

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

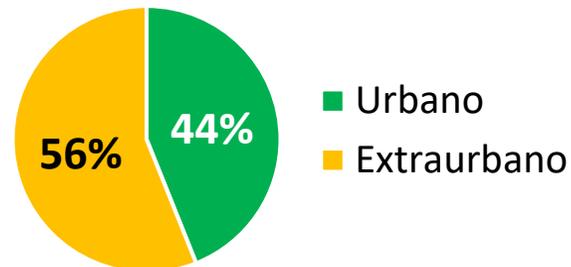
Prof. Ing. Pierluigi Coppola
Ing. Francesco De Fabiis

Ottobre 2024



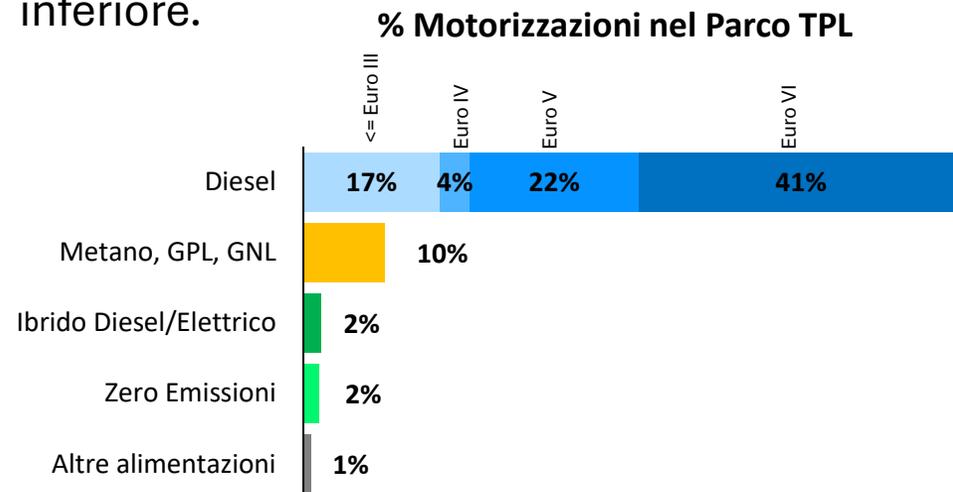
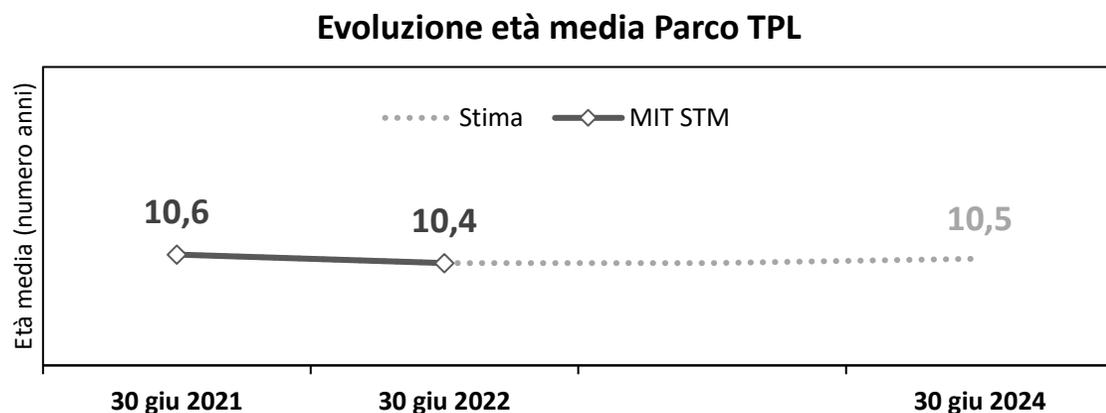
Numeri del Parco Autobus per il TPL in Italia*

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.



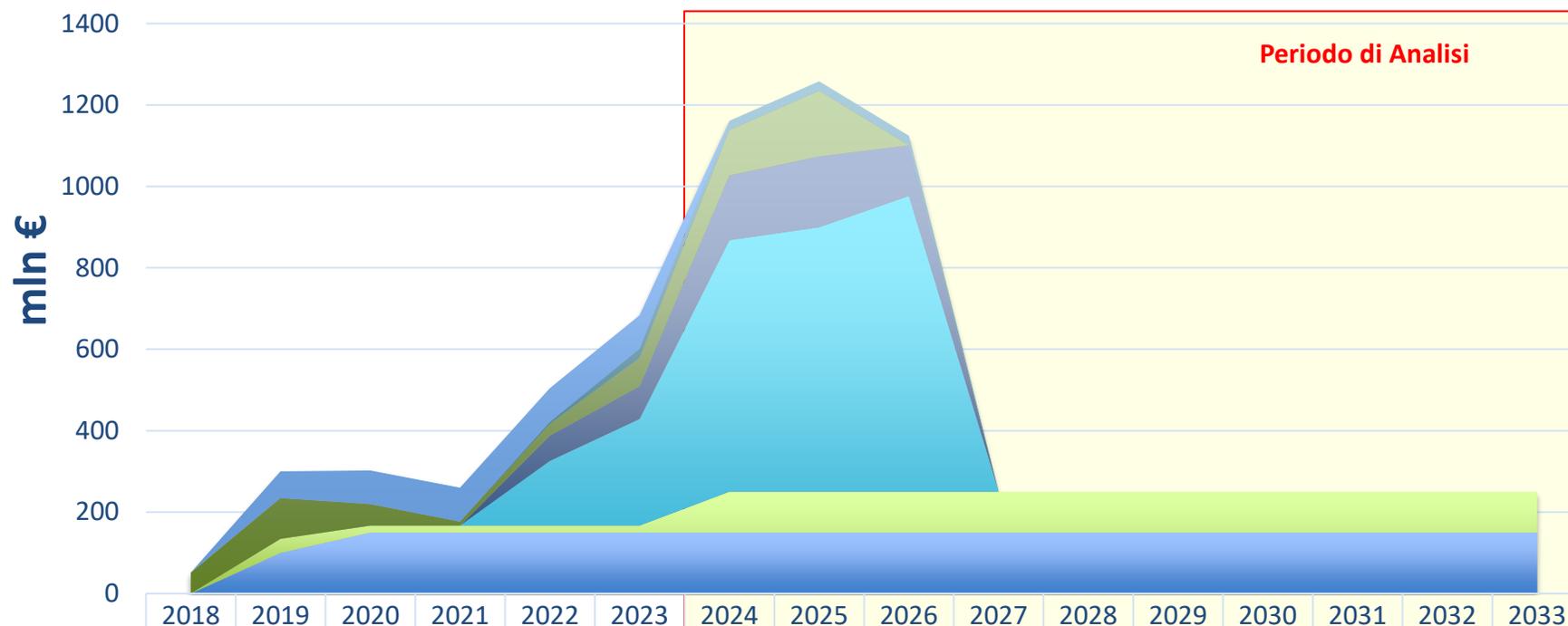
* Elaborazioni e stime su dati MIT – STM (settembre 2022) e ANFIA - Associazione Nazionale Filiera Industria Automobilistica

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:

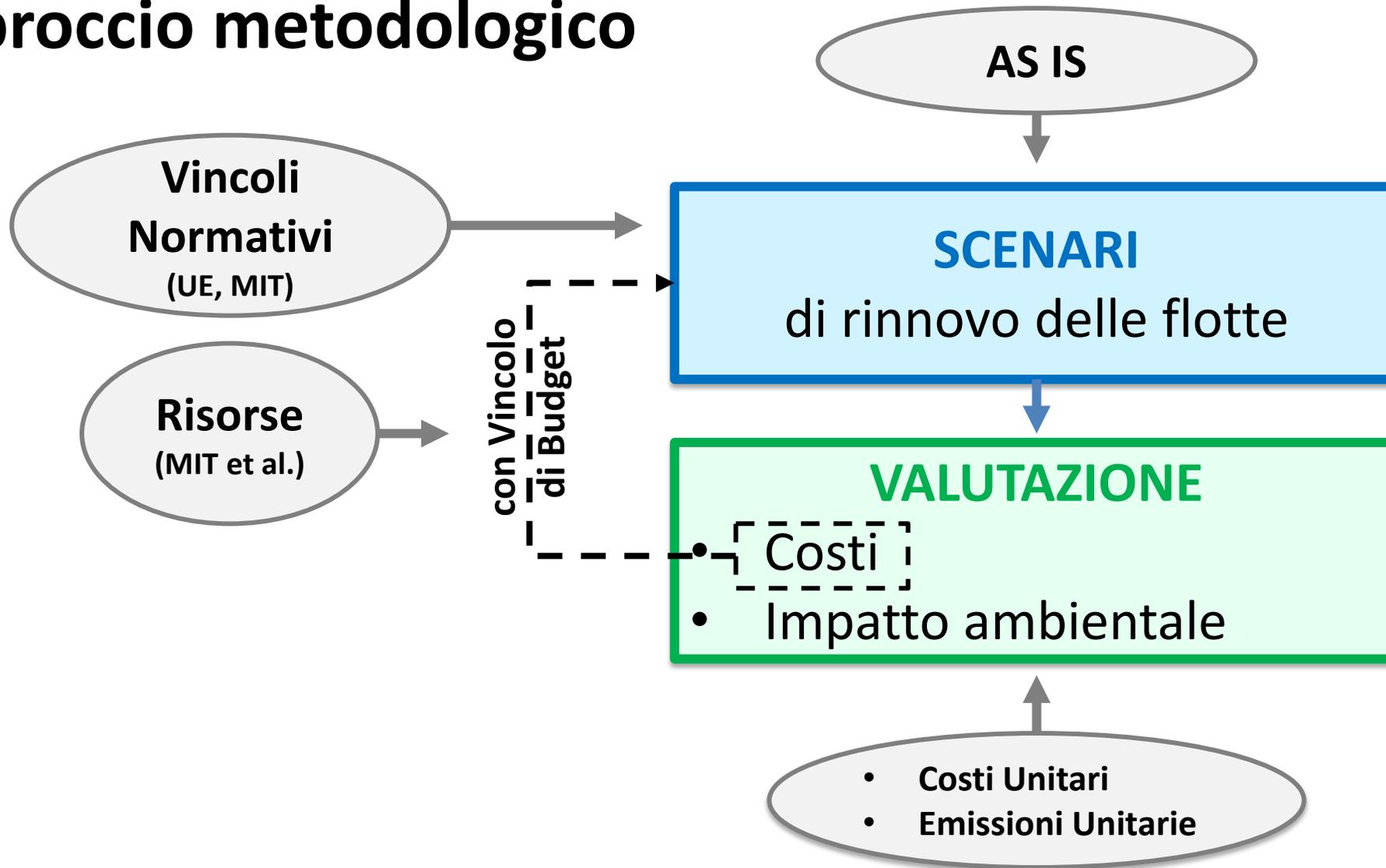
- **Direttiva 2019/1161** → Definisce quote minime d'acquisto di bus urbani a zero emissioni fino al 2030 *
- **Regolamento 2024/1610** → A partire dal 2030, definisce quote minime d'acquisto di bus urbani a zero emissioni, e le percentuali (%) di riduzioni di emissioni medie CO2 Tank-To-Wheel rispetto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

