

Ottobre 2019



the mind of movement

L'impatto delle alimentazioni alternative sulle emissioni inquinanti nel rinnovo del parco autobus del TPL

Prof. Ing. Guido Gentile
(Sapienza Università di Roma)

Ing. Lorenzo Meschini

Ing. Domingo Lunardon

Dott. Antonino Lo Burgio

Indice dello studio

1. Obiettivi dello studio.....Pag.3
2. Contesto e quadro generale.....Pag.6
3. Costi ed Emissioni del TPL.....Pag.14
4. L'effetto del rinnovamento della flotta TPL..Pag.29
5. Le potenzialità del TPL per lo shift modale.....Pag.52
6. Conclusioni.....Pag.57





the mind of movement

Capitolo 1

OBIETTIVO DELLO STUDIO



Obiettivi dello studio

Il contrasto dei cambiamenti climatici e del riscaldamento del pianeta attraverso l'assunzione di politiche ambientali più ambiziose ed incisive costituisce una priorità globale non procrastinabile (Summit ONU sul clima 23/09/2019). Parallelamente, è quantomai fondamentale ridurre le emissioni nocive alla salute dell'uomo in contesti fortemente inquinati e ad alta densità di insediamento.

La transizione verso un sistema di trasporti e di mobilità sostenibile è parte importante e indispensabile della strategia da intraprendere.

In questo contesto lo sviluppo e l'ammodernamento della rete di trasporto pubblico locale può dare un contributo determinante:

- attraverso un'offerta di servizio sempre più green ed ecosostenibile grazie alla sostituzione del parco rotabile con nuovi veicoli di gran lunga meno inquinanti;

ma, soprattutto:

- consentendo uno shift modale dal trasporto privato ai sistemi di mobilità collettiva, con un significativo abbattimento delle emissioni inquinanti connesse ad un sistema di mobilità privata la cui inefficienza è moltiplicata da insaturazione e congestione.

Il presente studio si propone di valutare il contributo che lo sviluppo del sistema di trasporto pubblico su gomma può dare in termini di riduzione delle emissioni inquinanti. In particolare:

1. partendo dalle risorse pubbliche attualmente disponibili per il rinnovo del parco autobus nell'ambito del Piano Nazionale Strategico della Mobilità Sostenibile (PSNMS) ed individuandone la più efficace modalità di impiego in termini di riduzione delle emissioni del parco autobus impiegato nei servizi (importante soprattutto per gli inquinanti «locali» - PM10, NOx, CO, NMVOC);

e....

Obiettivi dello studio

2. Focalizzandosi sulla riduzione delle emissioni complessive del trasporto su strada connesse allo shift modale rilevante soprattutto ai fini della riduzione delle emissioni di CO2 e del contrasto al global warming.

Peraltro è bene ricordare che la riduzione della congestione, conseguente a politiche di miglioramento della qualità del TPL, non è un tema di sola sostenibilità ambientale collegata alle emissioni di inquinanti o di gas serra, ma piuttosto una soluzione di sostenibilità a 360°:

- **Ambientale:** inquinamento atmosferico (emissioni inquinanti e CO2), inquinamento acustico;
- **Economica:** costi diretti, costi indiretti (esternalità);
- **Sociale:** incidentalità, congestione.

Una soluzione che privilegia il miglioramento della qualità del trasporto collettivo è dunque *win-win*, perché da un lato contribuisce alla salute del pianeta, dall'altro alla qualità della vita delle persone.



the mind of movement

Capitolo 2 CONTESTO E QUADRO GENERALE



Contesto e quadro finanziario

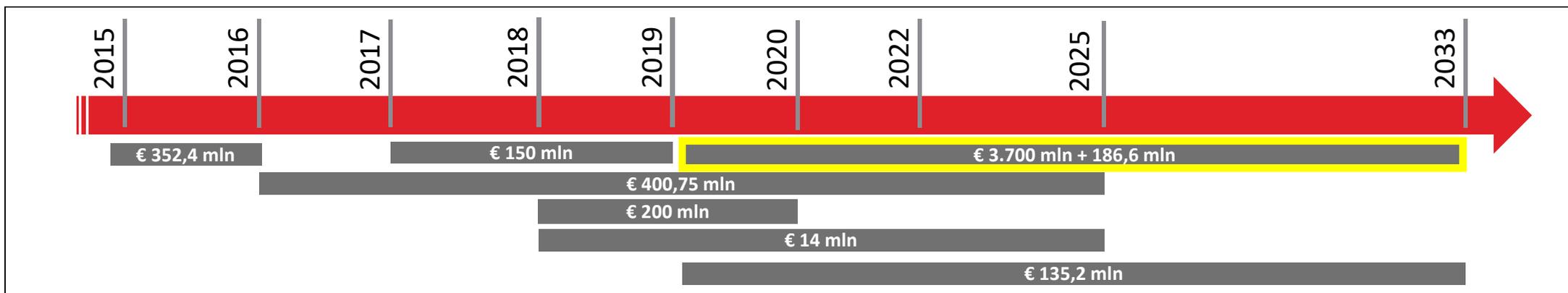
Al fine di definire il quadro generale dello studio, si riportano i seguenti approfondimenti:

- **Quadro finanziario e vincoli normativi**, attraverso una sintesi della normativa nazionale ed europea e delle linee di finanziamento in corso sul TPL.
- **Lo stato dell'arte dei bus disponibili sul mercato**, con una breve analisi sul mercato degli autobus in Italia e in Europa, sui principali produttori europei e sull'andamento delle immatricolazioni per tipologia di alimentazione dal 2017 a oggi.
- **L'attuale flotta di veicoli utilizzata dalle aziende**, con l'analisi del parco veicolare utilizzato dalle aziende di TPL con età media, tipologia di alimentazione, classificazione Euro.



Quadro finanziario e vincoli normativi

Di seguito, in ordine cronologico, si riporta una sintesi dei documenti programmatici e delle relative risorse pubbliche destinate al rinnovamento del veicolare tra il 2015 ed il 2033, per un totale di 5,13 miliardi di euro



FONDO BUS

Il DM 345/2016 ripartisce fra le Regioni risorse statali (Legge di Stabilità 2016) pari a **352,4 milioni** di euro per gli anni 2015 e 2016.
 Con il DM 25/2017 sono stati collocati **150 milioni** di euro per il triennio 2017-19, previsti anch'essi dalla Legge di Stabilità 2016.

FONDO DI SVILUPPO E COESIONE

Con la Delibera CIPE 54/2016, è previsto l'impegno di **200 milioni** di euro per l'acquisto di autobus per il TPL. L'80% è destinato alle Regioni del Mezzogiorno.
 Con due successive delibere CIPE (98/2017 e 12/2018) è stato previsto l'ulteriore stanziamento rispettivamente di 400,75 mln e 14 mln)

PSNMS

La dotazione finanziaria stanziata con la legge di bilancio 2017 e ripartita secondo le linee di indirizzo definite dal Piano Strategico Nazionale della Mobilità Sostenibile (PSNMS) ammonta complessivamente a **3,7 miliardi**, al netto delle quote di cofinanziamento (pari al 20% per bus elettrici e pari al 30% per i bus a metano).
 La dotazione è stata poi ulteriormente incrementata con 186,6 mln.

FONDO AMM. CENTR.

Il quadro delle risorse si completa poi con i 135,2 milioni previsti dal fondo Amministrazioni Centrali con la L. 145/2018 per il periodo 2019-2033

Fonte: rielaborazione da dati CDP - MIT

Tecnologie disponibili sul mercato e campi d'applicazione

Tecnologia di Trazione per Bus	Bus Urbani	Bus Extraurbani	Bus Lunga Percorrenza	Emissioni inquinanti	Emissioni CO2	Costo d'acquisto
Diesel Euro I - V	X	X	X			
Diesel Euro VI	X	X	X			
Biodiesel - combustibile ottenuto da fonti rinnovabili quali oli vegetali (di colza, di soia, ecc.), grassi animali e da metanolo	X	X	X			
Elettrico plug-in in deposito - la ricarica delle batterie avviene attraverso un sistema di ricarica a cavo in deposito	X	X				
Elettrico ricarica rapida con contatto al capolinea - la ricarica avviene attraverso un sistema a contatto al capolinea (pantografo, ecc...)	X					
Elettrico ricarica rapida a induzione in linea o al capolinea - la ricarica avviene attraverso un sistema magnetico induttivo che trasferisce energia al mezzo da sotto l'asfalto o attraverso un sistema wireless	X					
Metano compresso - il GNC è un combustibile fossile ottenuto comprimendo il gas naturale*	X	X				
Metano liquefatto - il GNL è costituito principalmente da metano (90-99%) e da altri gas come il Butano e l'Etano*	X	X	X			?
Idrogeno - veicolo che converte l'energia chimica dell'idrogeno in energia meccanica bruciandolo in un motore a combustione interna o facendolo reagire per produrre elettricità	X	X				
Ibrido - veicolo dotato di un sistema di propulsione a due o più motori che lavorano in sinergia fra di loro (diesel-elettrico, ecc...)	X	X	X			

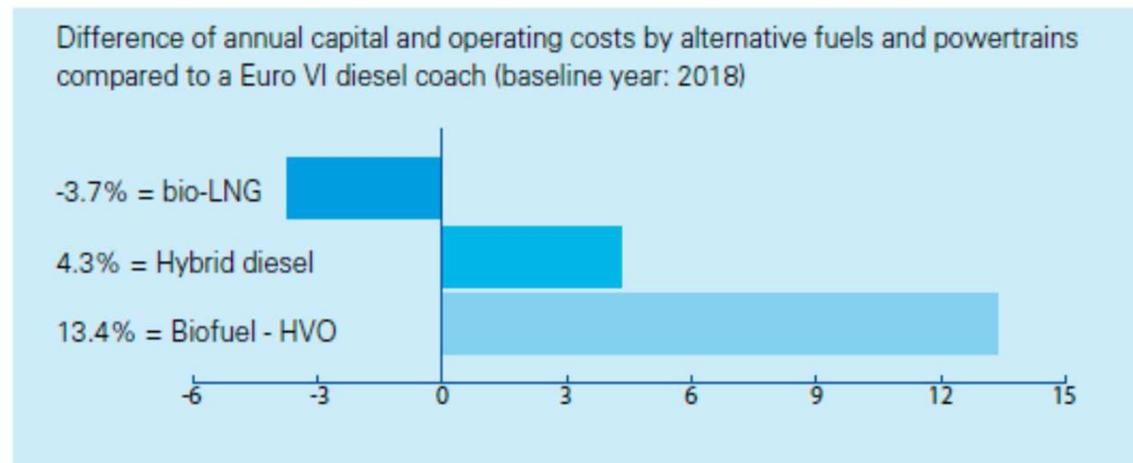
Le nuove tecnologie non trovano ancora una diretta applicazione sulle lunghe percorrenze

*La possibilità di utilizzare metano BIO migliora le emissioni di CO2

Tecnologie alternative per i bus a lunga percorrenza

Le alimentazioni alternative negli autobus a lungo raggio

CO ₂ g/km	dal pozzo al serbatoio	dal serbatoio alla ruota	dal pozzo alla ruota	Average values versus Euro VI coach
Euro VI	247	827	1074	
Bio-LNG*	198	554	752 -30%	↓
HVO**	124	802	926 -15%	↓
Diesel-hybrid***	222	719	941 -10%	↓

