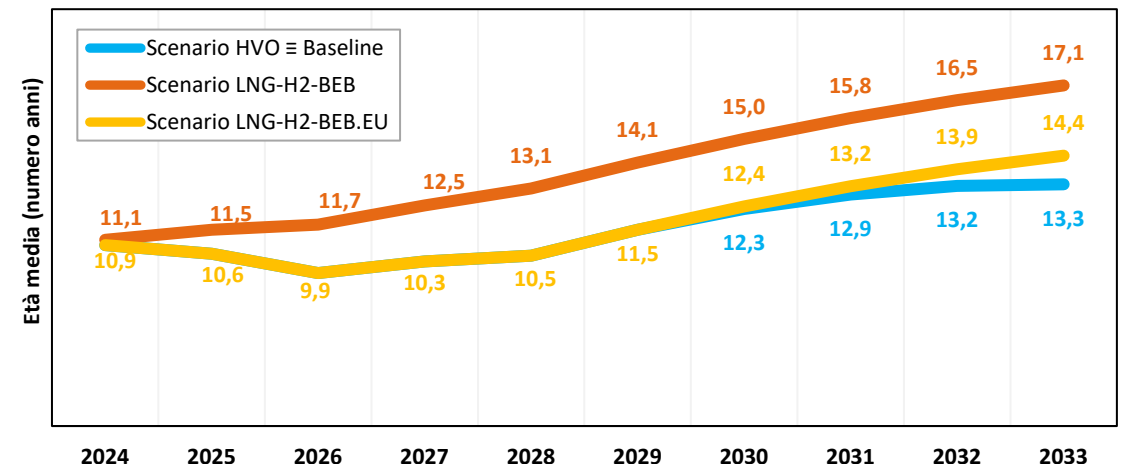
Età media della Flotta nel Periodo 2024-2033

### TPL Urbano



Età media della Flotta nel Periodo 2024-2033

### TPL ExtraUrbano



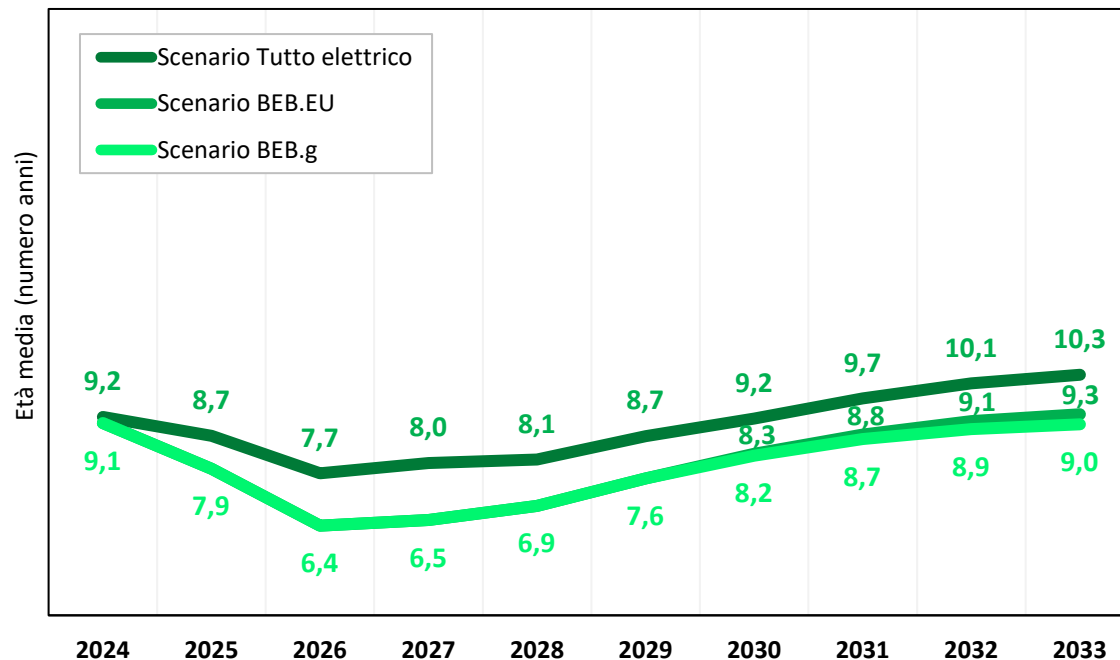
- A partire dal 2026 l'età media del parco ricomincia a crescere: **occorrono fondi aggiuntivi** per mantenere l'età media in linea con lo standard EU (età media = 7,5 anni)