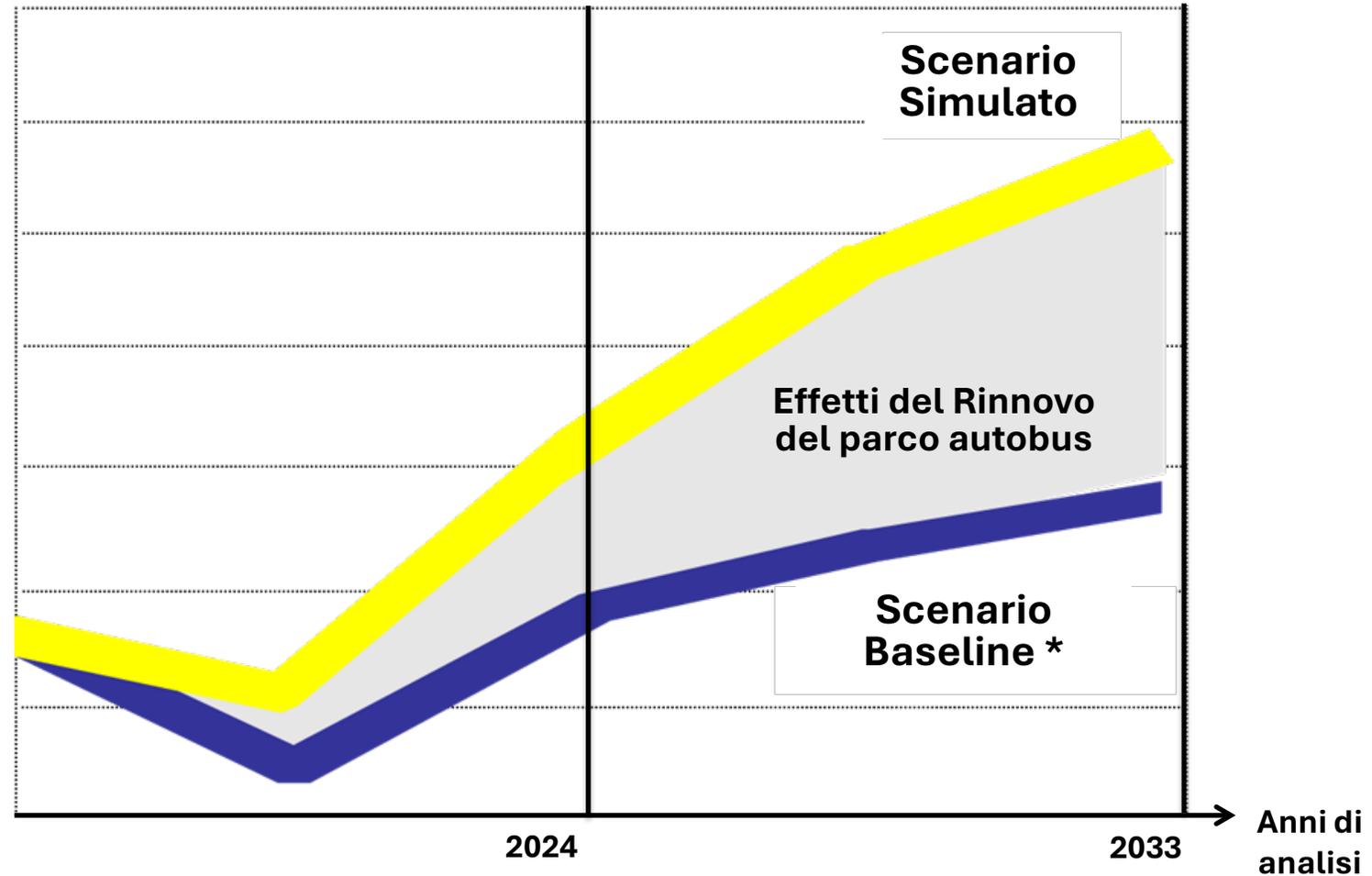
	Urbano	ExtraUrbano
Baseline	[Diesel Euro VI] <i>(tutte nuove acquisizioni diesel alimentate con gasolio tradizionale)</i>	[Diesel Euro VI] <i>(tutte nuove acquisizioni diesel alimentate con gasolio tradizionale)</i>
HVO		[HVO] <i>(nuove acquisizioni diesel alimentate con HVO)</i>
Business-as-Usual <i>(compliance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

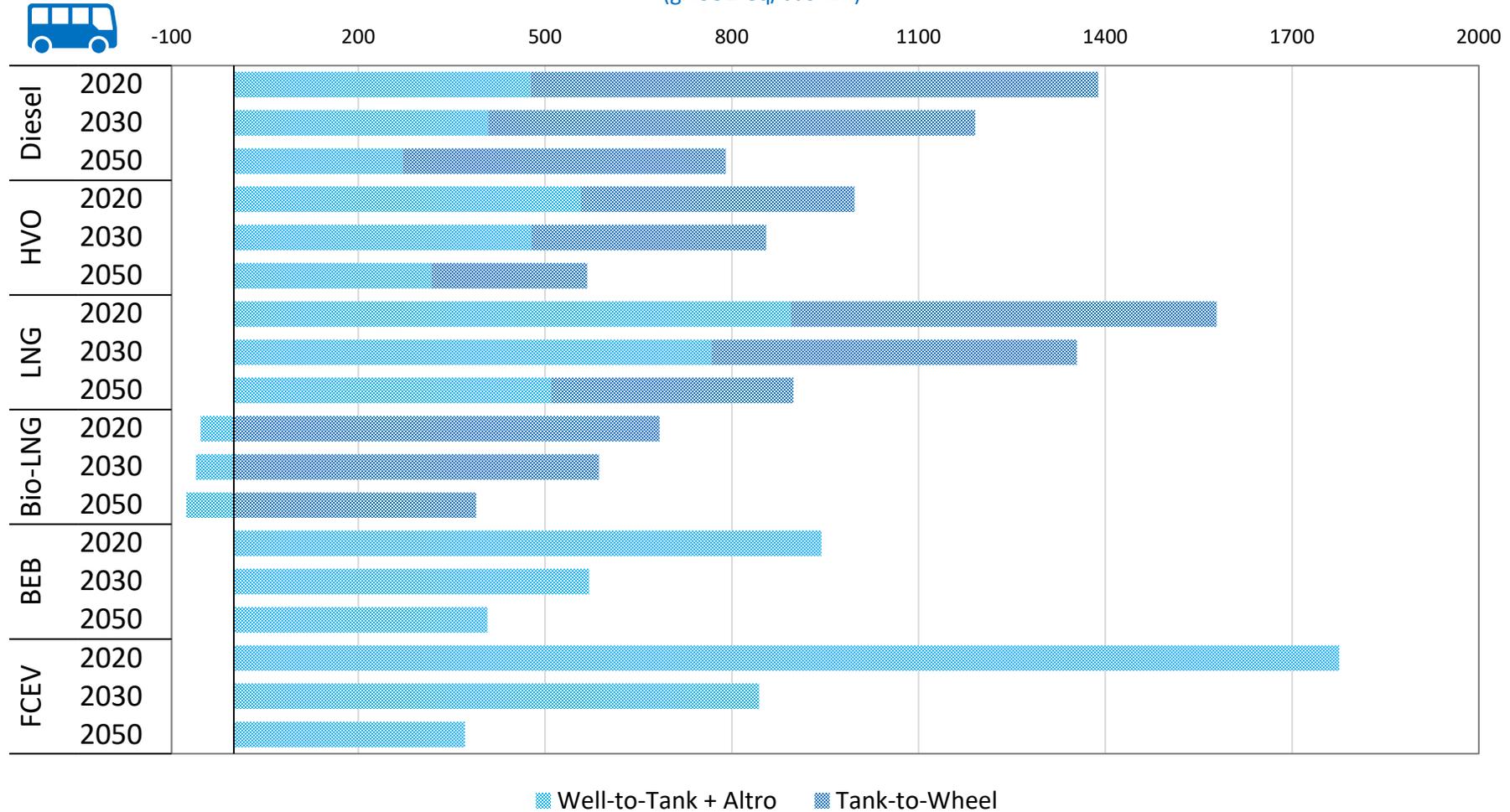
- Numero di **nuovi bus** acquistati
- **Età media** del parco
- Variazione di **costi** di trazione e manutenzione
- Variazione di **CO2 equivalente** (cambiamento climatico)
- Variazione di **emissioni dirette** (qualità dell'aria)



* *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

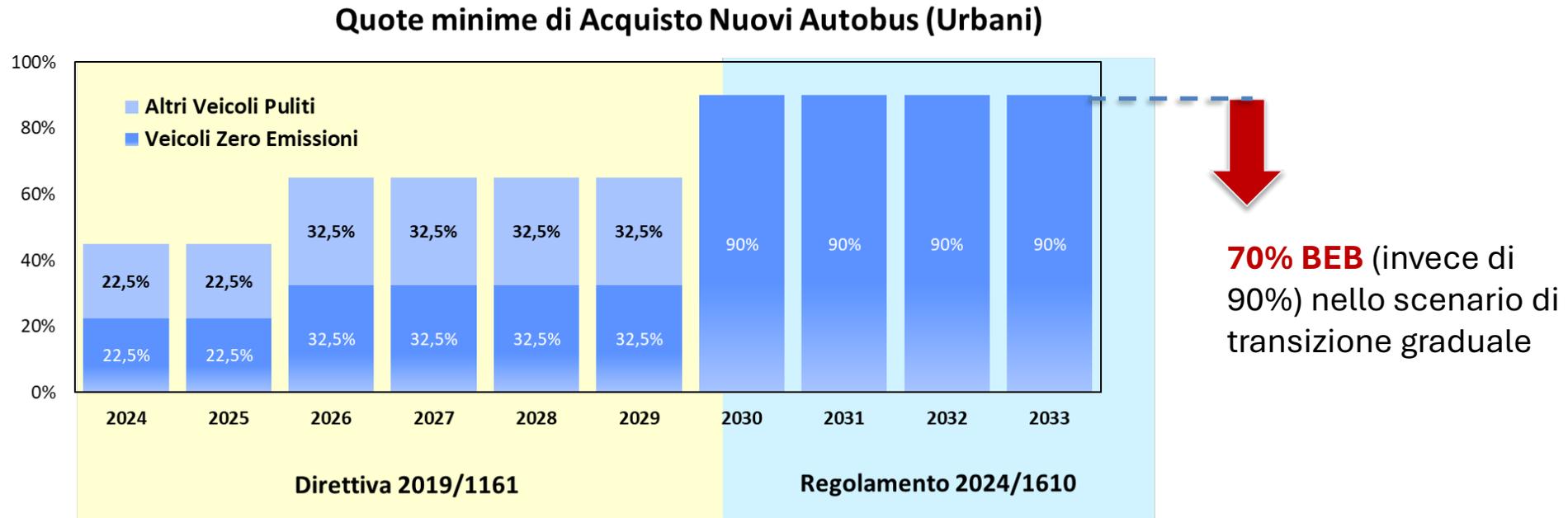
TPL Urbano



Scenari di Rinnovo delle Flotte - TPL Urbano

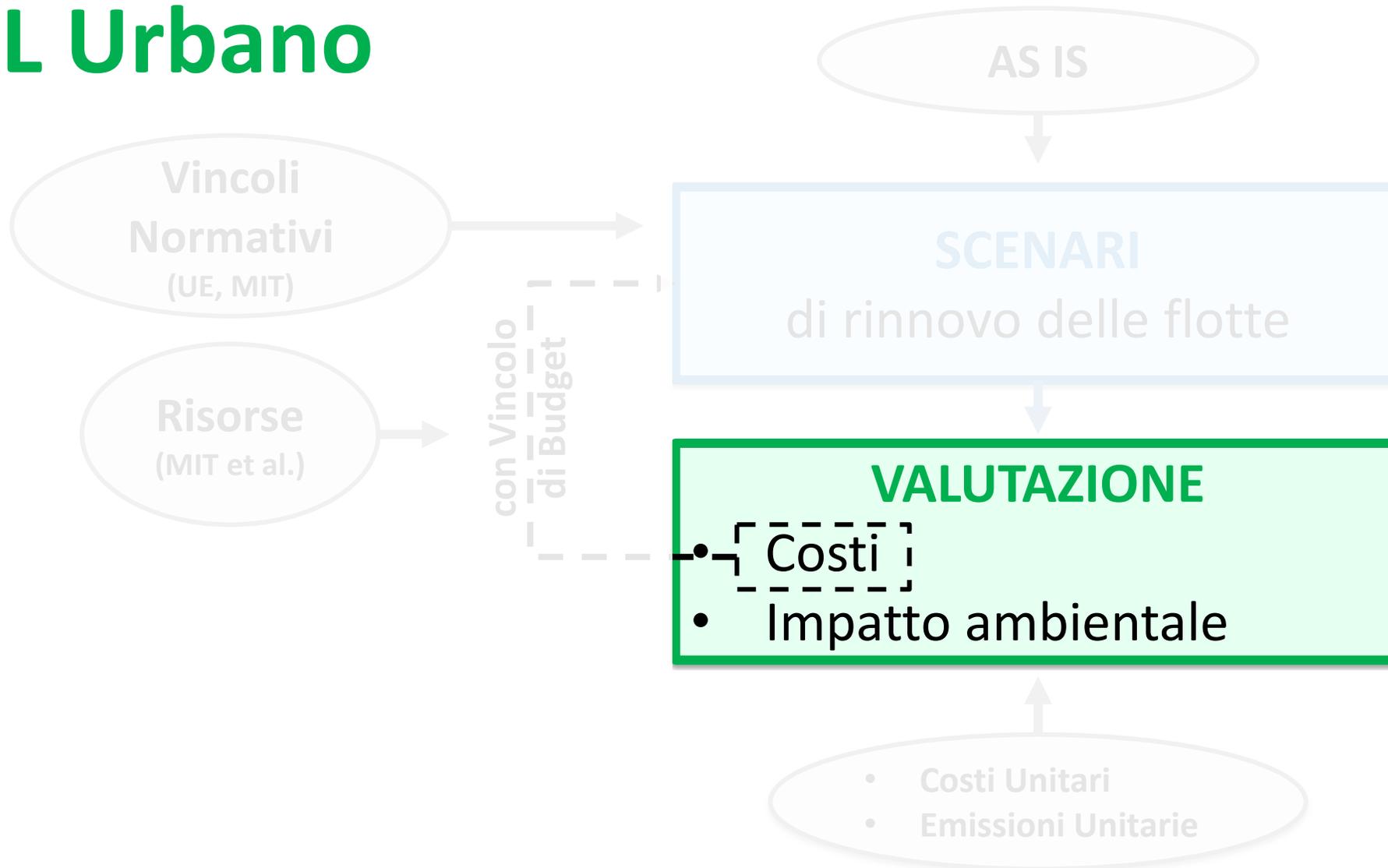
Motorizzazioni/Vettori Energetici considerati: Diesel, Elettrico a Batteria (BEB)