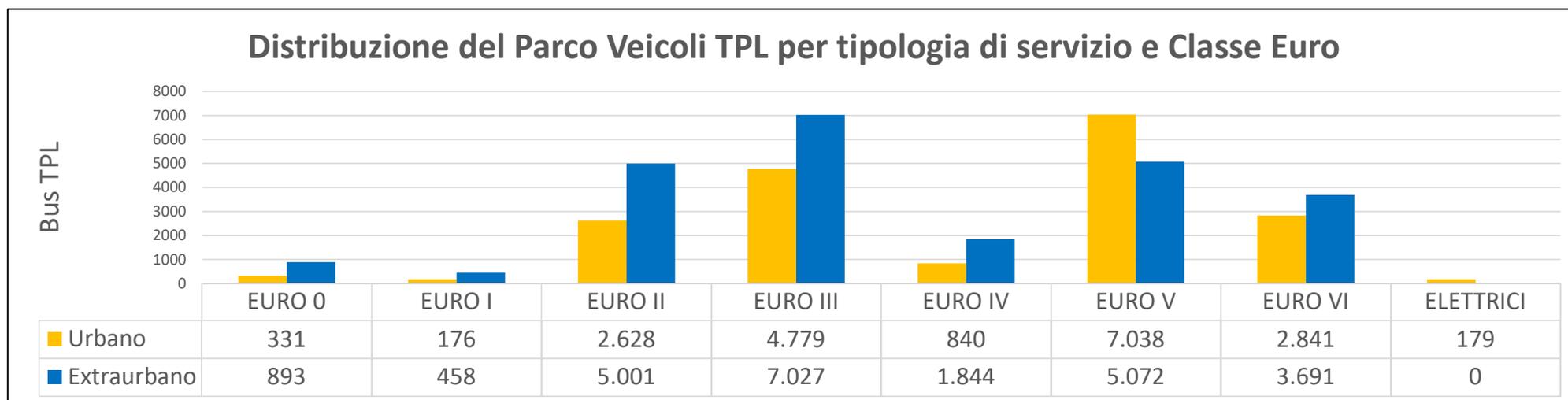


Uno studio IRU ha dimostrato che il Bio-LNG* (liquefied natural gas) risulta essere al momento la tecnologia alternativa maggiormente promettente per gli autobus a lungo raggio, sia dal punto di vista ambientale che economico.

Note: *Percentuale BIO-LNG 20%, **Percentuale HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) 30%, ***Percentuale in elettrico 10%

L'attuale flotta di autobus TPL in Italia

Di seguito si riporta la distribuzione percentuale dei Bus dedicati al servizio TPL in Italia rispetto alla classe Euro e rispetto all'ambito di esercizio. I dati sono aggiornati a settembre 2018.



A livello nazionale il parco autobus complessivo è di circa 43.000 veicoli. Il **44%** del parco veicolare adibito a trasporto urbano e il **56%** nel trasporto extraurbano. Il parco autobus del servizio extraurbano è ancora molto sbilanciato sulle classi Euro più obsolete (circa il 20% dei veicoli). Il 20% dei bus extraurbani è di classe euro inferiore a euro III.

L'età media degli autobus italiani ha superato i **12 anni** (12,2 anni) a fronte dei **6,9 anni** della Germania, **7,9** della Francia, **7,7** del Regno Unito e **8** della Spagna. Un invecchiamento dei mezzi che si rispecchia sulla ripartizione per classi di emissione.

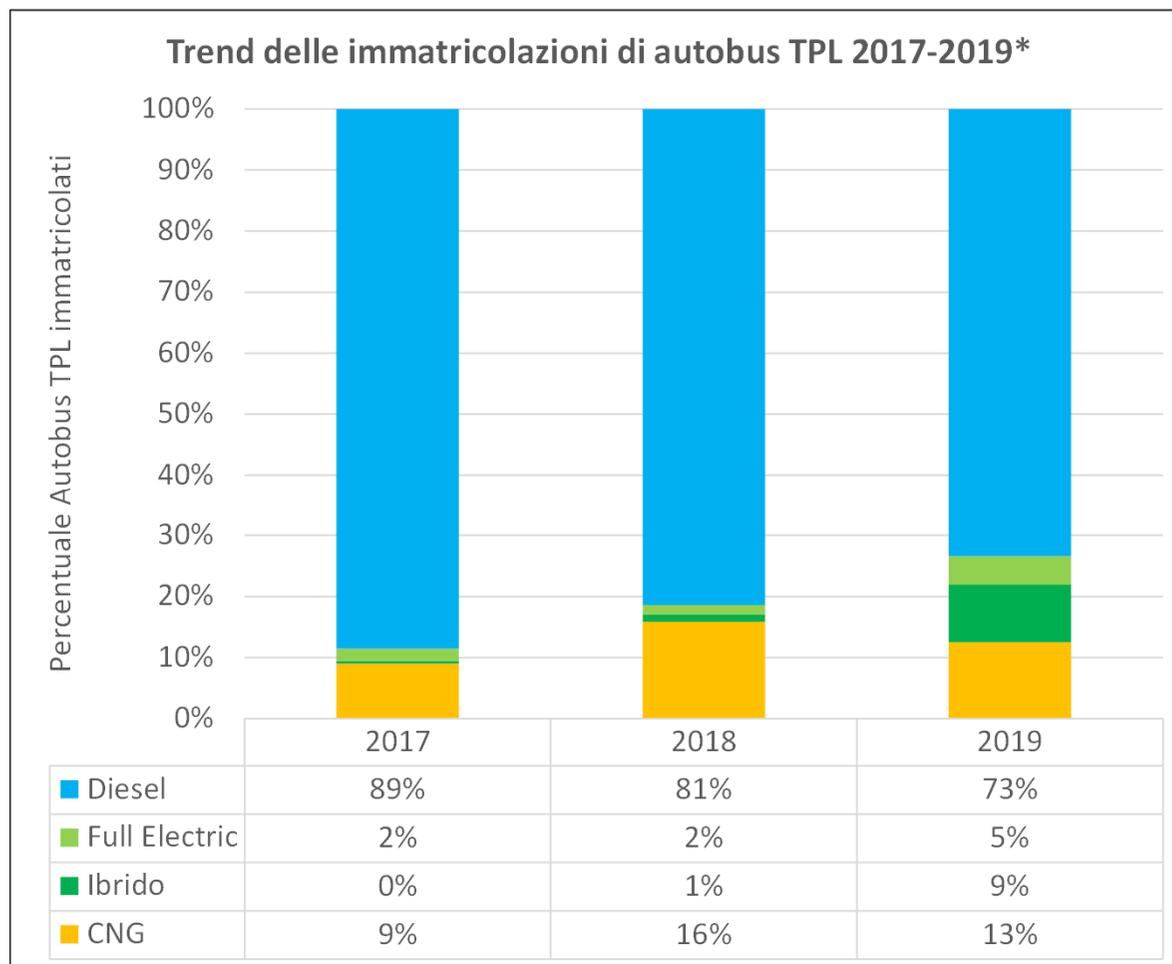
Nel 2019, fino ad agosto, sono stati immatricolati circa 1.400 autobus per il TPL (tutti i tipi di alimentazione).

Fonte: Fonte: Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - DG per la Motorizzazione - Centro Elaborazione Dati, Settembre 2018.

Il trend delle immatricolazioni di bus per servizi TPL in Italia

In Italia nel **2017** gli autobus elettrici a batteria immatricolati sono stati pari a **28**, nel **2018** sono stati **38** ma nel **2019** si prevede un numero di ordinativi superiore, con **48** veicoli già immatricolati nei primi sei mesi del 2019.

Come si evince dal diagramma le percentuali di veicoli ibridi ed elettrici immatricolati nel periodo gennaio-luglio 2019 risultano già molto più alte rispetto a quelle riferite alle annualità precedenti.



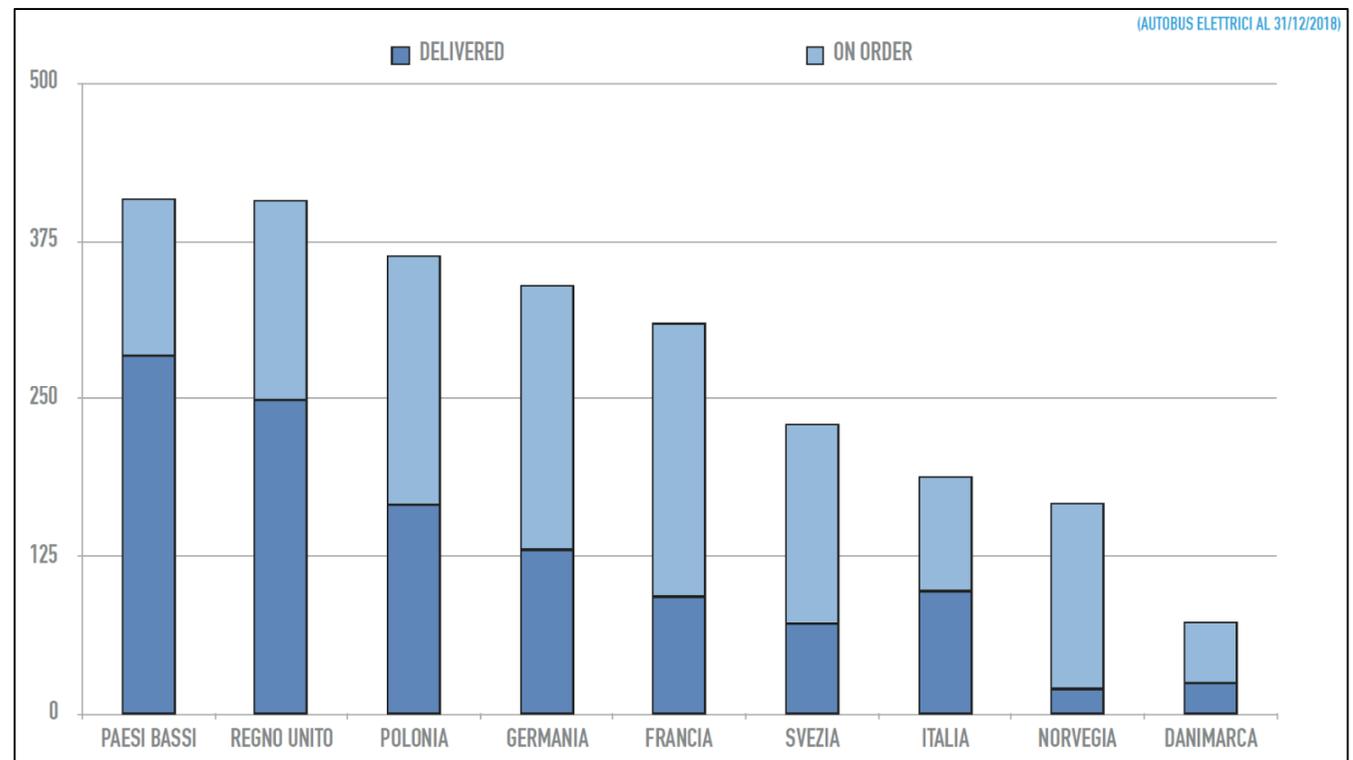
Fonte: www.ilportaledellautomobilista.it e ANFIA

* Periodo gennaio-luglio 2019

L'attuale flotta di bus elettrici in Europa

In Europa nel **2018** sono stati ordinati circa **900 autobus** elettrici a batteria ma gli immatricolati sono stati pari a **562**, rappresentando il 5% del mercato degli autobus, con un trend in crescita del 48% rispetto al **2017**, anno in cui le immatricolazioni sono state **378**.

Nel grafico si riporta in blu il numero di autobus elettrici in esercizio TPL, mentre in celeste il numero di autobus ordinati e in procinto di entrare in esercizio*.





the mind of movement

Capitolo 3 COSTI ED EMISSIONI DEL TPL



Emissioni di inquinanti incluse nel modello

Fonte: MIT – Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti

Il modello di emissione considera esplicitamente i seguenti inquinanti:

PM₁₀

Il **particolato** sospeso è costituito dall'insieme di tutto il materiale non gassoso in sospensione nell'aria.

Nox

Gli **ossidi di azoto** sono generati dai processi di combustione. E' uno degli inquinanti atmosferici più pericolosi per la sua natura irritante.