# Conclusioni

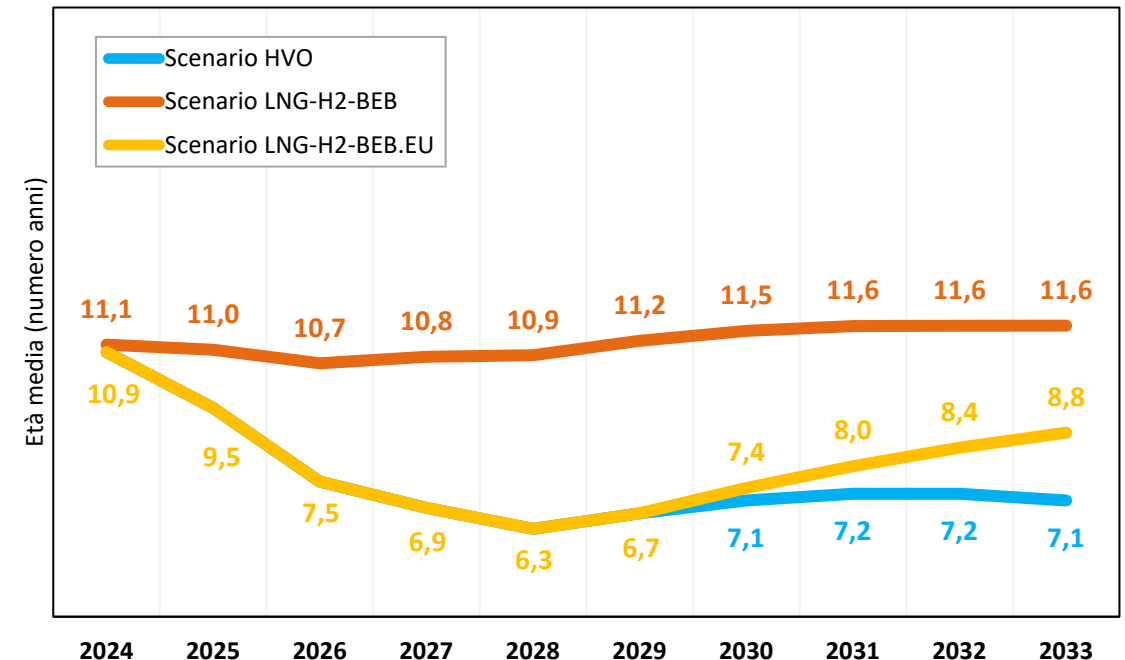
## Età media del parco (con ulteriori fondi: 500 mil.euro/anno dal 2025)

- Con fondi aggiuntivi pari a 500 milioni di euro/anno a partire dal 2025 si potrebbe mantenere l'età media del parco al di sotto dei 10 anni

Età media della Flotta autobus  
TPL Urbano



Età media della Flotta autobus  
TPL ExtraUrbano



---

# Conclusioni

## Costi

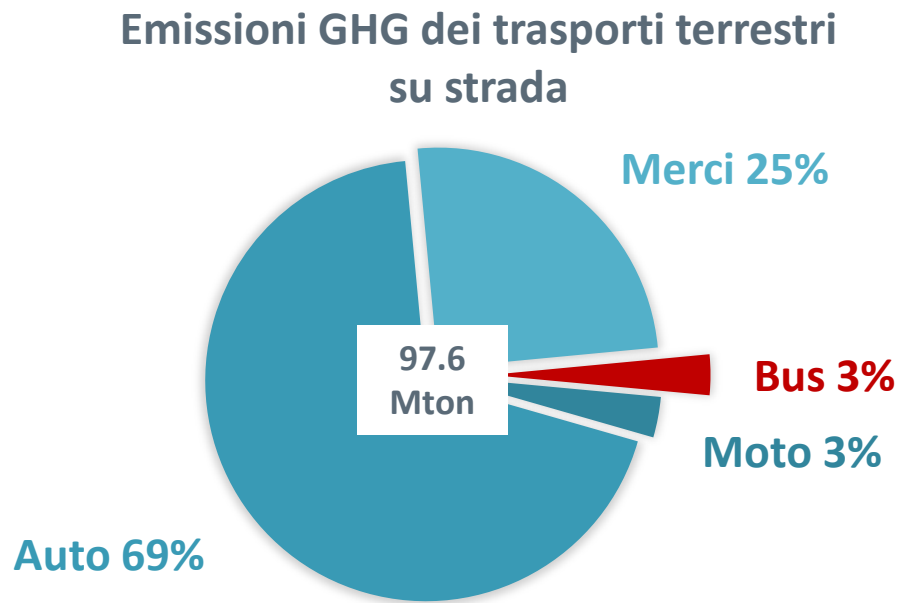
- Gli scenari che modificano i vincoli dei fondi italiani per il rinnovo delle flotte di autobus (solo l'acquisizione di autobus elettrici per l'urbano; no diesel per l'extraurbano) permettono di raddoppiare il numero di nuove acquisizioni (Diesel Euro VI ) a parità di investimento
- L'analisi ha messo in evidenza che **non esistono significative differenze in termini di costi operativi tra gli scenari** caratterizzati da transizione più o meno veloce verso l'elettrico e altri vettori energetici alternativi al diesel. Tuttavia, lo studio non ha preso in considerazione l'aggravio di costi dovuto a:
  - **Possibile incremento della dimensione delle flotte elettriche** dovuto ai maggiori tempi di ricarica (**circa 15-20%** rispetto flotte con motorizzazioni a combustione interna).
  - Costi aggiuntivi per la **formazione del personale o per affidamento della manutenzione in outsourcing**
  - Investimenti per **nuovi depositi e/o infrastrutture di ricarica**