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



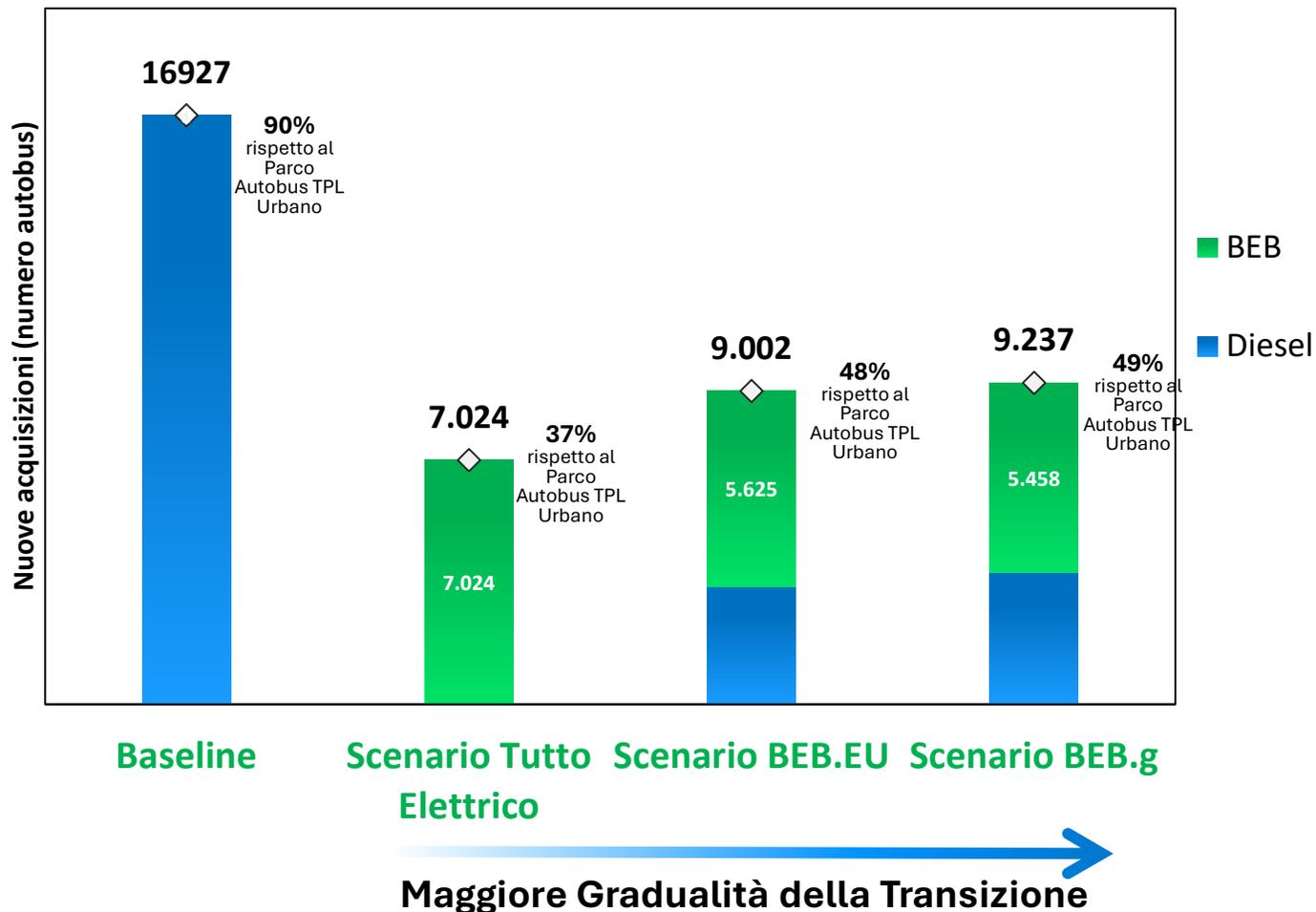
- *Direttiva 2019/1161* (<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2019/1161/oj/ita/pdf>)
- *Regolamento 2024/1610* (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401610)

TPL Urbano



Valutazione Scenari - TPL Urbano

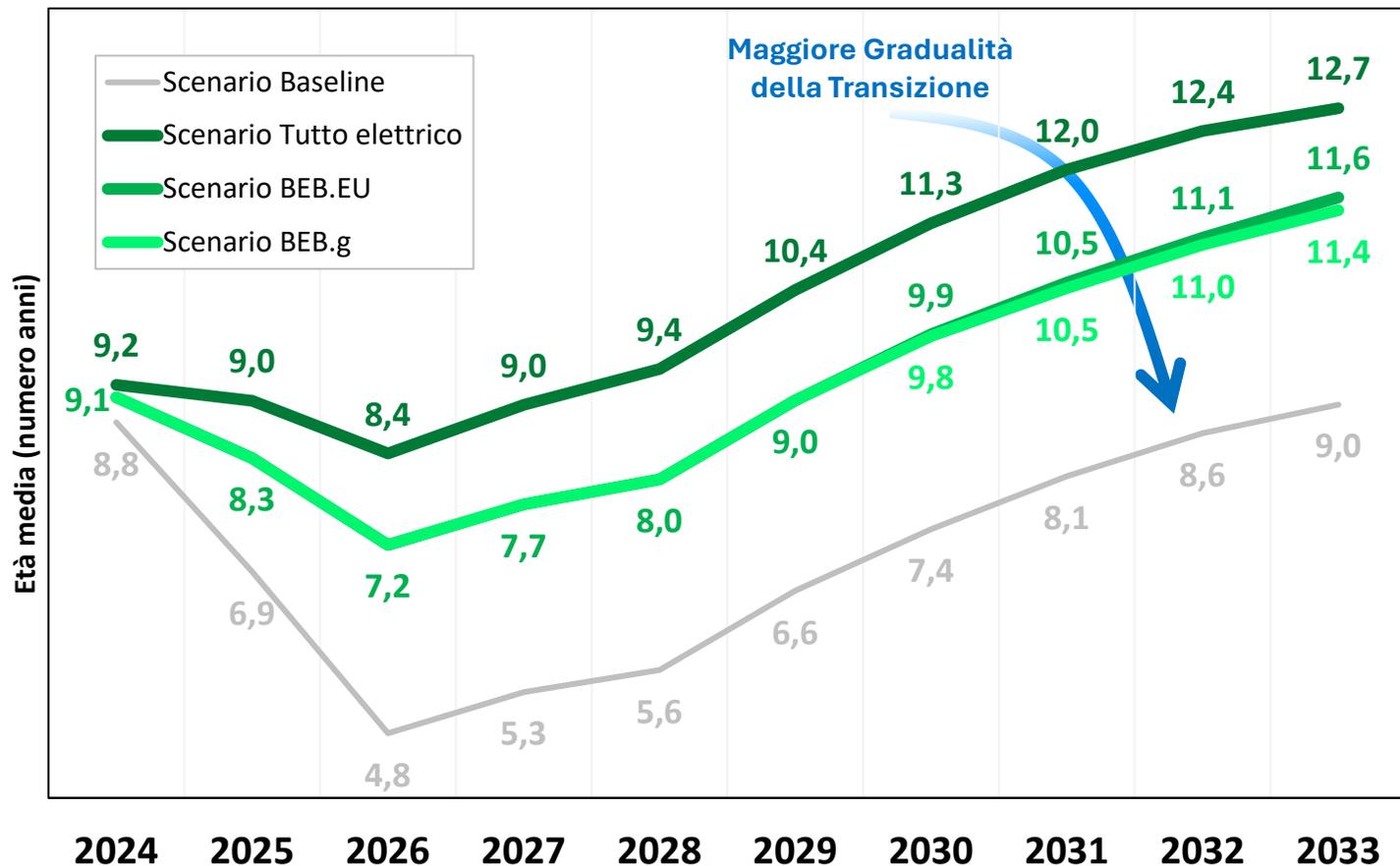
Nuove Acquisizioni nel Periodo 2024-2033