CO

Il **monossido di carbonio** è un gas inodore e incolore ed è generato durante la combustione di materiali organici quando la quantità di ossigeno a disposizione è insufficiente.

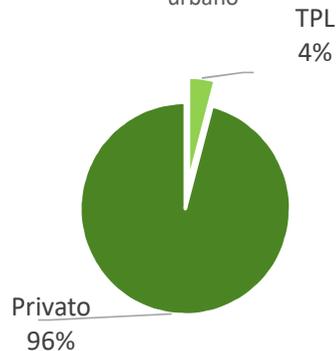
NMVOC

I **composti organici volatili non metanici** sono caratterizzati da una grande varietà di composti chimicamente diversi.

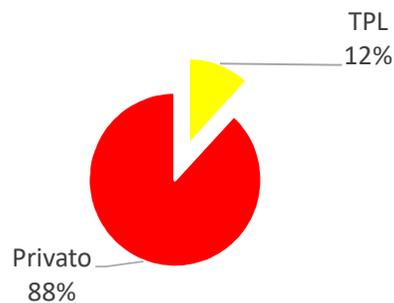
CO₂

L'**anidride carbonica** è un inquinante soltanto se la sua presenza nell'aria è di gran lunga superiore ai valori normali, considerandolo come uno dei fattori dell'aumento dell'effetto serra.

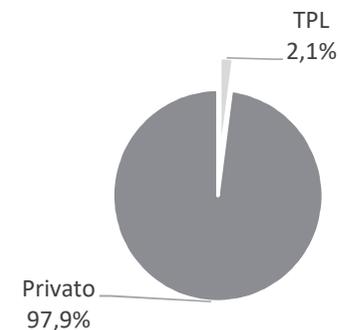
Incidenza relativa del TPL e del trasporto privato nell'emissione di PM10 in campo urbano



Incidenza relativa del TPL e del trasporto privato nella soddisfazione della domanda di mobilità in campo urbano (pax-km)



Incidenza relativa del TPL e del trasporto privato nell'emissione di CO2



Le statistiche sulle emissioni

Le fonti utilizzate nel presente studio per la stima delle emissioni chilometriche dei veicoli TPL sono le seguenti:



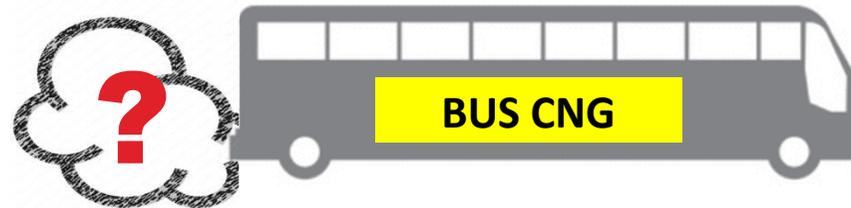
L'ISPRA attraverso la Rete del Sistema Informativo Nazionale Ambientale mette a disposizione la banca dati dei fattori di emissione medi del trasporto stradale in Italia. La banca dati dei fattori di emissione medi relativi al trasporto stradale si basa sulle stime effettuate ai fini della redazione dell'inventario nazionale delle emissioni in atmosfera, realizzato annualmente da ISPRA come strumento di verifica degli impegni assunti a livello internazionale sulla protezione dell'ambiente atmosferico, quali la Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC), il Protocollo di Kyoto, la Convenzione di Ginevra sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero (UNECE-CLRTAP), le Direttive europee sulla limitazione delle emissioni.



ADEME (Agenzia dell'Ambiente e dell'Energia Francese), in collaborazione con RATP, propone ricerche analoghe. Risultati di questi studi sono attualmente riportati Piano Strategico Nazionale della Mobilità Sostenibile del Ministero dei Trasporti Italiano, in quanto ritenuti più affidabili nel caso degli autobus a metano.

Le statistiche sulle emissioni per i bus CNG

I fattori di emissione per i bus a metano però ancora soggetti a una certa incertezza a causa delle poche prove su strada. ISPRA e MIT hanno sollevato la necessità di ulteriori approfondimenti.



Gli attuali dati di emissione per un BUS CNG in area urbana:

Fonte	PM10 [g/km]	Nox [g/km]	NMVOC [g/km]	CO2 [g/km]
ISPRA (2017)	0,135	3,908	0,000	1101
ADEME/RATP	0,001	0,240	0,005	921

≠ **≠**

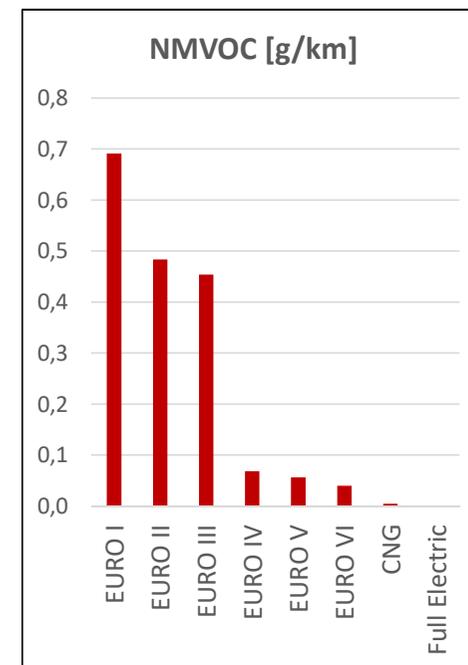
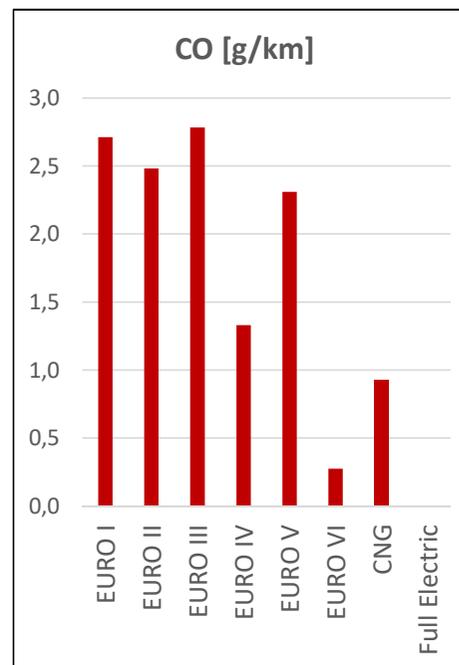
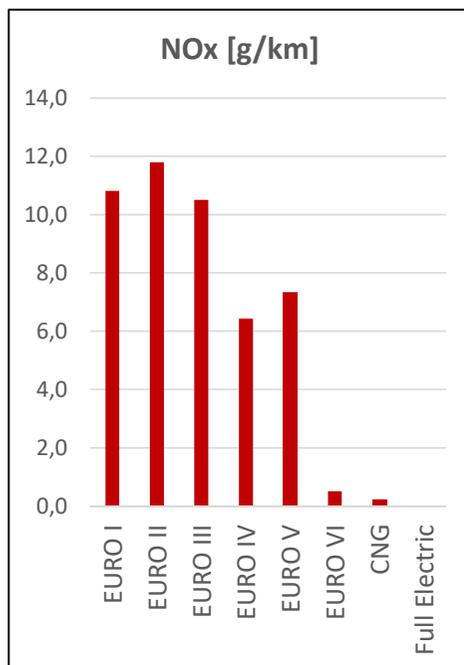
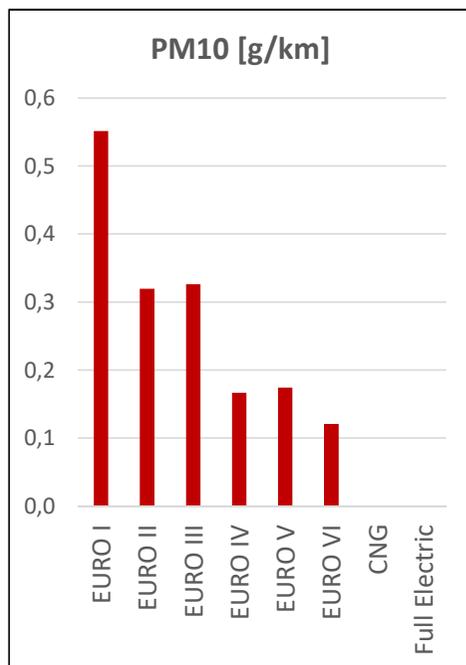
Il Piano Strategico Nazionale della Mobilità Sostenibile (PSNMS) del MIT, che in generale utilizza i coefficienti ISPRA, utilizza i coefficienti ADEME/RATP per i bus metano.

Nel presente studio si ipotizza che il 20% del CNG sia gas-bio.

Le statistiche sulle emissioni usate dal PSNMS



Nei seguenti grafici si riportano i coefficienti di emissione chilometrici di inquinanti per il TPL in ambito urbano. Questi coefficienti includono solo le emissioni del veicolo.

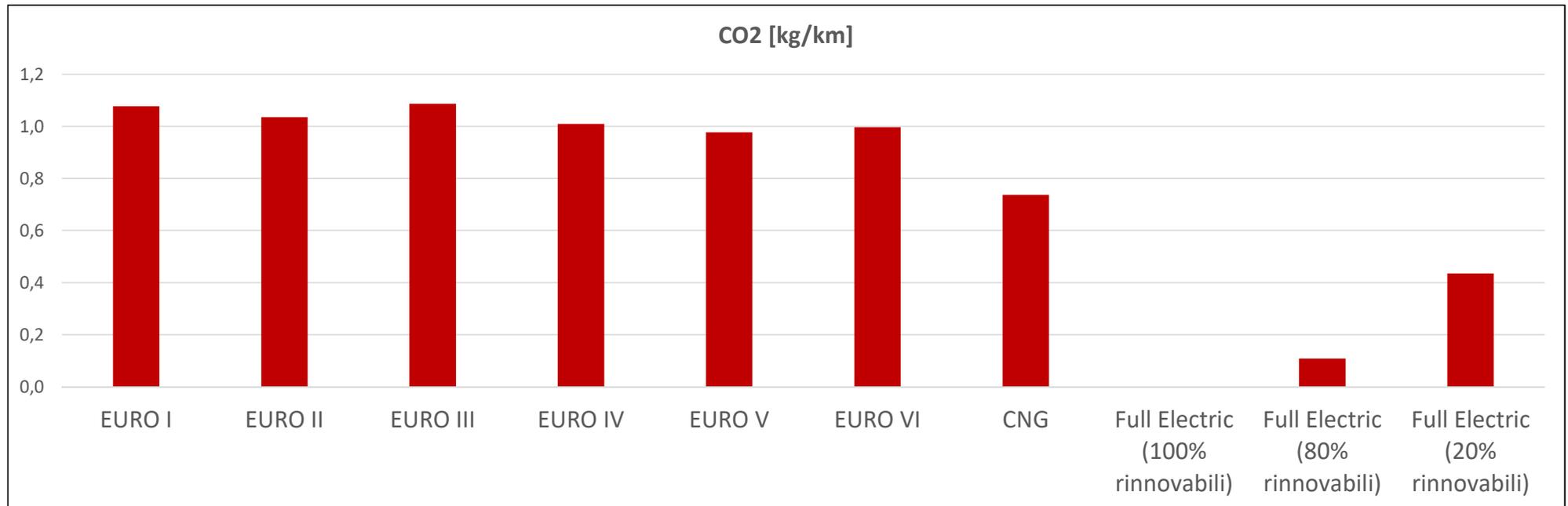


- I Bus Diesel più recenti (EURO VI) hanno coefficienti di emissioni di inquinanti inferiori rispetto alle classi EURO precedenti.
- Per i Bus Elettrici si assumono emissioni di inquinanti nulle (sono trascurate altre tipi di emissioni, come freni e rotolamento pneumatici).
- Per i Bus a Metano (CNG) sono stati considerati solo quelli di ultima generazione.