# Conclusioni

## Impatto sul «climate change» (variazioni di CO<sub>2</sub>eq nel ciclo vita)

Una transizione veloce ha un maggiore impatto sulle emissioni di CO<sub>2</sub> nel ciclo-vita; tuttavia, in termini percentuali le variazioni oscillano tra -8% e -6,5% (nello scenario urbano) e -4% e -0,5% (nell'ambito extraurbano) rispetto alle emissioni dovute al trasporto su strada con autobus.

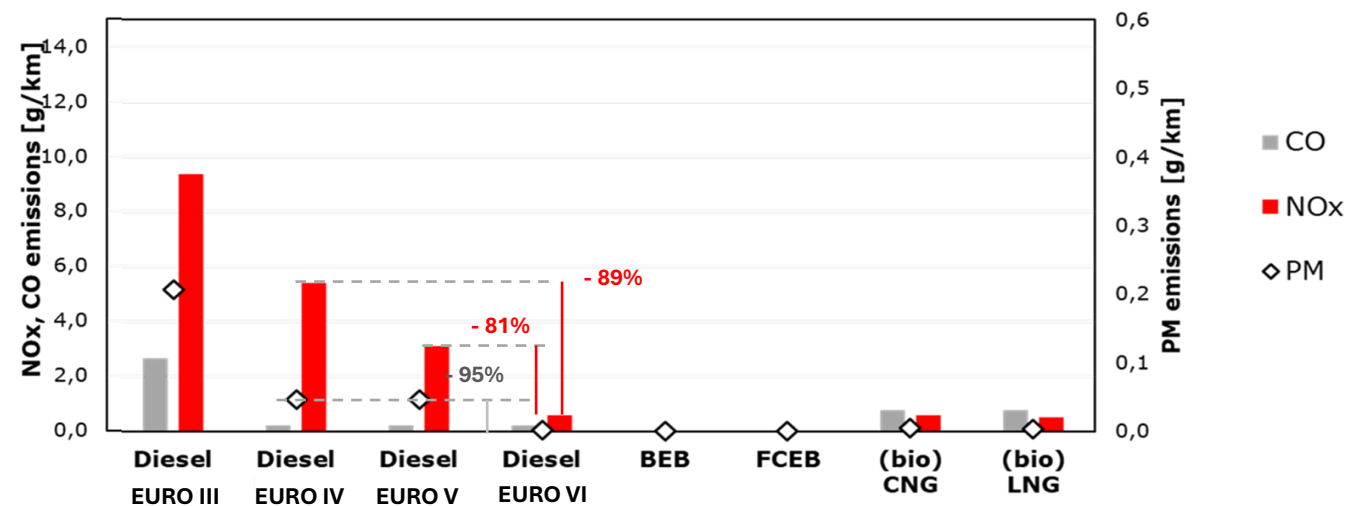


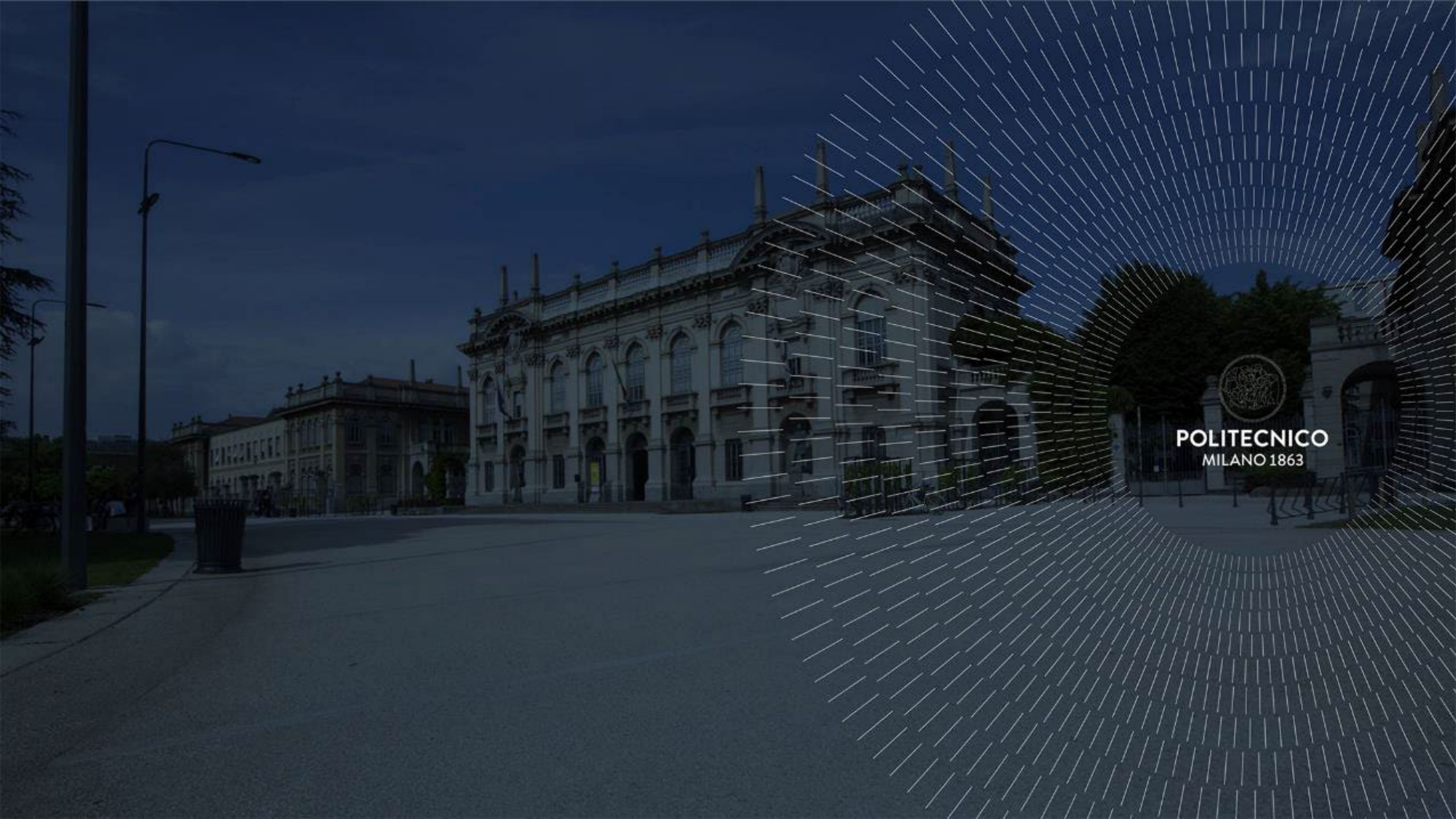
*Il segmento Autobus contribuisce con 2,9 milioni di tonn/anno al **3%** delle emissioni climalteranti (GHG) dei trasporti terrestri su strada, pari allo **0.7%** delle emissioni GHG totali in Italia; pertanto l'**impatto differenziale tra i diversi scenari** considerati è molto piccolo (compreso in tra 0,06% - 0,004%) se rapportato al totale delle emissioni climalteranti.*

# Conclusioni

## Qualità dell'aria (variazioni di CO, NOx e PM2,5)

- I risultati mostrano che una **transizione veloce** ha **impatto peggiore sulle emissioni di inquinanti locali**, rispetto a scenari di transizione più graduale, in quanto questi consentono l'acquisto di un maggior numero di nuovi autobus, e quindi una **più rapida dismissione di vecchie motorizzazioni (diesel Euro III, IV, V)**
- Tali risultati dipendono dalle **caratteristiche della flotta autobus TPL attuale**, nella quale sono ancora presenti motorizzazioni diesel Euro III e Euro IV molto inquinanti rispetto ai più nuovi diesel Euro VI





**POLITECNICO**  
MILANO 1863