- 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%**

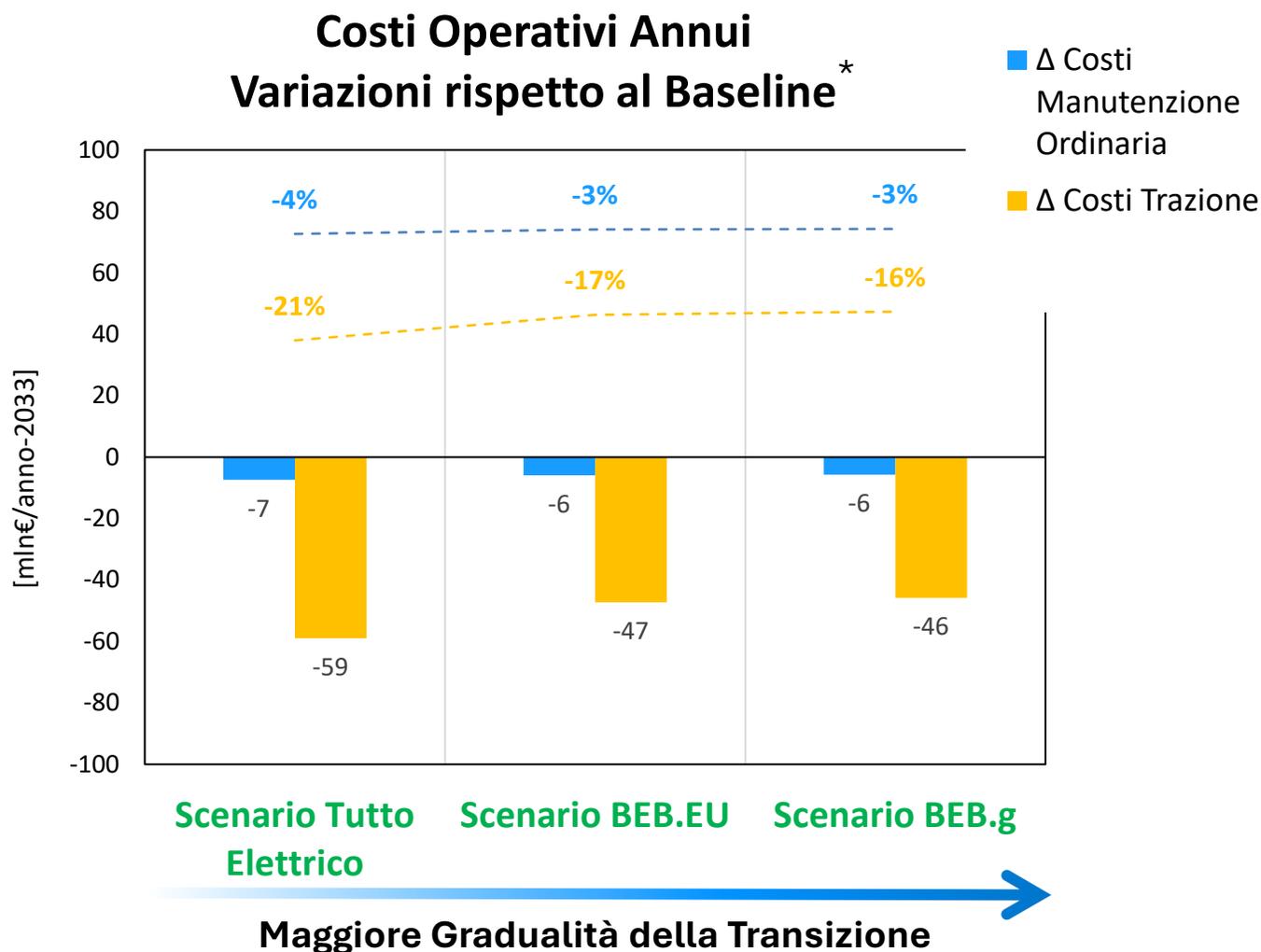
Valutazione Scenari - TPL Urbano

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



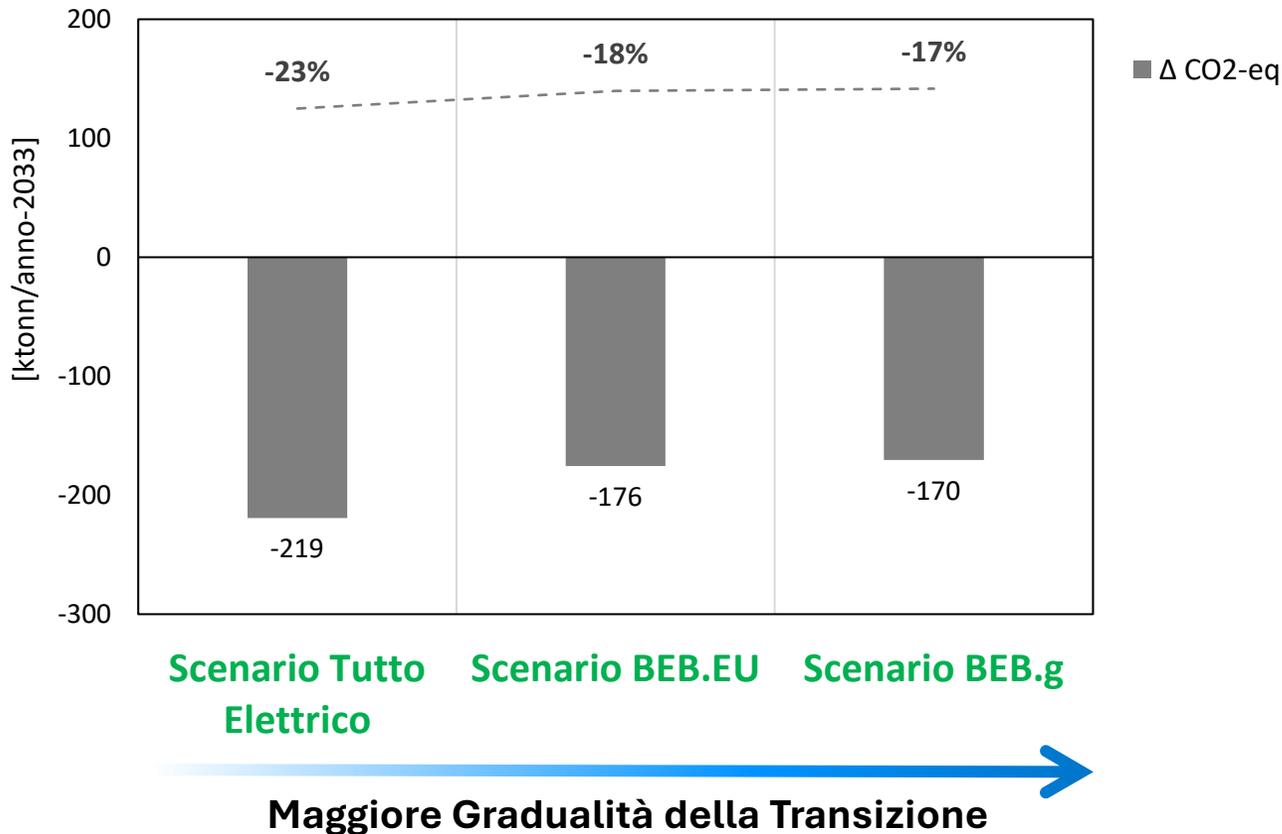
- In tutti gli scenari si stima una **riduzione dei costi di trazione** rispetto allo Scenario Baseline (*) e anche una (seppur minima) riduzione dei **costi di manutenzione**
- Tale riduzione è maggiore (**-21%** vs. **-17/-16%** per i costi di trazione; **-4%** vs. **-3%** per i costi di manutenzione 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

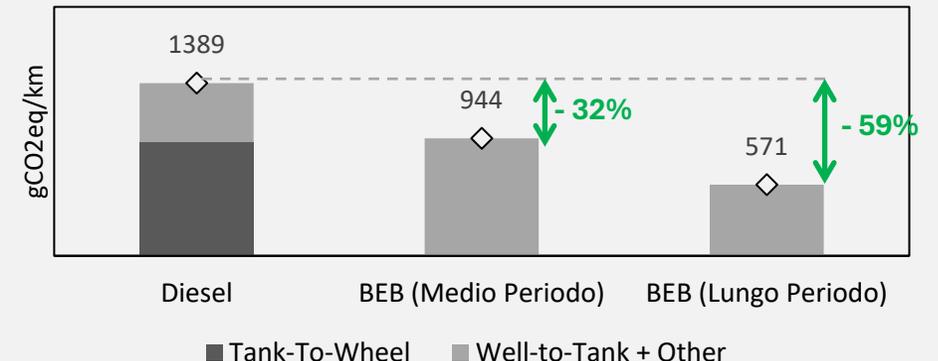
Emissioni CO2-eq Annue Variazioni rispetto al Baseline*



- 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)

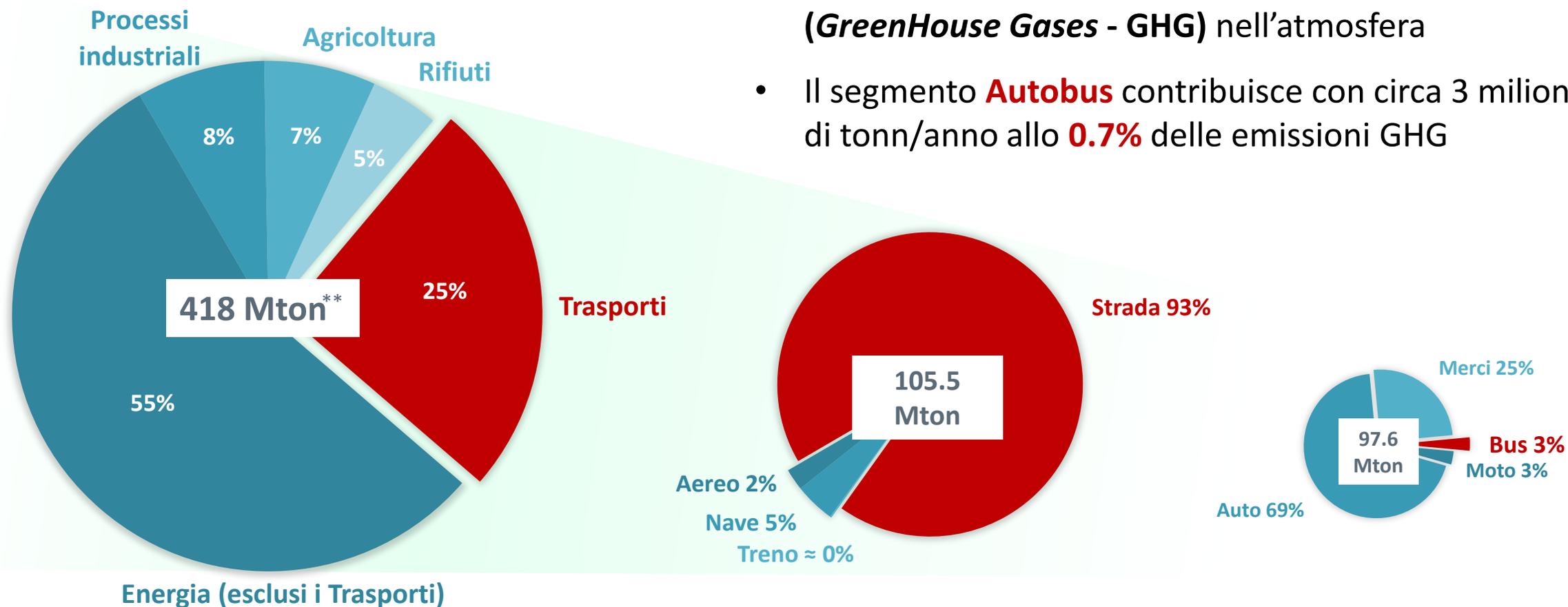
Emissioni Unitarie gCO2eq/km



* **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

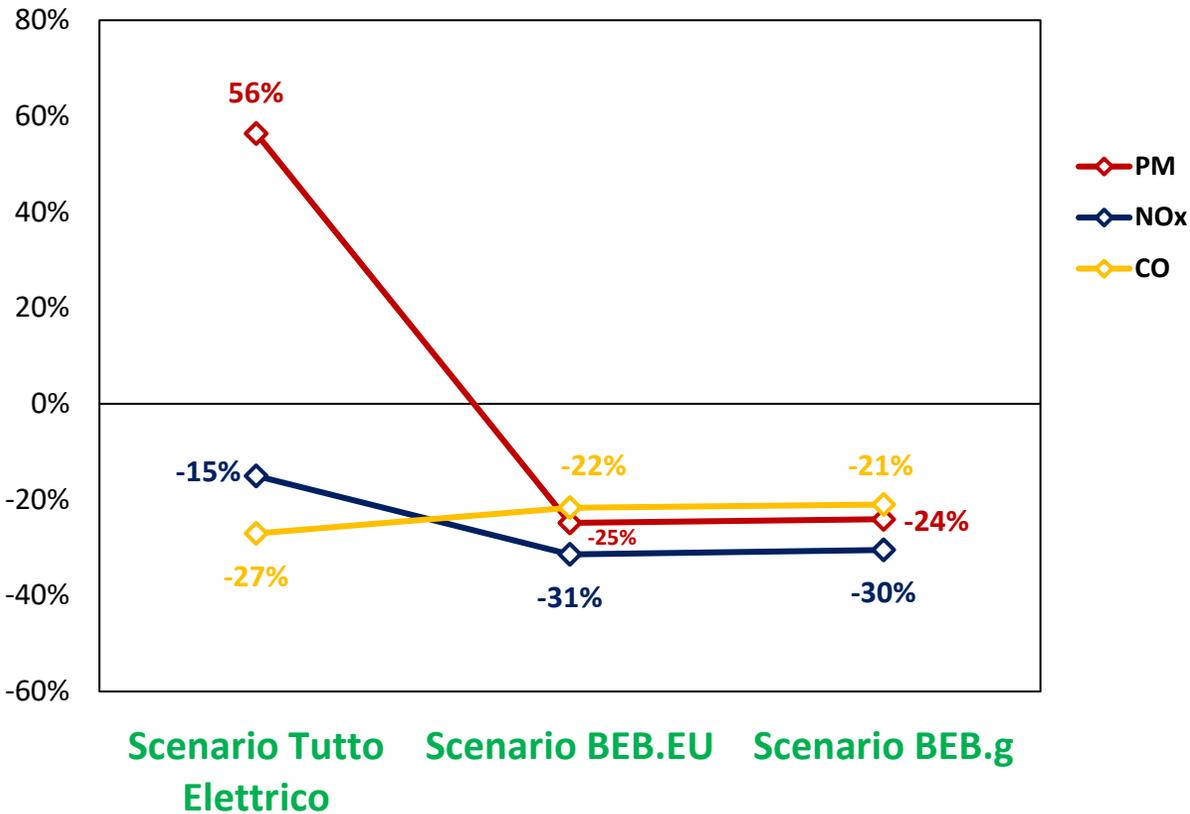


*Elaborazioni su dati **ISPRA (2021) – Italian Greenhouse Gas National Inventory Report**

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

Valutazione Scenari - TPL Urbano

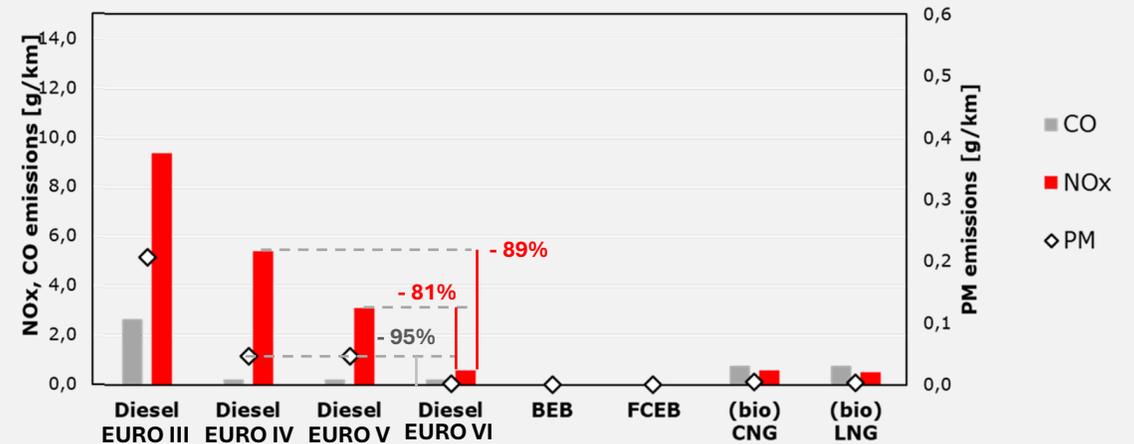
Emissioni Dirette Annue Variazioni rispetto al Baseline *



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.