Le statistiche sulle emissioni usate dal PSNMS



Nei seguenti grafici si riportano i coefficienti di emissione chilometrici di gas serra per il TPL in ambito urbano. Per i veicoli elettrici si considera la CO2 emessa nella produzione dell'energia elettrica.



- Per i Bus Diesel le emissioni di CO2 sono pressoché costanti per tutte le classi EURO.
- I Bus a Metano hanno un emissione di CO2 minore rispetto ai Diesel essenzialmente grazie ai minor consumi.
- Per i Bus Elettrici si stima un consumo medio di 1,5 kW/km. Le emissioni di CO2 dipendono direttamente dalla percentuale di energie rinnovabili utilizzate nel processo produttivo. Nel grafico si riportano 3 esempi (100%, 80%, 20% rinnovabili).

Stima del costo d'acquisto, manutenzione ed energia per i nuovi bus

Per ogni tipologia di Bus si riportano i costi di acquisto, manutenzione e dell'energia secondo stime di mercato.

Tipologia di Bus	Chilometraggi o annuo in linea [anni]	Vita utile [anni]	Chilometraggio vita utile (5% fuori linea) [km]	Costo d'Acquisto [€]	Costo del Full Service [€]	Costo d'Acquisto + Full Service [€] (riproporzionato sul periodo di analisi di 15 anni)	Costo Energia [€]	Costo al km [€]
 DIESEL EURO VI	44.000 km	12	554.400	210.000	121.968 (0.22 €/km)	414.960	221.760 (0.40 €/km)	0,999
 CNG	44.000 km	12	554.400	230.000	127.512 (0.23 €/km)	446.890	149.688 (0.27 €/km)	0,915
 FULL ELETTRIC	32.000 km (2019) 44.000 km (2026)	15	604.800*	500.000	151.200 (0.25 €/km)	651.200	90.720 (0.15 €/km)	1,227

Si evidenzia come il costo chilometrico alla fine della vita utile sia al momento più alto per i bus elettrici.

Fonte: ANAV, analisi di mercato

*per Full Electric si prende a riferimento un bus elettrico di tipo «Overnight Charging». Nel costo di acquisto è compresa l'infrastruttura per la ricarica

Stima del costo d'acquisto, manutenzione ed energia per i nuovi bus



**Investimento di 1M €
per il rinnovamento
della flotta TPL**



**Opzione 1:
Acquisto di Bus Diesel Euro VI**

Costo Unitario (Acquisto + Full Service):
414.960 €

Numero di Bus Acquistabili:
2,41 (percorrenza annua 44.000 km)

106.034
veh-km/anno

**Opzione 2:
Acquisto di Bus CNG**

Costo Unitario (Acquisto + Full Service):
446.890 €

Numero di Bus Acquistabili:
2,24 (percorrenza annua 44.000 km)

98.458
veh-km/anno

**Opzione 3:
Acquisto di Bus Full Electric**

Costo Unitario (Acquisto + Full Service):
651.200 €

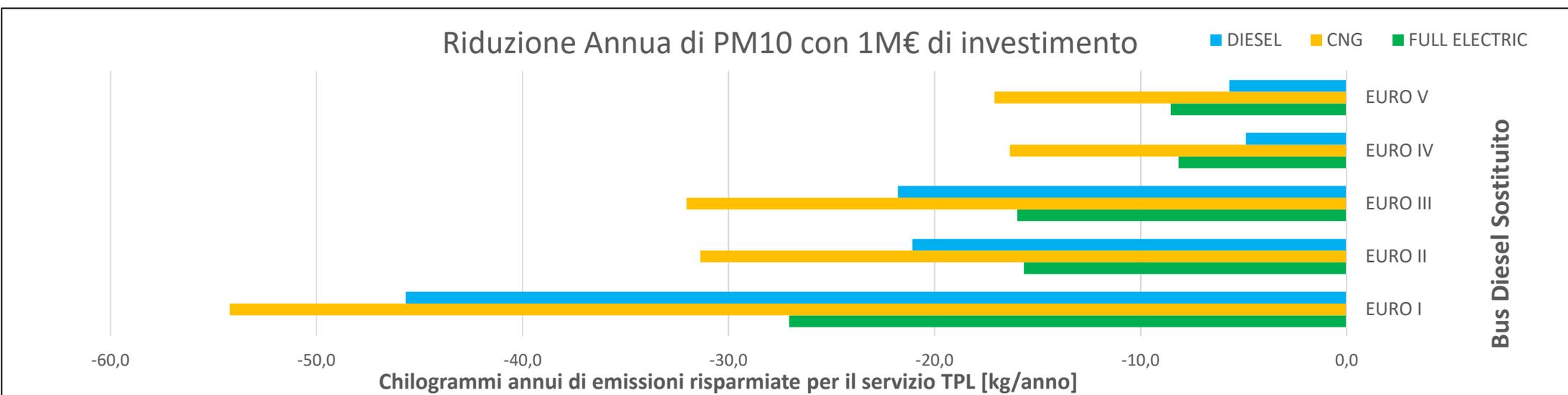
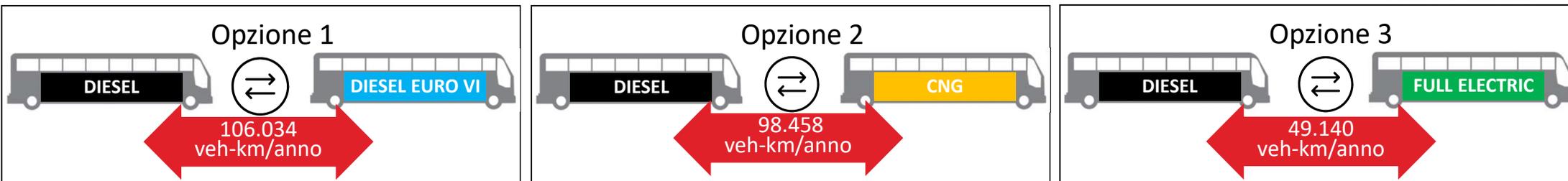
Numero di Bus Acquistabili:
1.54 (percorrenza annua 32.000 km)

49.140
veh-km/anno

Riduzione chilometrica delle emissioni con rinnovamento della flotta TPL



Ambito urbano



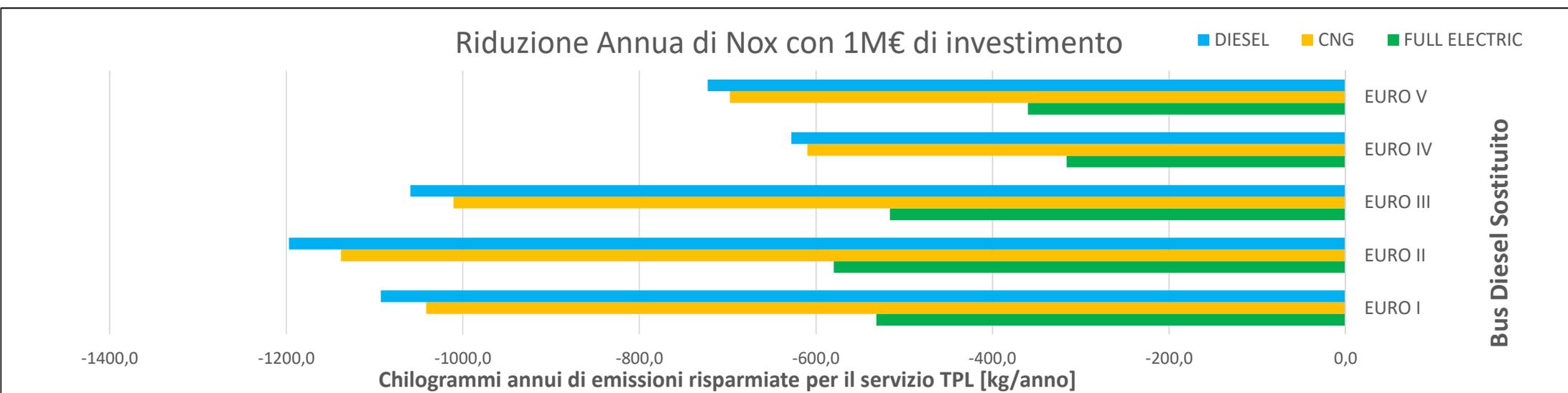
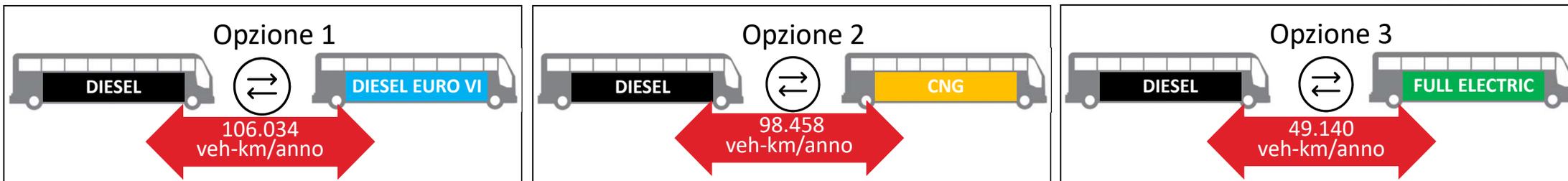
- Il CNG (utilizzando i coefficienti forniti nel PSNMS) risulta essere la tecnologia che riduce maggiormente le emissioni di particolato a parità di capitale investito.
- Il Diesel risulta essere comunque conveniente rispetto all'elettrico nei casi di sostituzione di veicoli più obsoleti (EURO I, II, III).

Fonte: dati ISPRA e PSNMS

Riduzione chilometrica delle emissioni con rinnovamento della flotta TPL



Ambito urbano



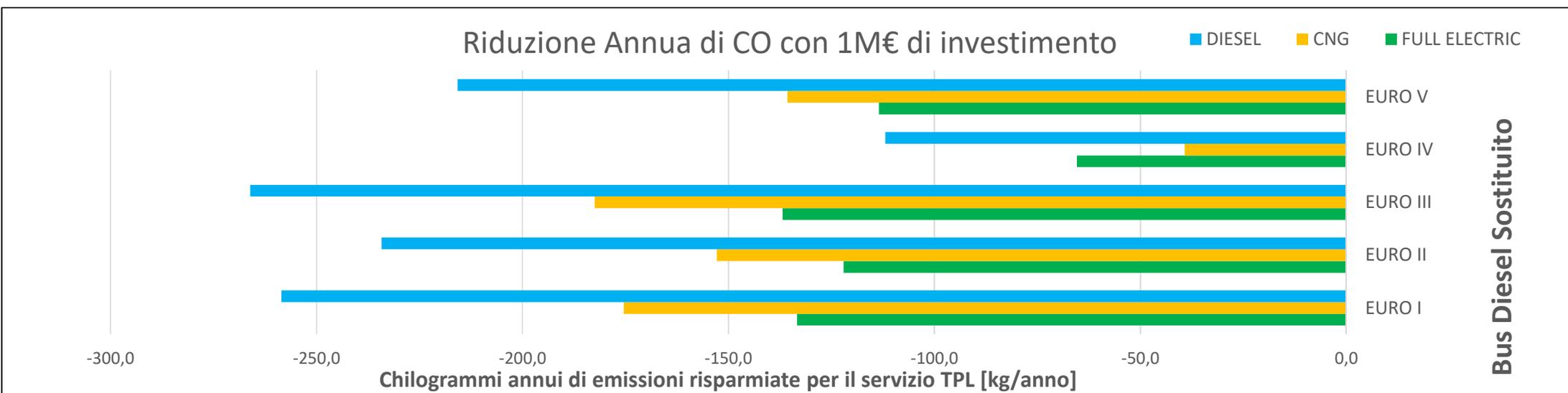
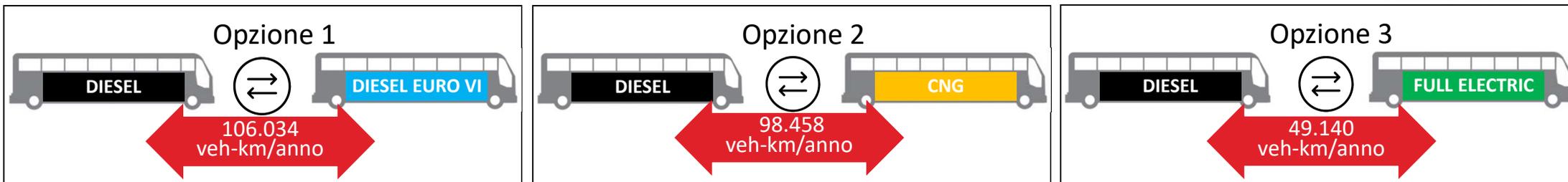
- L'utilizzo di Diesel e CNG in sostituzione di veicoli Diesel obsoleti, a parità di capitale investito, garantisce sempre una maggiore riduzione di NOx.
- L'utilizzo di trazione elettrica ha delle performance di abbattimento degli inquinanti inferiori di circa il 50%.

Fonte: dati ISPRA e PSNMS

Riduzione chilometrica delle emissioni con rinnovamento della flotta TPL



Ambito urbano



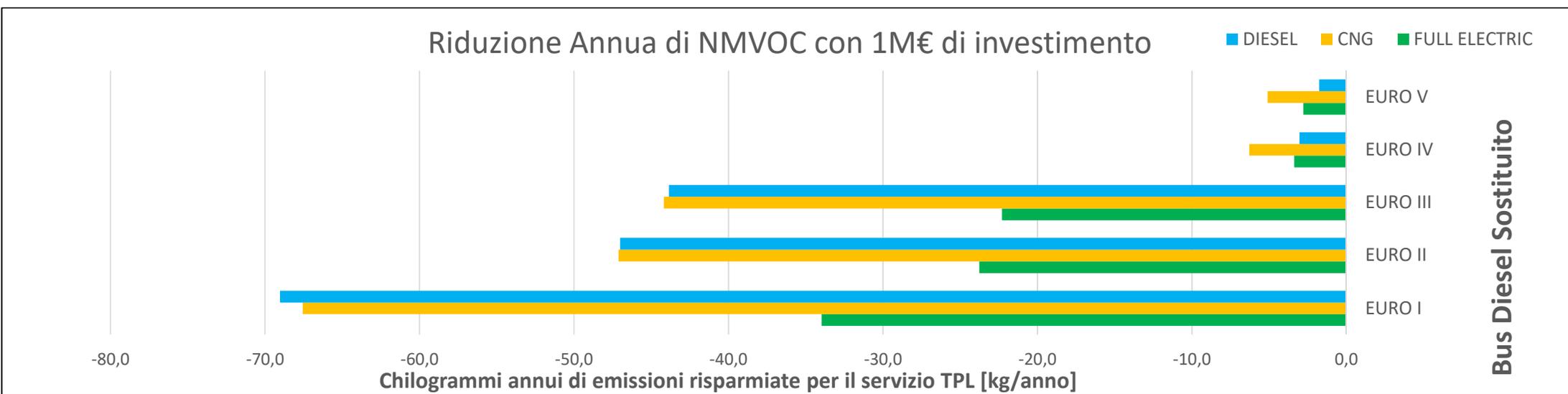
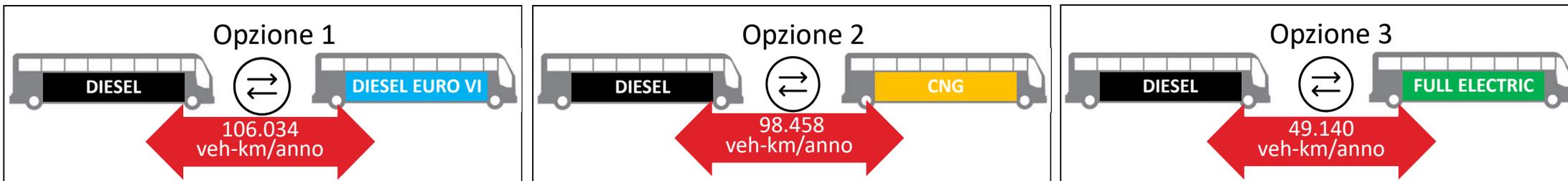
► L'utilizzo del Diesel in sostituzione di veicoli più obsoleti, a parità di capitale investito, garantisce sempre una maggiore riduzione delle emissioni di CO.

Fonte: dati ISPRA e PSNMS

Riduzione chilometrica delle emissioni con rinnovamento della flotta TPL



Ambito urbano



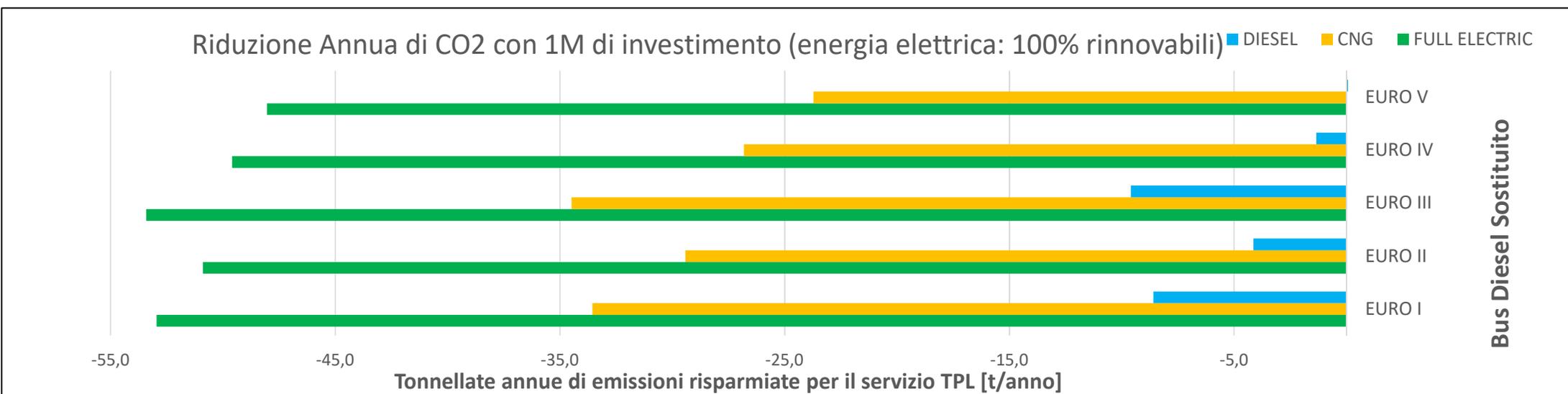
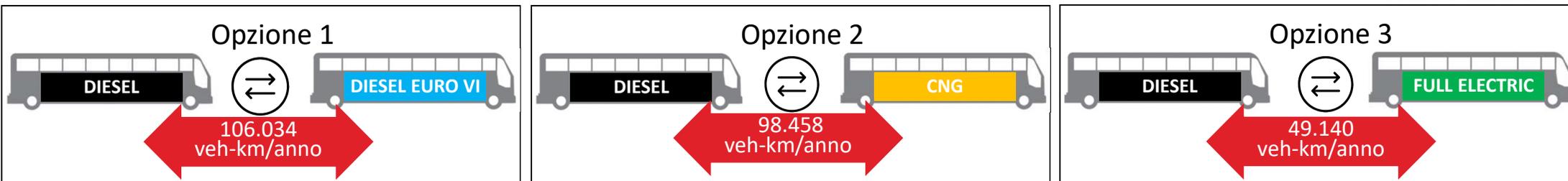
- L'utilizzo di Diesel e CNG in sostituzione di veicoli diesel obsoleti (Euro I, II, III), a parità di capitale investito, garantisce una maggiore riduzione di NMVOC.
- L'utilizzo di trazione elettrica ha delle performance paragonabili al DIESEL solo nei casi di sostituzione di EURO IV e V.

Fonte: dati ISPRA e PSNMS

Riduzione chilometrica delle emissioni con rinnovamento della flotta TPL



Ambito urbano



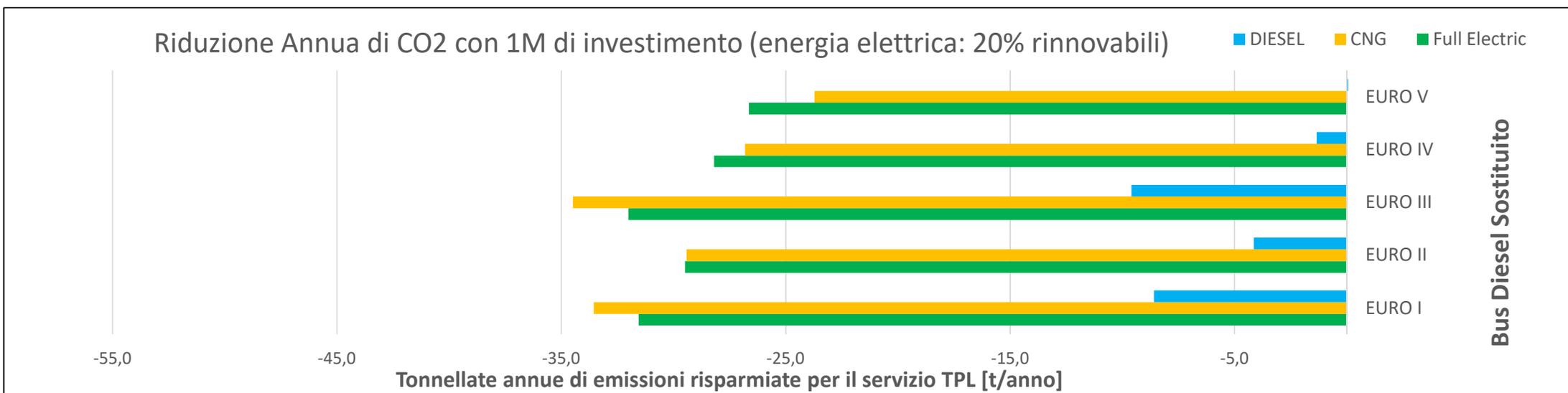
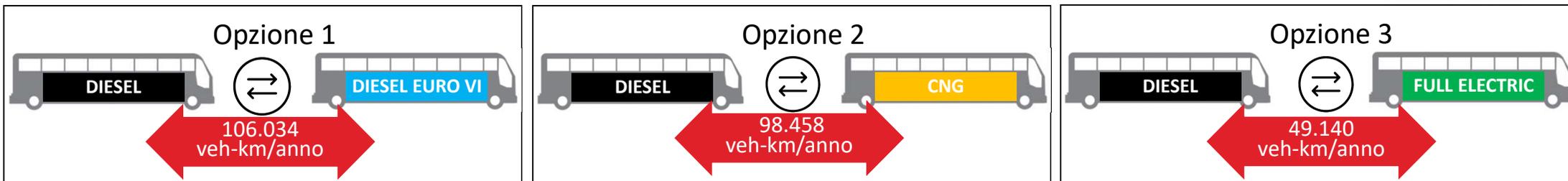
- In uno scenario ideale (in cui l'energia elettrica viene prodotta senza emettere CO2) il Full Electric risulta essere la tecnologia che riduce maggiormente le emissioni di CO2, anche a parità di capitale investito. Segue il CNG.
- Per i Diesel EURO VI ha impatto rilevante solo in sostituzione di veicoli molto obsoleti.