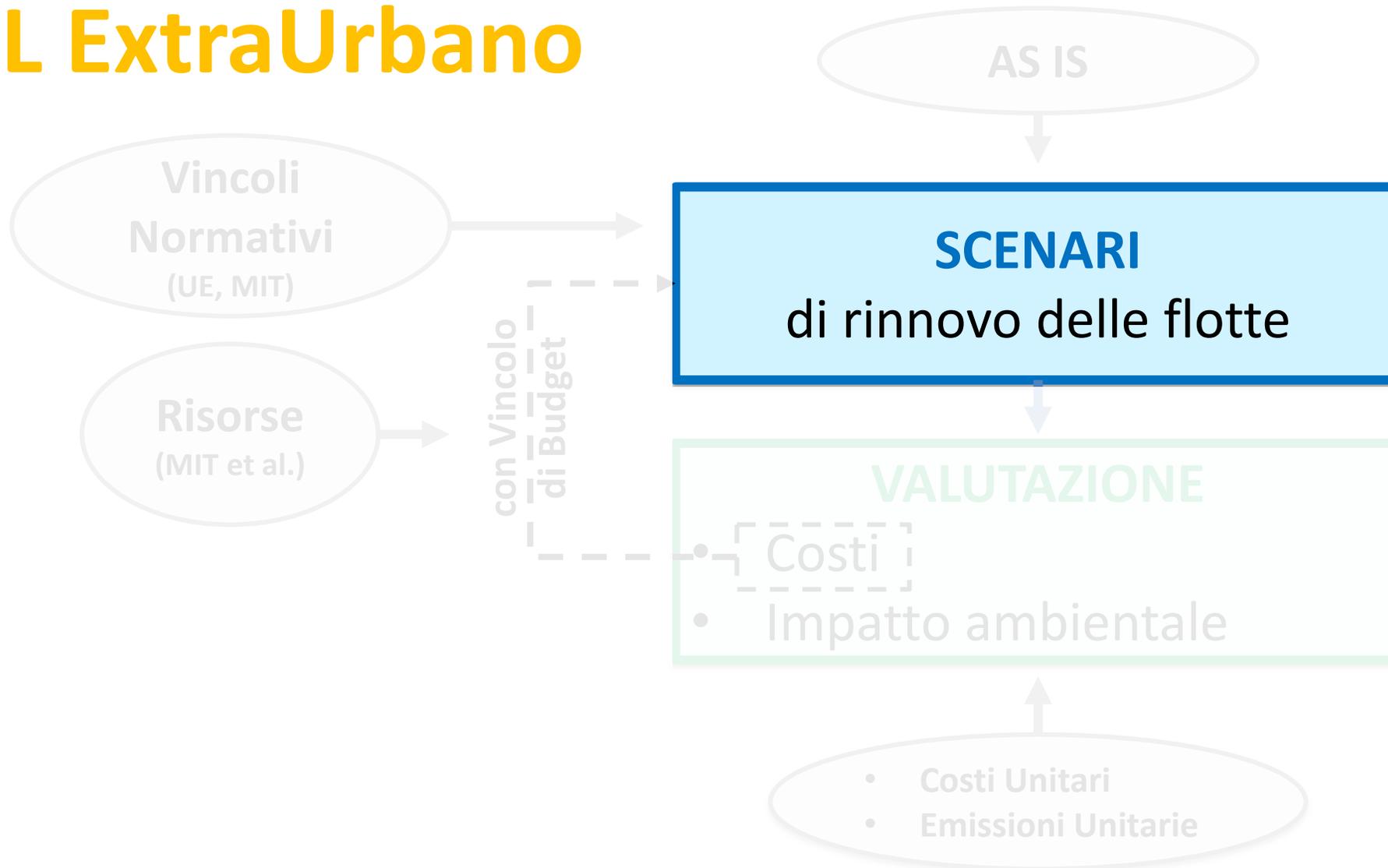
Ciò è dovuto al minore impatto unitario di PM2,5 e NOx di motorizzazioni Diesel EURO VI, rispetto a Diesel EURO IV (-95% PM2,5; -89% NOx) e EURO V (-95% PM2,5; -81% NOx).



* **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:

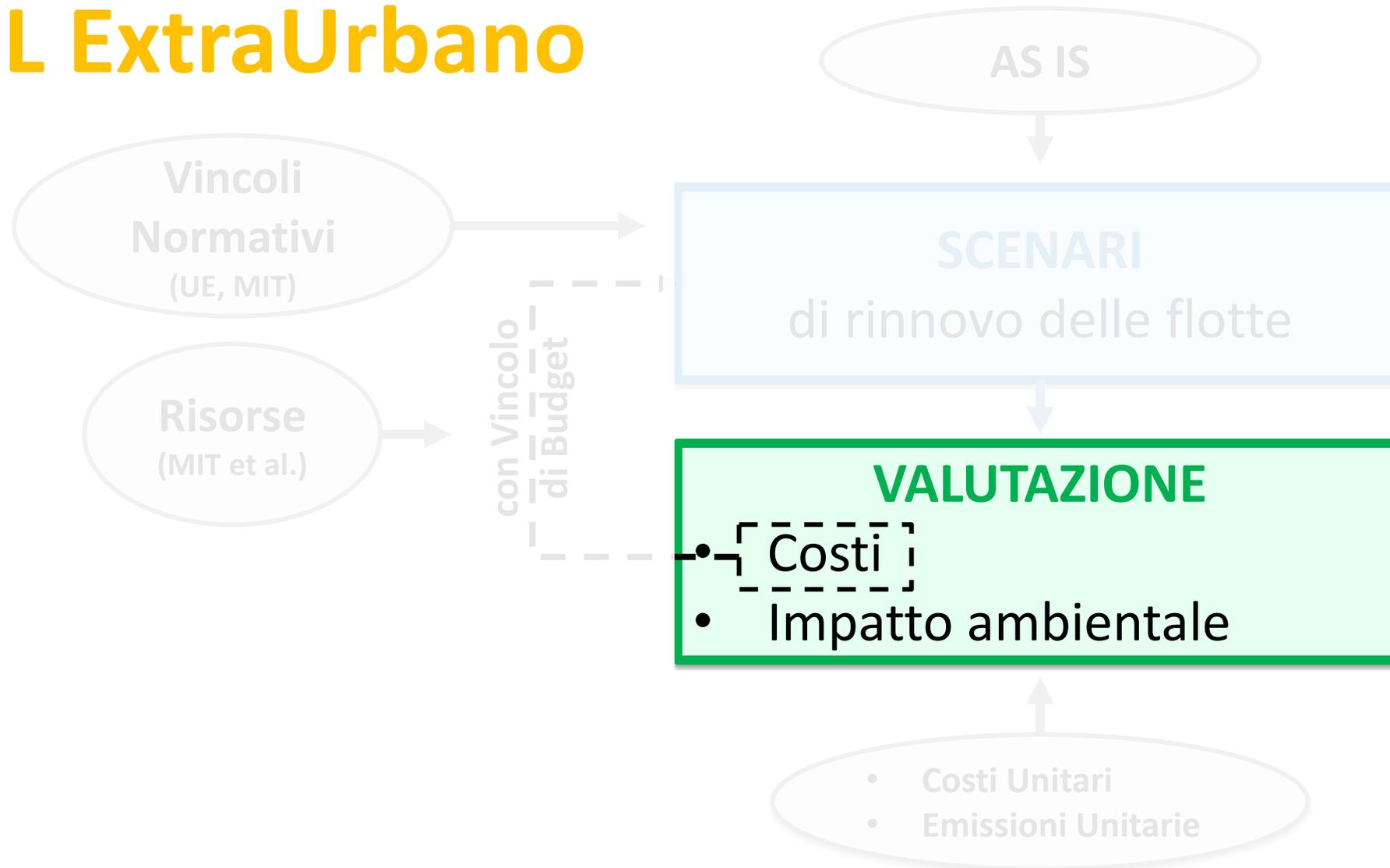
- (bio-)LNG tra 75% e 50%;
- Idrogeno tra 20% e 40%;
- elettrico tra 5-10%

[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.

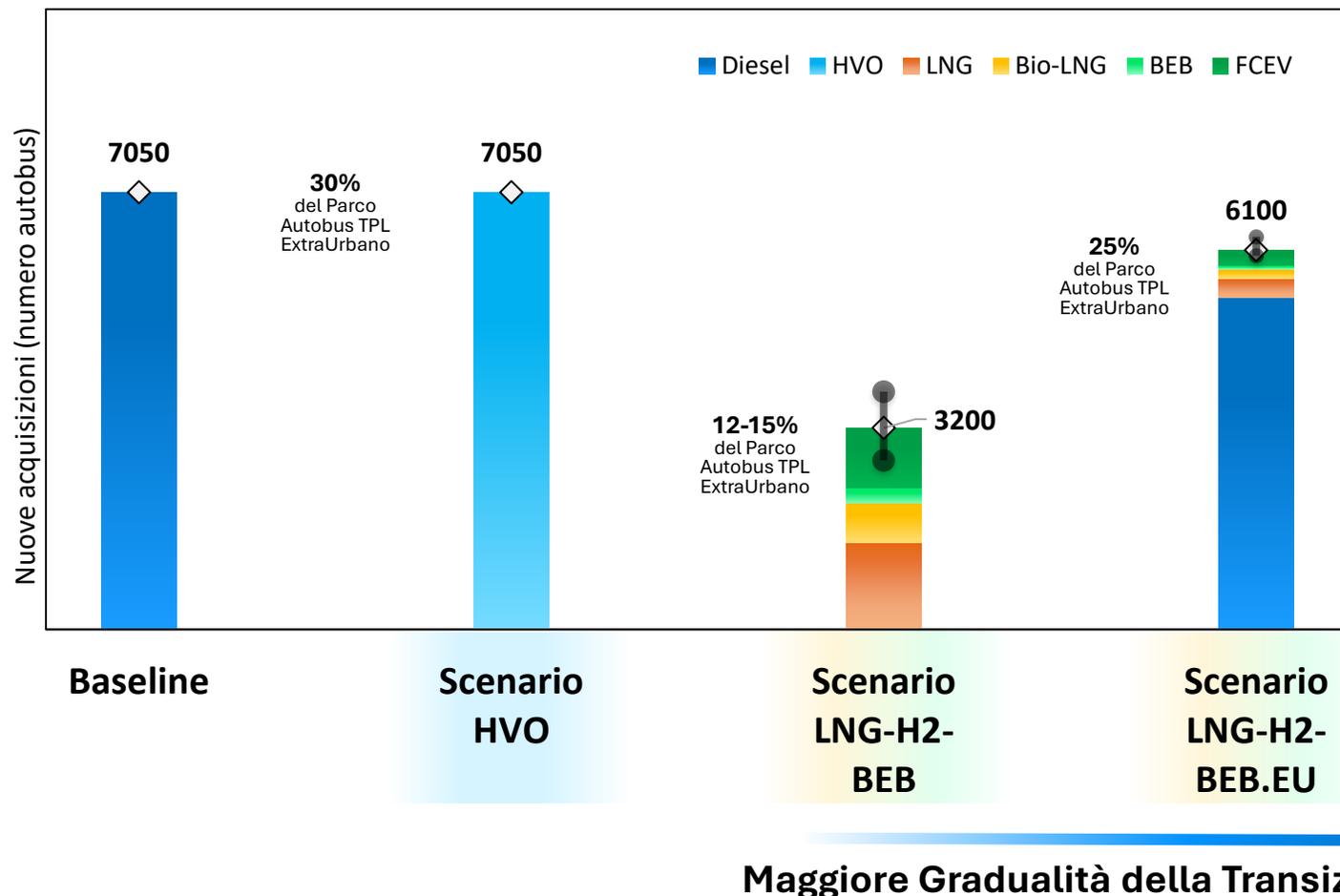
* Regolamento 2024/1610 (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401610) per gli autobus del TPL: le **emissioni Tank-to-Wheel** dei nuovi veicoli immatricolati **devono ridursi del 43% a partire da 2030** (64% dal 2035 e 90% dal 2040) rispetto ai livelli del 2019.

TPL ExtraUrbano



Valutazione Scenari – TPL ExtraUrbano

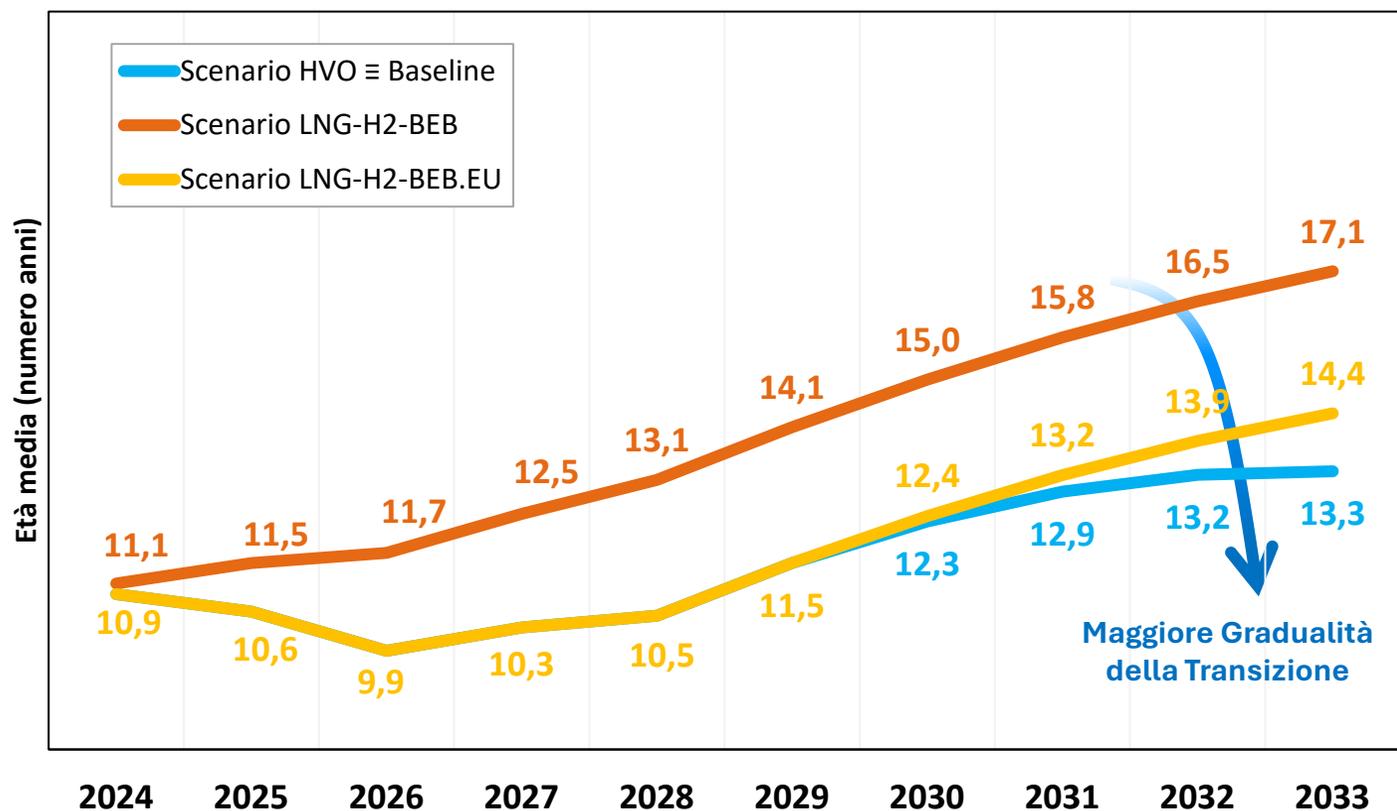
Nuove Acquisizioni nel Periodo 2024-2033



- 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

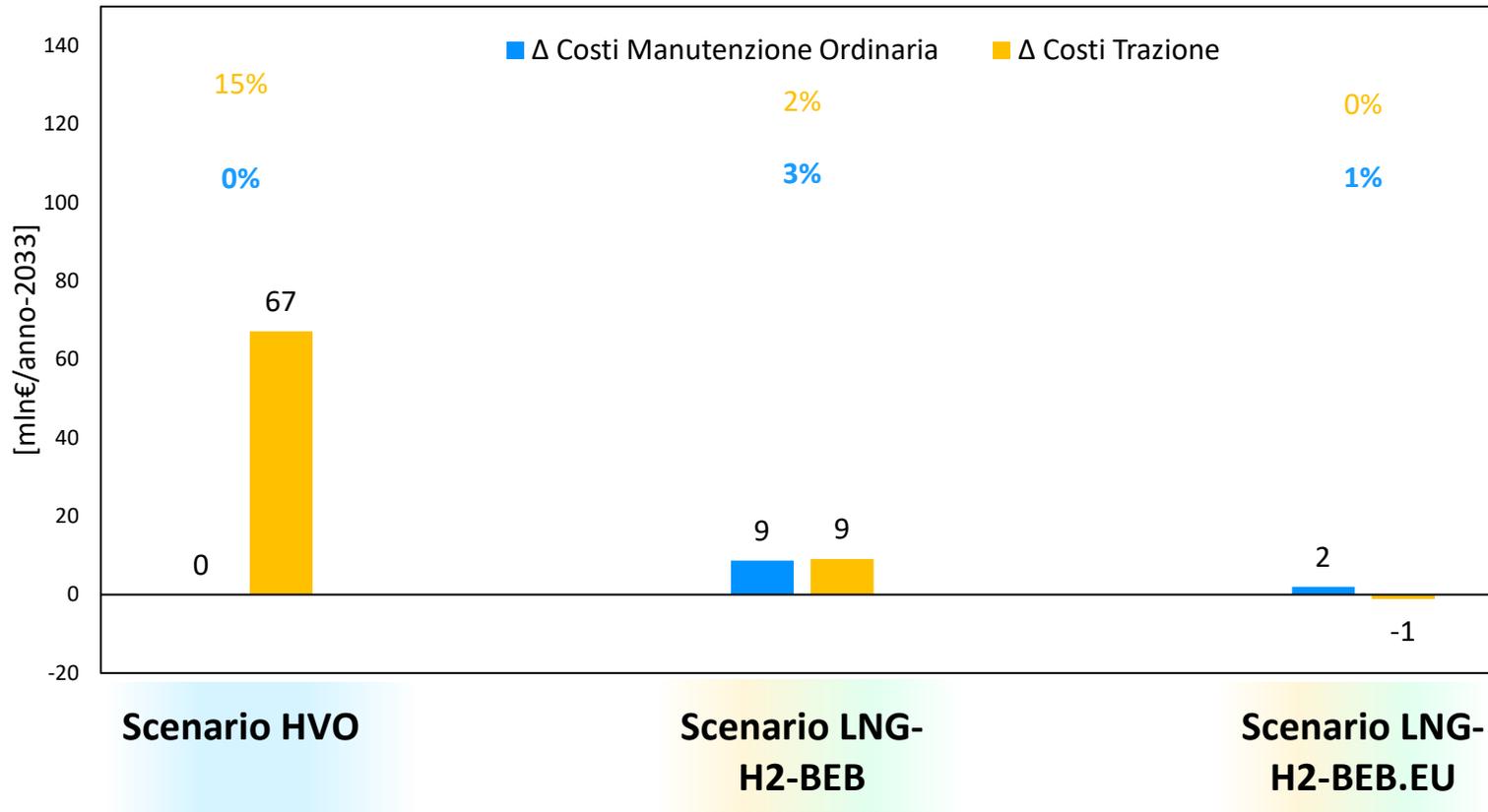


- Tra il **2024-2026** si riesce a contenere l'aumento dell'età media della flotta extraurbana ; nello scenario *compliant* con il regolamento EU, si riduce l'età media
- A partire dal 2026 l'età media del parco ricomincia a crescere: **occorrono fondi aggiuntivi** per raggiungere lo standard EU (età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



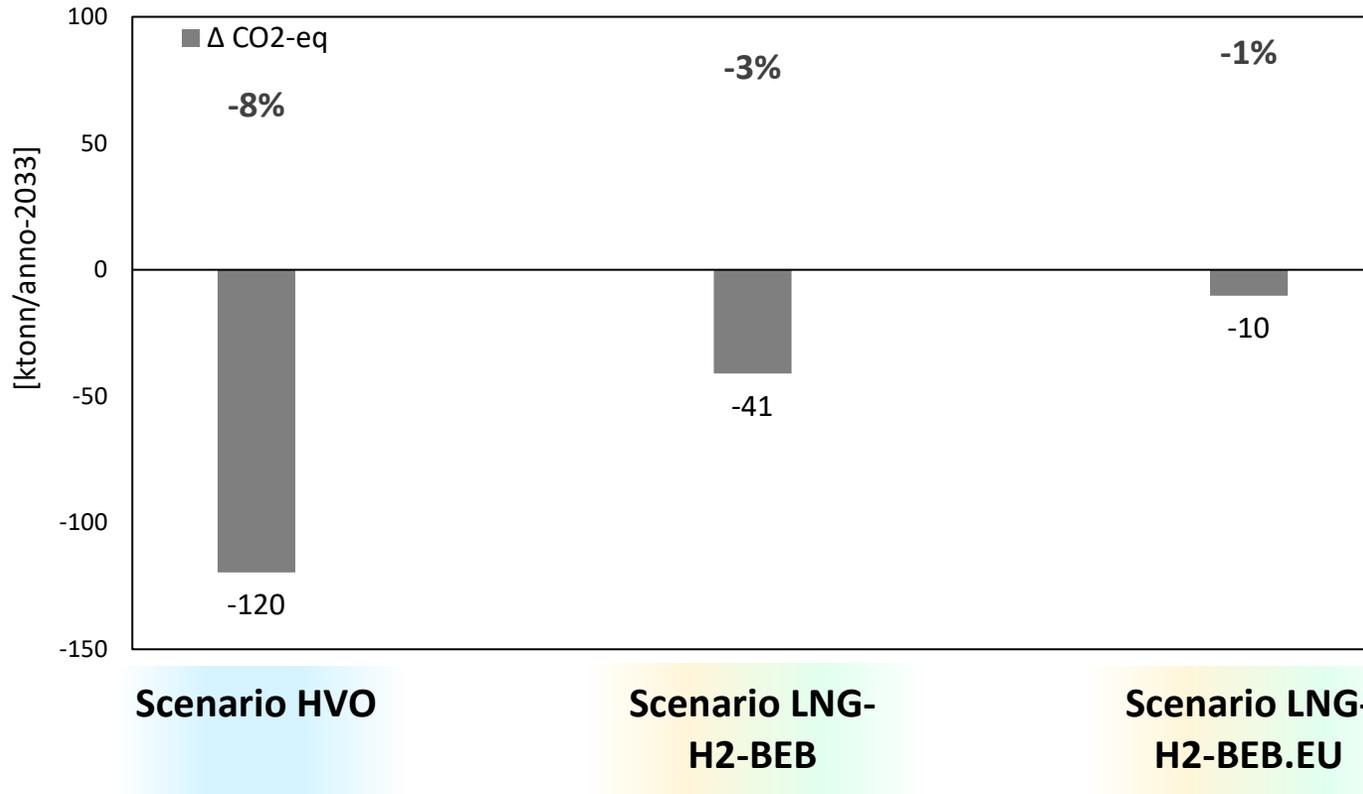
- I **costi di trazione** rimangono invariati, rispetto allo Scenario Baseline; solo per lo Scenario **HVO** si stima un aumento dei costi di trazione del **+15%**
- Non si osservano impatti significativi sui **costi di manutenzione** per tutti gli Scenari simulati.