Fonte: dati ISPRA e PSNMS

Riduzione chilometrica delle emissioni con rinnovamento della flotta TPL



Ambito urbano



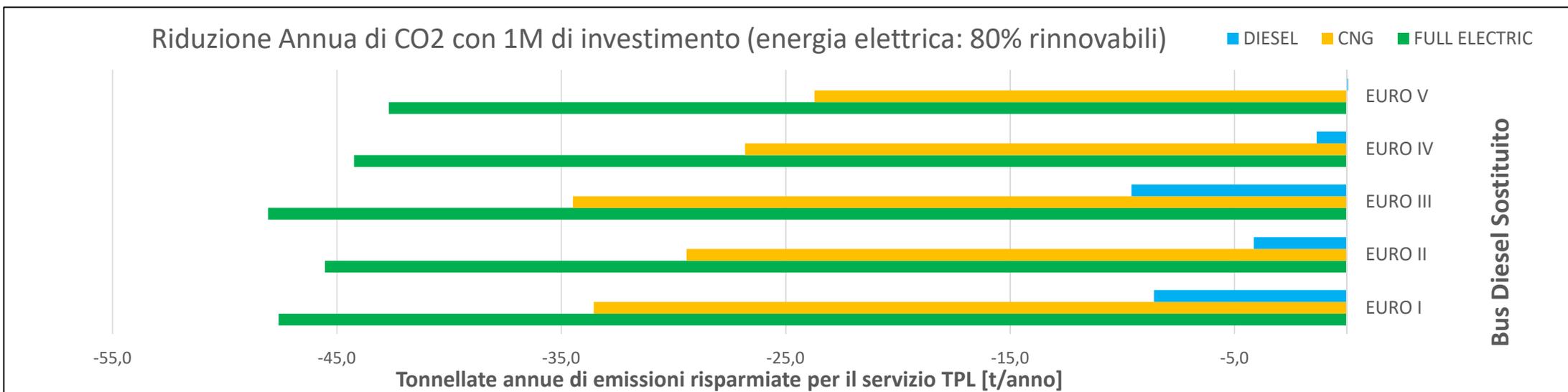
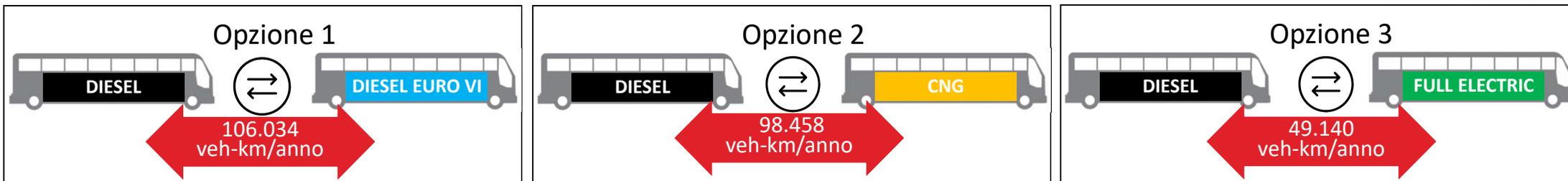
► Nello scenario attuale (in cui l'energia elettrica viene prodotta per il 20% con rinnovabili) la riduzione di emissioni di CO2 ottenibile con Full Electric risulta confrontabile con quella ottenibile con CNG, a parità di capitale investito.

Fonte: dati ISPRA e PSNMS

Riduzione chilometrica delle emissioni con rinnovamento della flotta TPL



Ambito urbano



► In un possibile scenario futuro (in cui l'energia elettrica viene prodotta per il 80% con rinnovabili) la riduzione di emissioni di CO2 ottenibile con Full Electric risulta maggiore rispetto alle altre soluzioni, a parità di capitale investito.

► Da notare però che l'attuale tasso annuale di riduzione della CO2 emessa per la produzione dell'energia elettrica (1,8%/anno) porta nei 15 anni a dei valori ben lontani da quelli utilizzati nel grafico sopra

Fonte: dati ISPRA e PSNMS



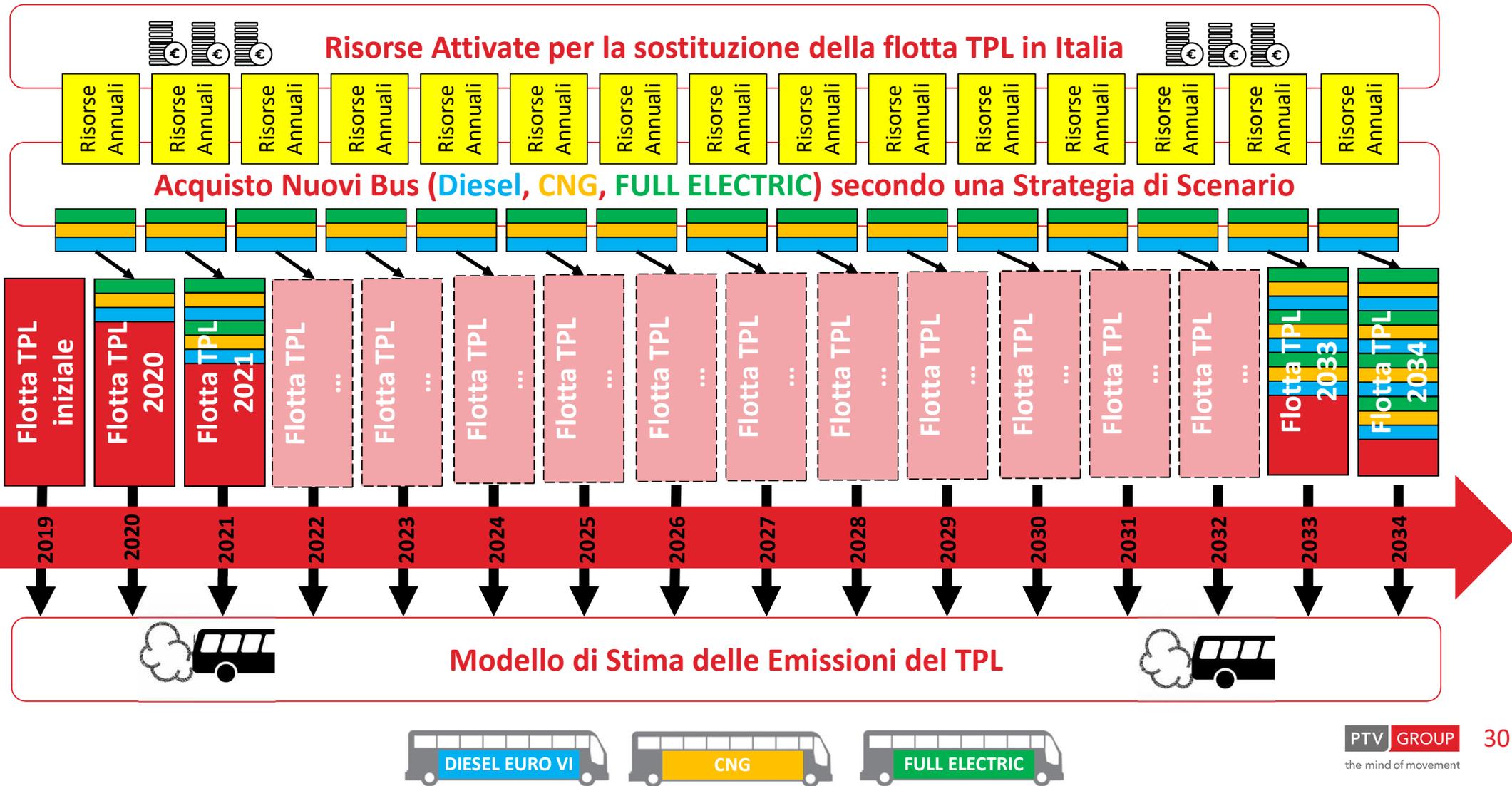
the mind of movement

Capitolo 4

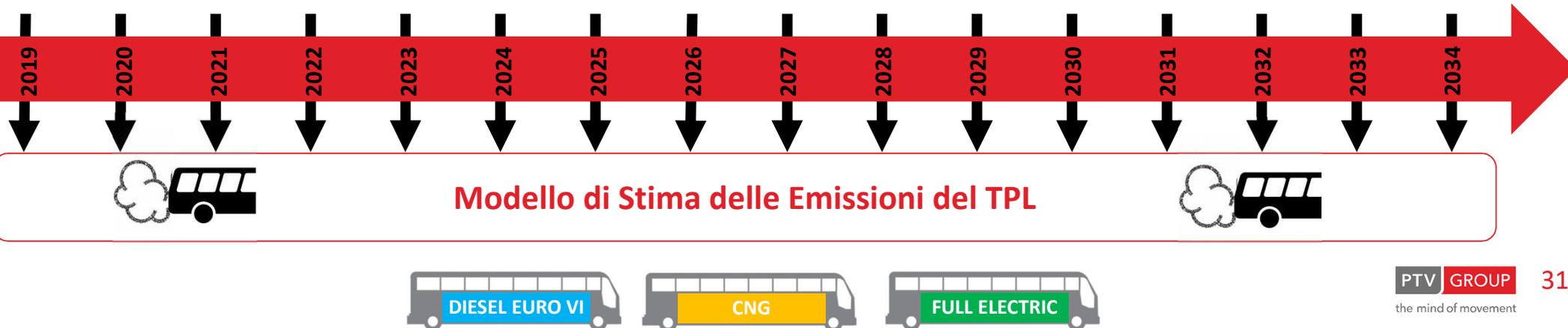
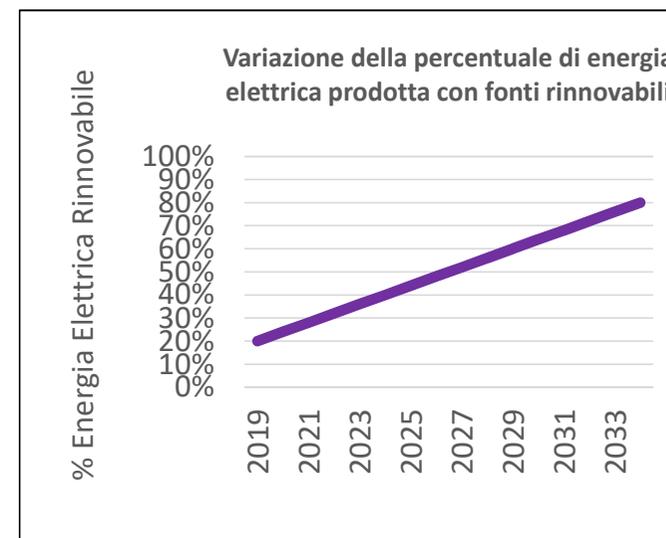
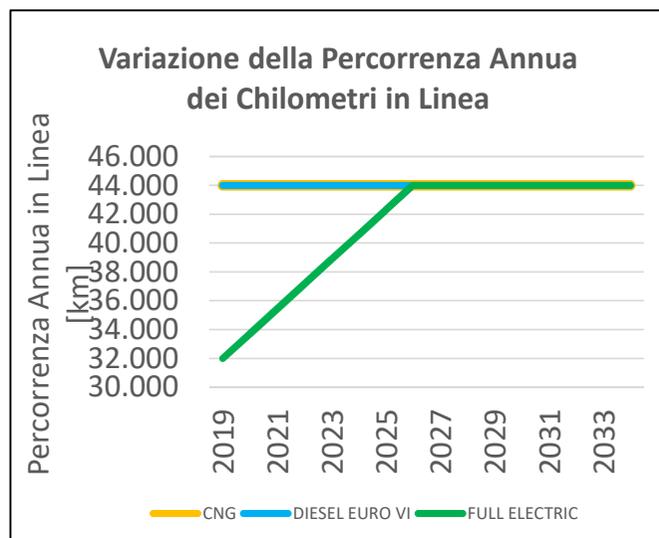
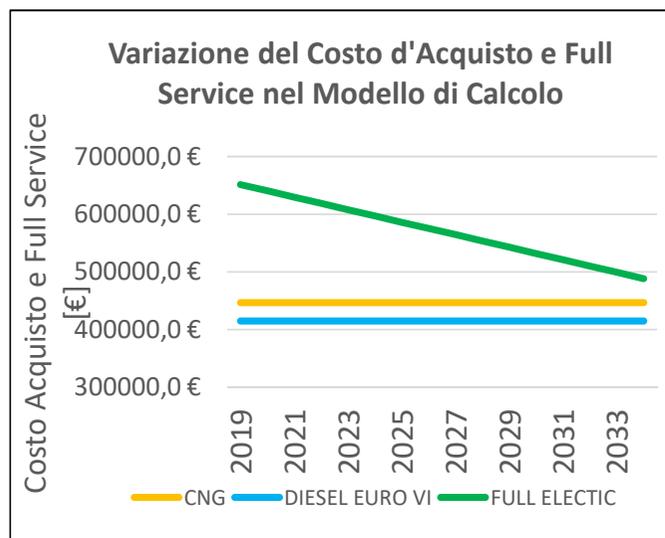
L'EFFETTO DEL RINNOVAMENTO DELLA FLOTTA TPL