Maggiore Gradualità della Transizione

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

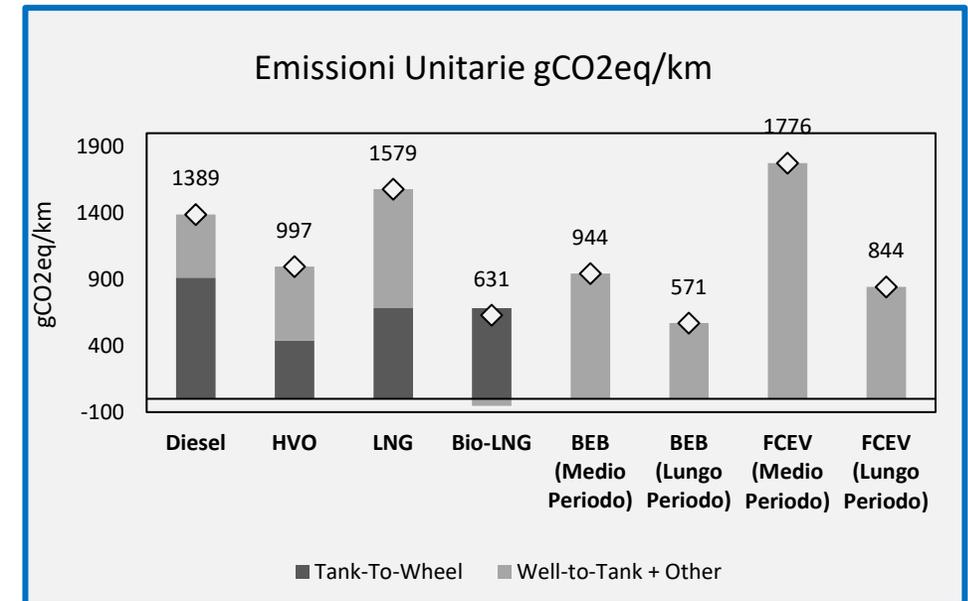
Valutazione Scenari – TPL ExtraUrbano

Emissioni CO2-eq Annue Variazioni rispetto al Baseline *



➔
Maggiore Gradualità della Transizione

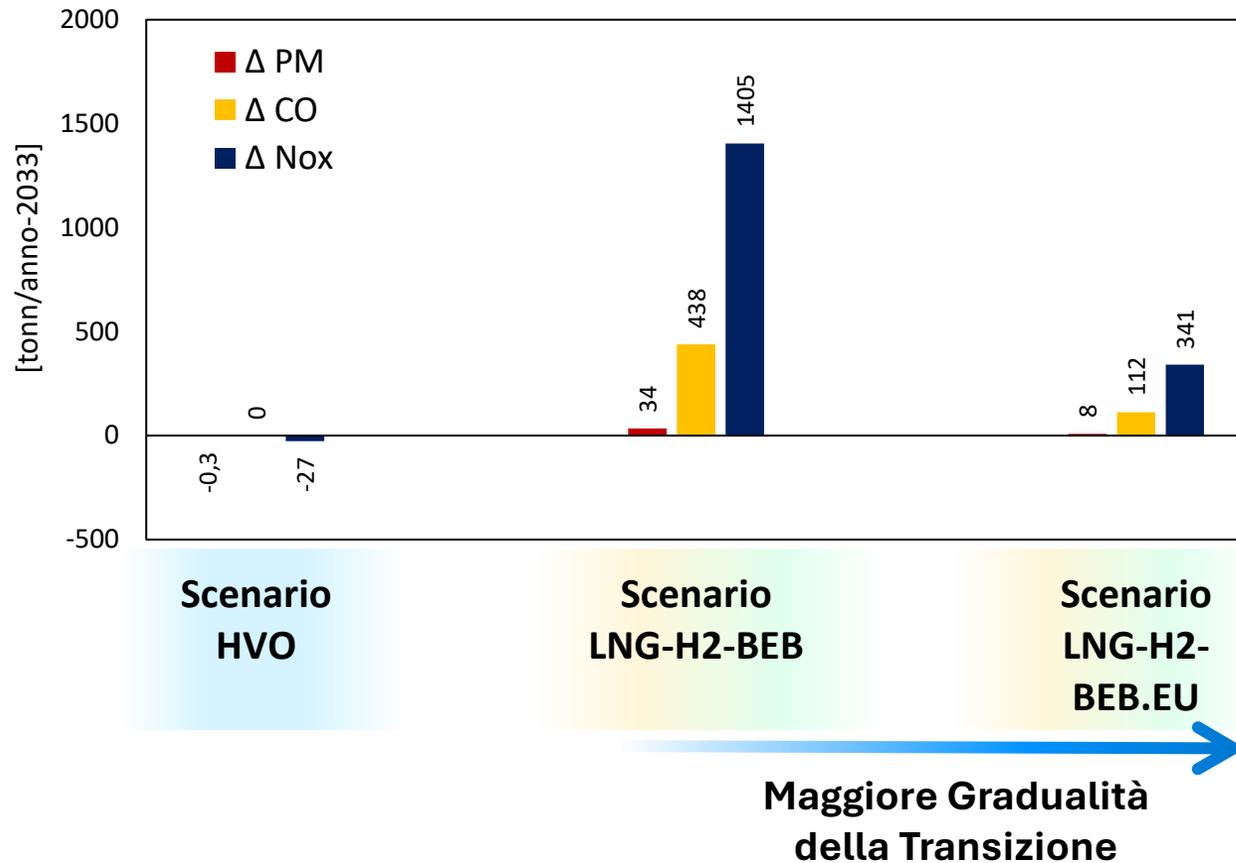
- Per lo Scenario **HVO** si stima una riduzione di emissioni di CO2 nel ciclo vita, pari a **-8%**; per gli altri scenari le riduzioni di CO2eq sono marginali



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

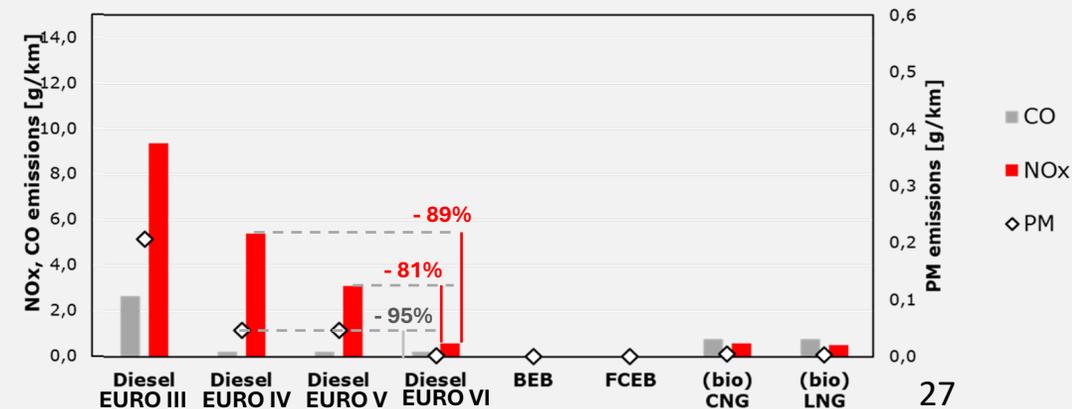
Valutazione Scenari – TPL ExtraUrbano

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)

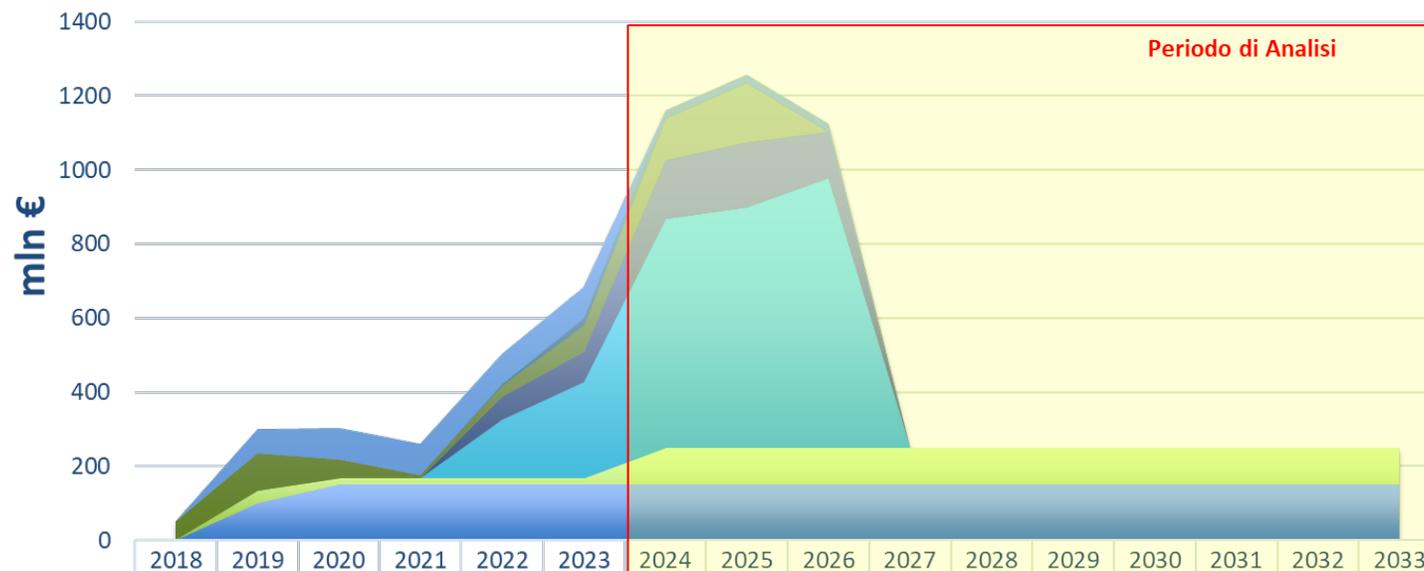
Ciò è dovuto al minore impatto unitario di PM_{2,5} e NO_x di motorizzazioni Diesel EURO VI, rispetto a Diesel EURO IV (-95% PM_{2,5}; -89% NO_x) e EURO V (-95% PM_{2,5}; -81% NO_x).



* **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 CO₂eq nel ciclo vita (**LCA**)
 - Impatto sulla **qualità dell'aria**, variazioni di CO, NO_x e PM_{2,5}

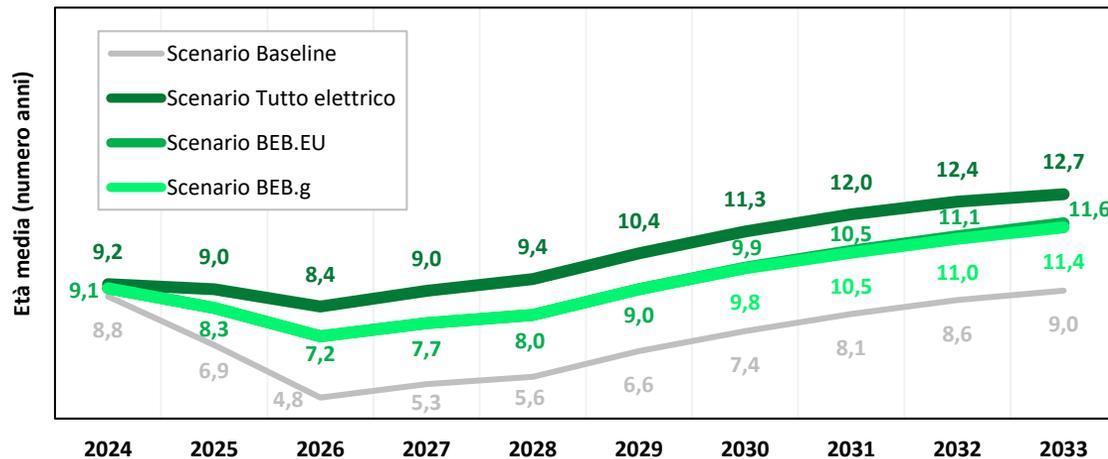
Conclusioni

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**

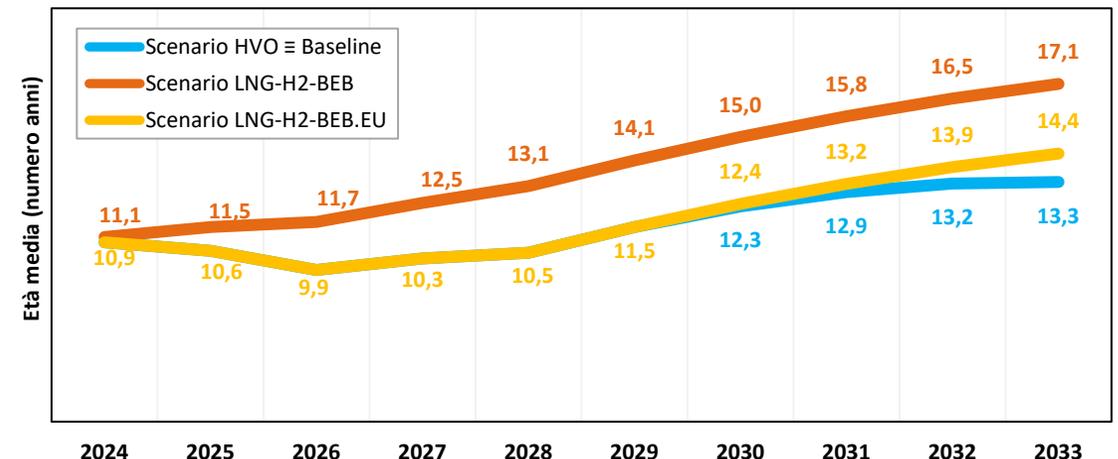
Età media della Flotta nel Periodo 2024-2033

TPL Urbano



Età media della Flotta nel Periodo 2024-2033

TPL ExtraUrbano



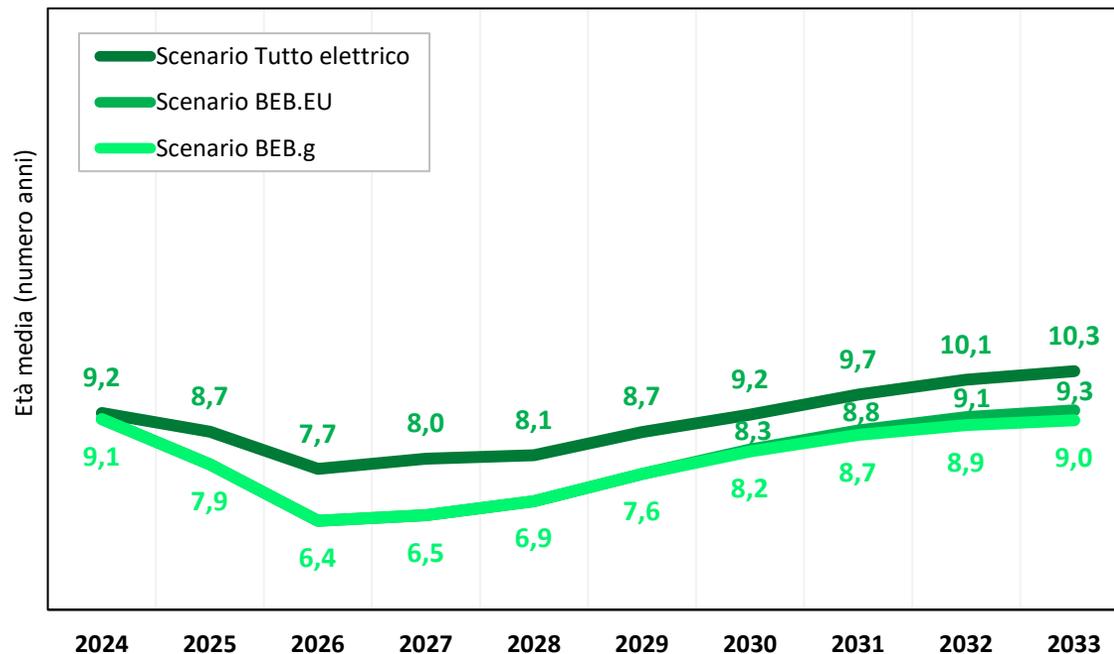
- A partire dal 2026 l'età media del parco ricomincia a crescere: **occorrono fondi aggiuntivi** per mantenere l'età media in linea con lo standard EU (età media = 7,5 anni)

Conclusioni

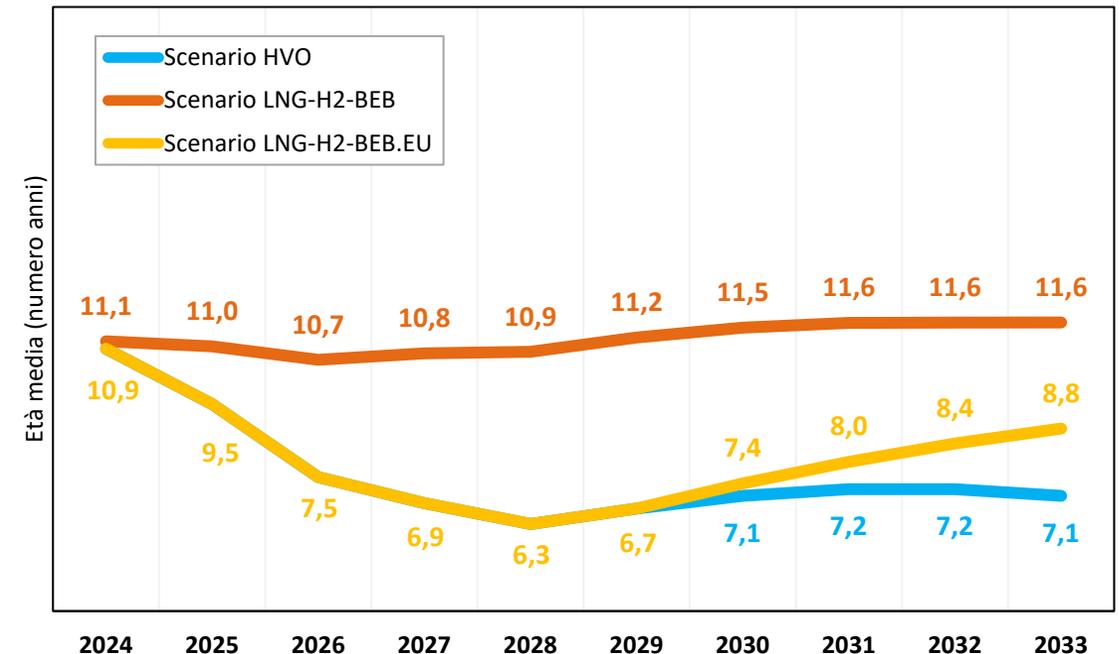
Età media del parco (con ulteriori fondi: 500 mil.euro/anno dal 2025)

- 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

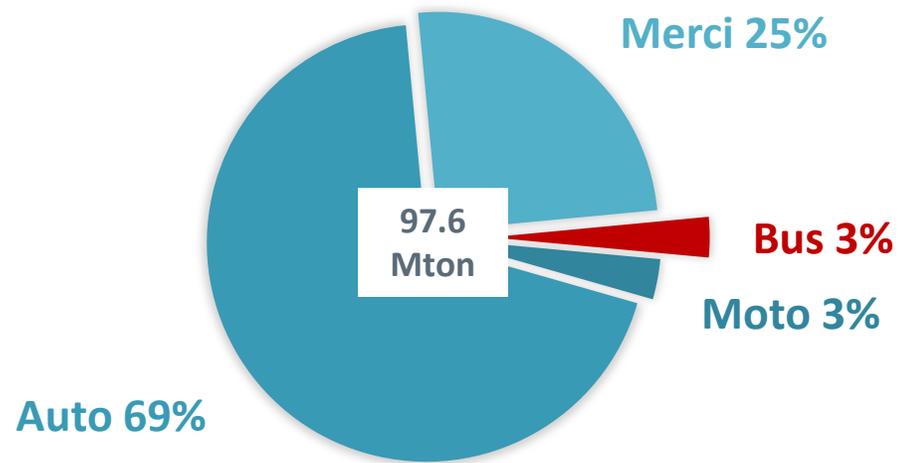
- Gli scenari che modificano i vincoli dei fondi italiani per il rinnovo delle flotte di autobus (solo l'acquisizione di autobus elettrici per l'urbano; no diesel per l'extraurbano) permettono di raddoppiare il numero di nuove acquisizioni (Diesel Euro VI) a parità di investimento
- L'analisi ha messo 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 CO₂eq nel ciclo vita)

Una transizione veloce ha un maggiore impatto sulle emissioni di CO₂ 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.

Emissioni GHG dei trasporti terrestri su strada

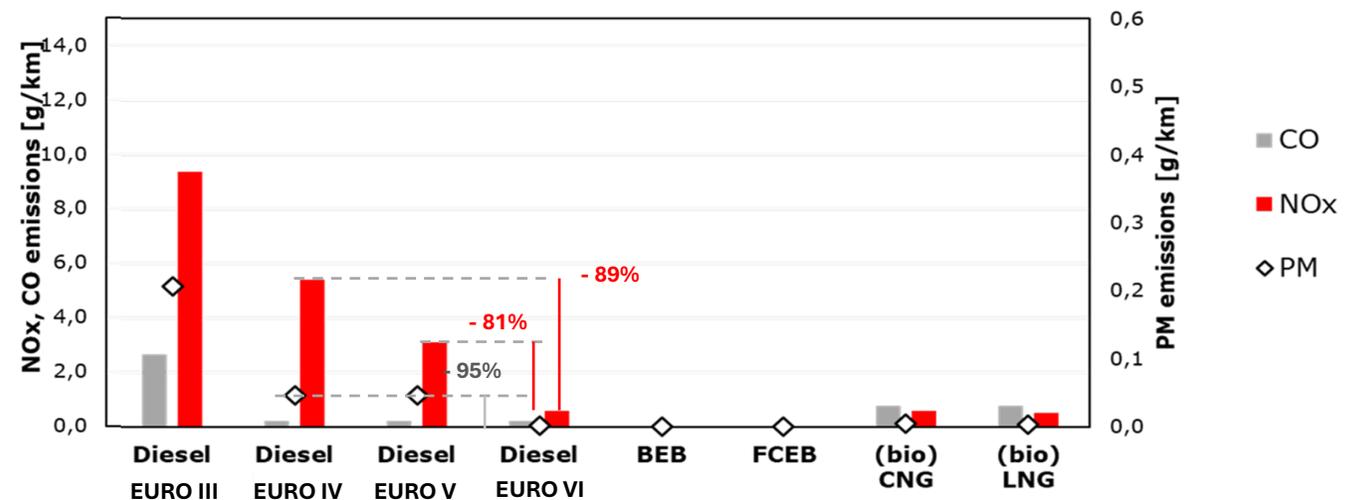


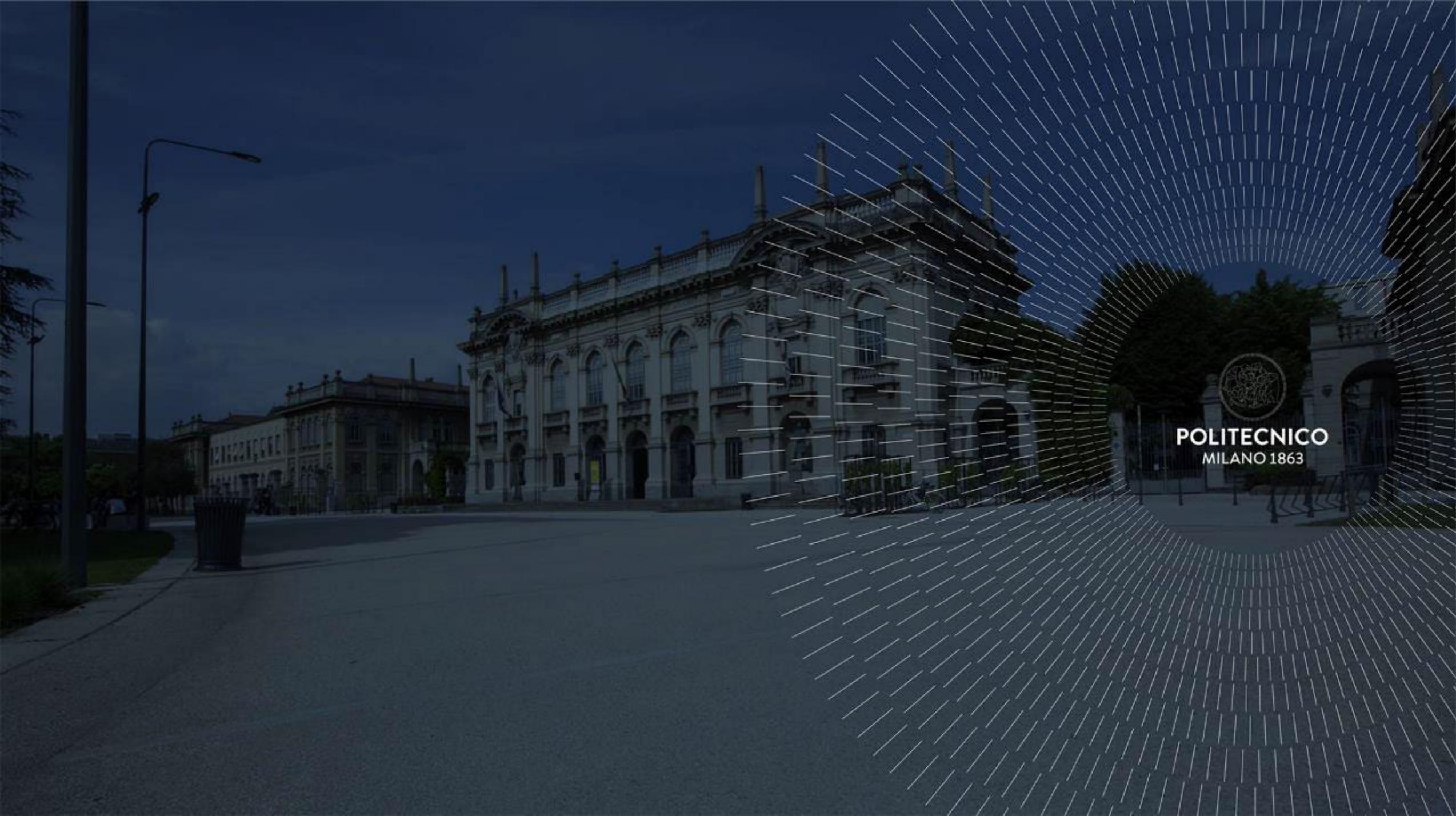
*Il segmento Autobus contribuisce con 2,9 milioni di tonn/anno al **3%** delle emissioni climalteranti (GHG) dei trasporti terrestri su strada, pari allo **0.7%** delle emissioni GHG totali in Italia; pertanto l'**impatto differenziale tra i diversi scenari** considerati è molto piccolo (compreso in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