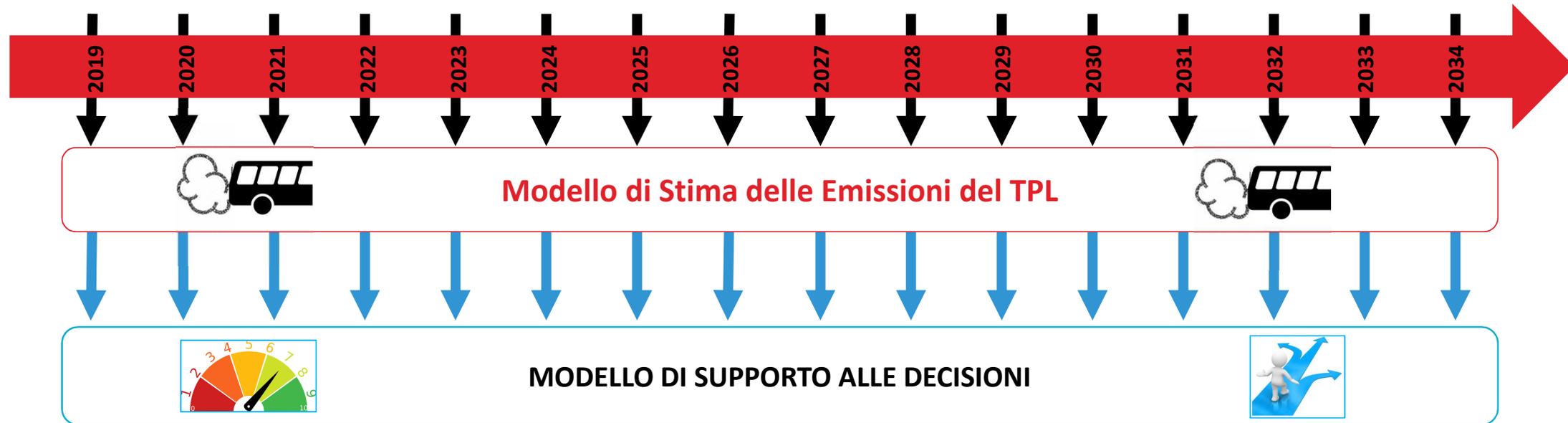
Investimento delle risorse per il rinnovamento della flotta TPL



Variazione di parametri tecnologici e di mercato



Modello di Supporto alle Decisioni



Utilizzando i risultati del modello di calcolo delle emissioni e i costi, saranno valutate diverse strategie di investimento alternative per il rinnovamento della flotta TPL nel contesto italiano.

I risultati di ciascuno scenario saranno confrontati con un'analisi multicriterio che include:

- Le risorse spese per il rinnovamento della flotta TPL. Tuttavia, nel presente studio, tutti gli scenari sono caratterizzati dal medesimo importo di investimento.
- Le emissioni di ogni singolo inquinante (PM10, NOx, CO2, NMVOC, CO)



Definizione degli Scenari Simulati con il Modello di Calcolo

Per ogni scenario (coerentemente con le direttive del PSNMS) si ipotizza un finanziamento pubblico di 2.73 miliardi di Euro per il rinnovamento della flotta TPL in 15 anni. Di seguito la distribuzione annua del finanziamento e la ripartizione ipotizzata tra urbana ed extraurbano.

Anno	Finanziamento Totale	Finanziamento Ambito Urbano	Finanziamento Ambito Extraurbano
2019	106.200.000 €	78.100.000 €	28.100.000 €
2020	131.200.000 €	90.600.000 €	40.600.000 €
2021	131.200.000 €	90.600.000 €	40.600.000 €
2022	262.441.333 €	181.220.667 €	81.220.667 €
2023	262.441.333 €	181.220.667 €	81.220.667 €
2024	131.200.000 €	90.600.000 €	40.600.000 €
2025	131.200.000 €	90.600.000 €	40.600.000 €
2026	131.200.000 €	90.600.000 €	40.600.000 €
2027	262.441.333 €	181.220.667 €	81.220.667 €
2028	262.441.333 €	181.220.667 €	81.220.667 €
2029	131.200.000 €	90.600.000 €	40.600.000 €
2030	131.200.000 €	90.600.000 €	40.600.000 €
2031	131.200.000 €	90.600.000 €	40.600.000 €
2032	262.441.333 €	181.220.667 €	81.220.667 €
2033	262.441.333 €	181.220.667 €	81.220.667 €
2034	- €	- €	- €
TOTALE	2.730.448.000 €	1.890.224.000 €	840.224.000 €

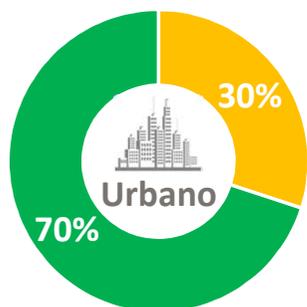
Nel presente studio (a differenza del PSNMS) si ipotizza un finanziamento dell'80% per tutti i nuovi veicoli TPL (Full Electric, CNG, Diesel Euro VI) al fine di confrontare scenari con pari risorse attivate.

Tutti gli scenari si basano dunque su 3.41 miliardi di Euro di risorse attivate.

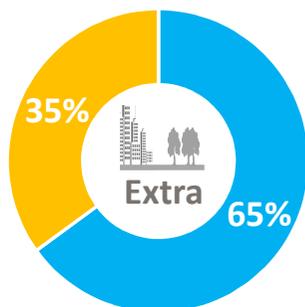
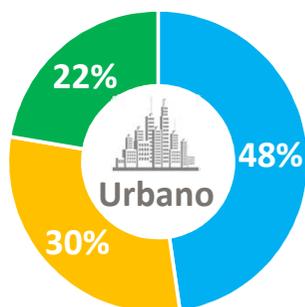
Definizione degli Scenari Simulati con il Modello di Calcolo

Per ogni scenario si ipotizza una strategia di investimento di 3.41 miliardi di Euro di risorse attivate (secondo il PSNMS) per il rinnovamento della flotta TPL in 15 anni. Il 69% delle risorse sono investite in campo urbano, il 31% in campo extra urbano. Tutti gli scenari rispettano i vincoli DAFI e Direttiva Veicoli Puliti

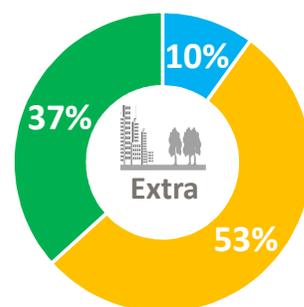
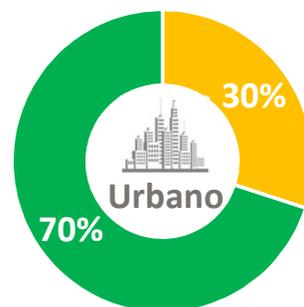
SCENARIO A
Strategia PNMS



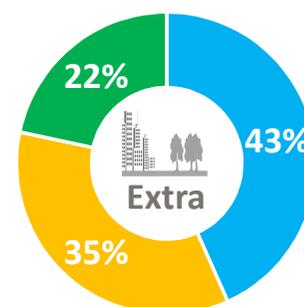
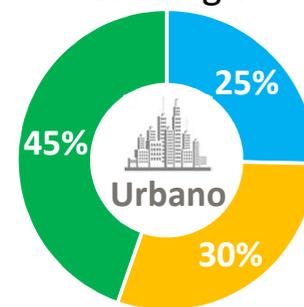
SCENARIO B
Strategia max rinnovo flotta



SCENARIO C
Strategia PNMS bis



SCENARIO D
Strategia Evoluzione
Tecnologica



Definizione degli Scenari Simulati con il Modello di Calcolo

Per ogni scenario si ipotizza una strategia di investimento di 3.41 miliardi di Euro di risorse attivate per il rinnovamento della flotta TPL in 15 anni. Il 69% delle risorse sono investite in campo urbano, il 31% in campo extra urbano.

SCENARIO A Strategia PNMS



Come da PSNMS, investimenti in bus elettrici e a metano in ambito urbano. In extraurbano investimenti principalmente sul metano (solo dove non è disponibile l'infrastruttura di approvvigionamento si investe sul diesel).

SCENARIO B Strategia max rinnovo flotta



In ambito urbano si punta maggiormente sul Diesel, ma inserendo i minimi di elettrico e metano stabiliti dal quadro normativo (Direttive DAFI e Veicoli Puliti). In ambito extraurbano si punta maggiormente su Diesel, mantenendo una percentuale minore sul metano.

SCENARIO C Strategia PNMS bis

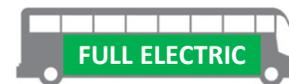


Investimenti in ambito urbano analoghi allo scenario A. Nell'extraurbano si ipotizza un inserimento graduale dell'elettrico.

SCENARIO D Strategia Evoluzione Tecnologica



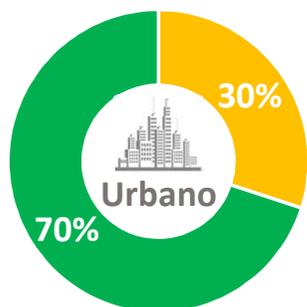
Nel primo quinquennio si adotta una strategia analoga a quello dello Scenario B. Nei quinquenni successivi c'è un inserimento graduale di bus elettrici e



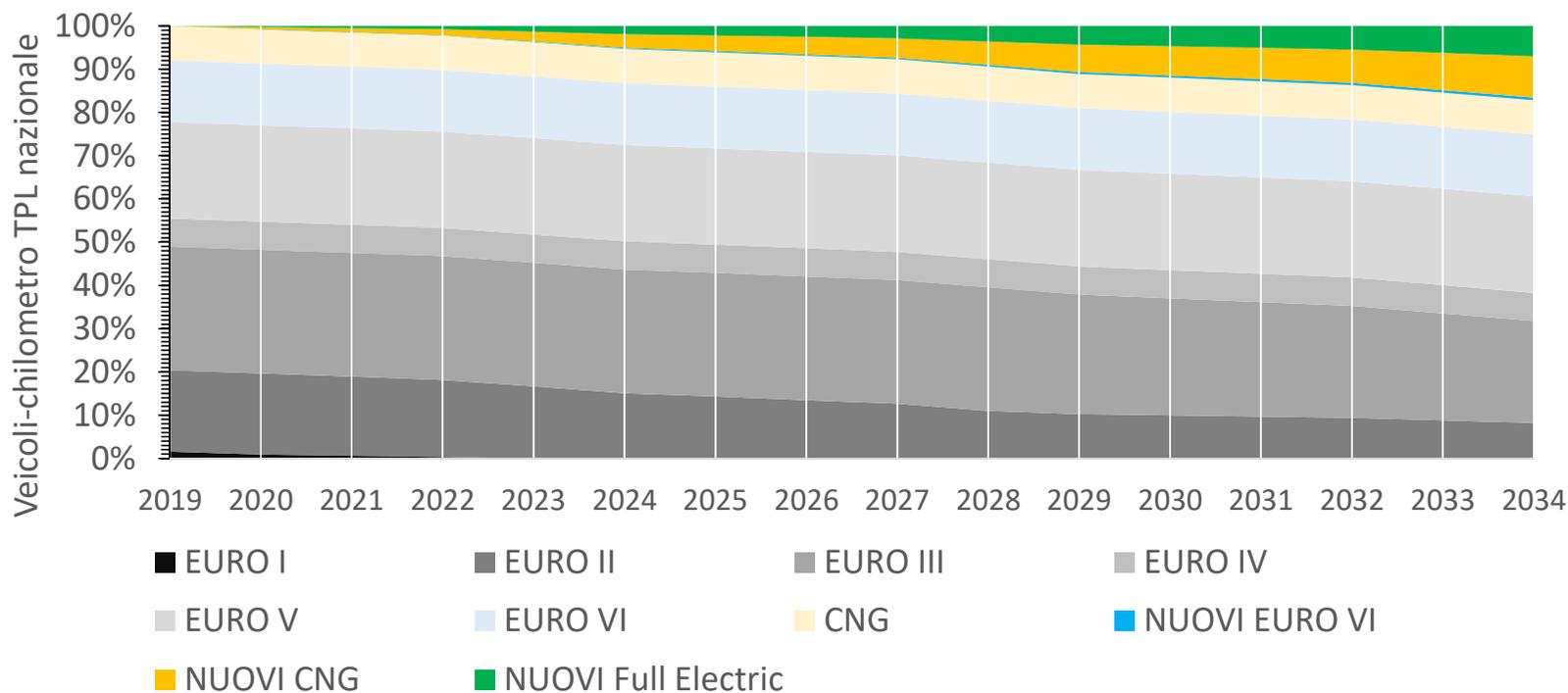
Definizione degli Scenari Simulati con il Modello di Calcolo

In questo scenario le risorse disponibili vengono investite in Bus Full Electric in campo urbano e in Bus CNG in campo extraurbano.

SCENARIO A Strategia PNMS



Strategia di Rinnovamento della Flotta TPL nello Scenario A

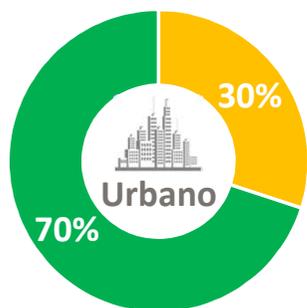


Questa strategia, dato il più elevato costo dei bus Full Electric, comporta un minore tasso di rinnovamento della flotta TPL.

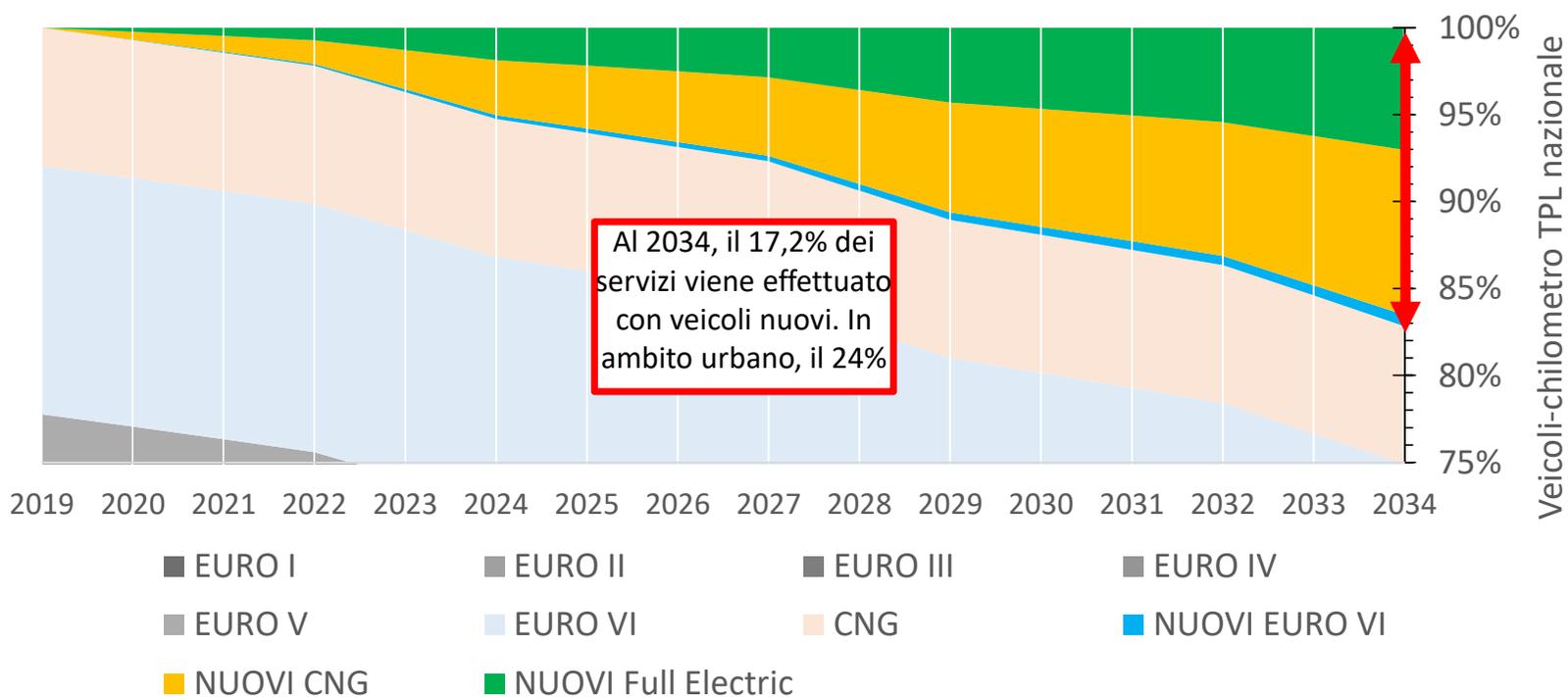
Definizione degli Scenari Simulati con il Modello di Calcolo

In questo scenario le risorse disponibili vengono investite in Bus Full Electric in campo urbano e in Bus CNG in campo extraurbano.

SCENARIO A Strategia PNMS



Strategia di Rinnovamento della Flotta TPL nello Scenario A

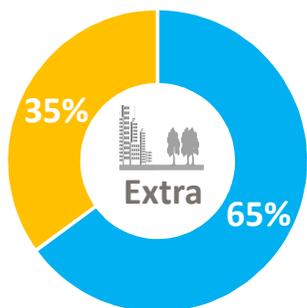
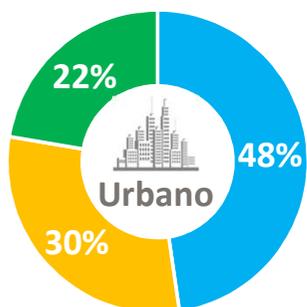


Questa strategia, dato il più elevato costo dei bus Full Electric, comporta un minore tasso di rinnovamento della flotta TPL.

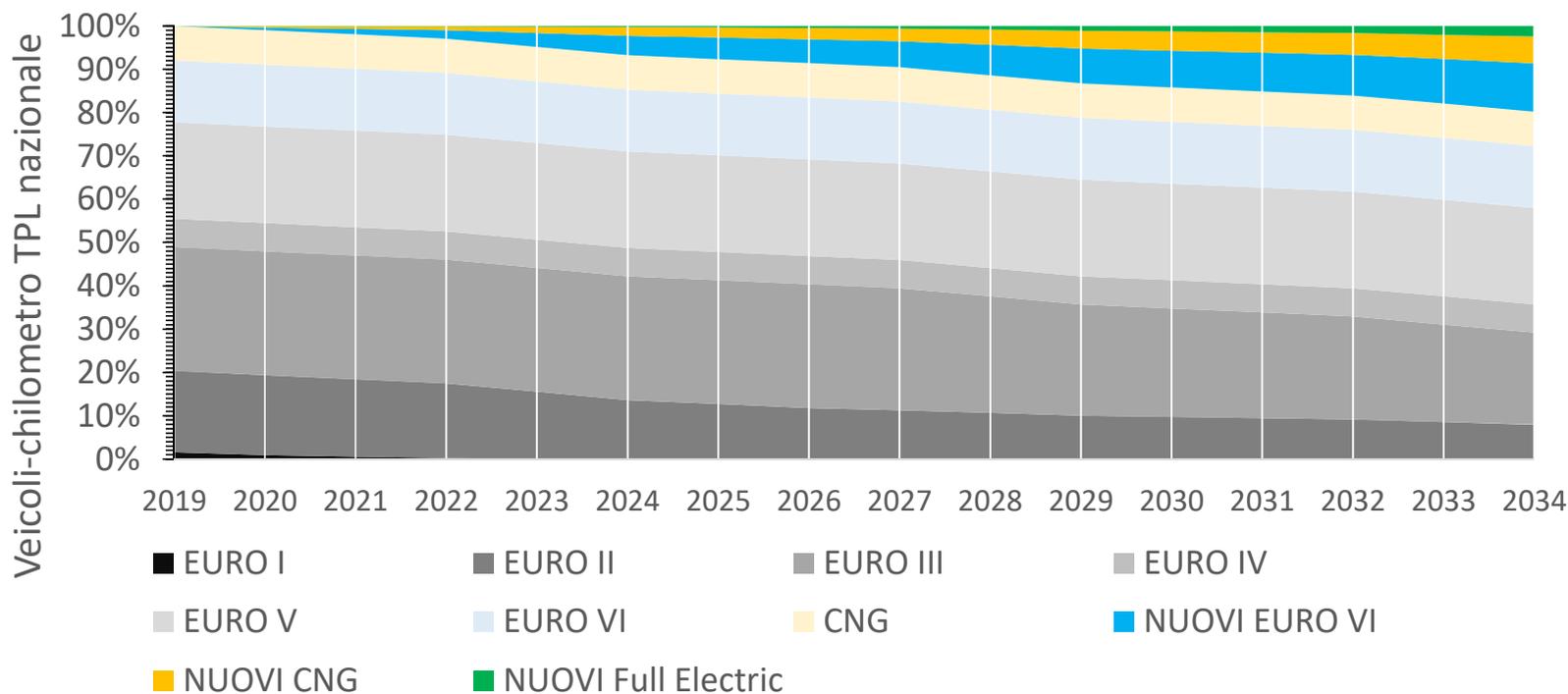
Definizione degli Scenari Simulati con il Modello di Calcolo

In questo scenario le risorse disponibili vengono investite principalmente in Bus Diesel Euro 6 in campo urbano ed extraurbano

SCENARIO B Strategia Diesel Euro VI



Strategia di Rinnovamento della Flotta TPL nello Scenario B

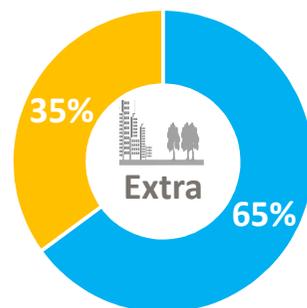
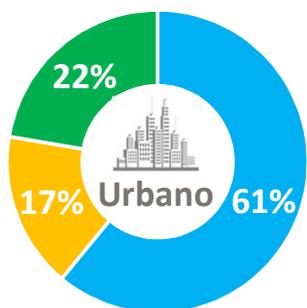


Questa strategia, dato il meno elevato costo dei bus Diesel, porta ad un maggiore tasso di rinnovamento della flotta TPL consentendo una più rapida sostituzione di veicoli obsoleti.

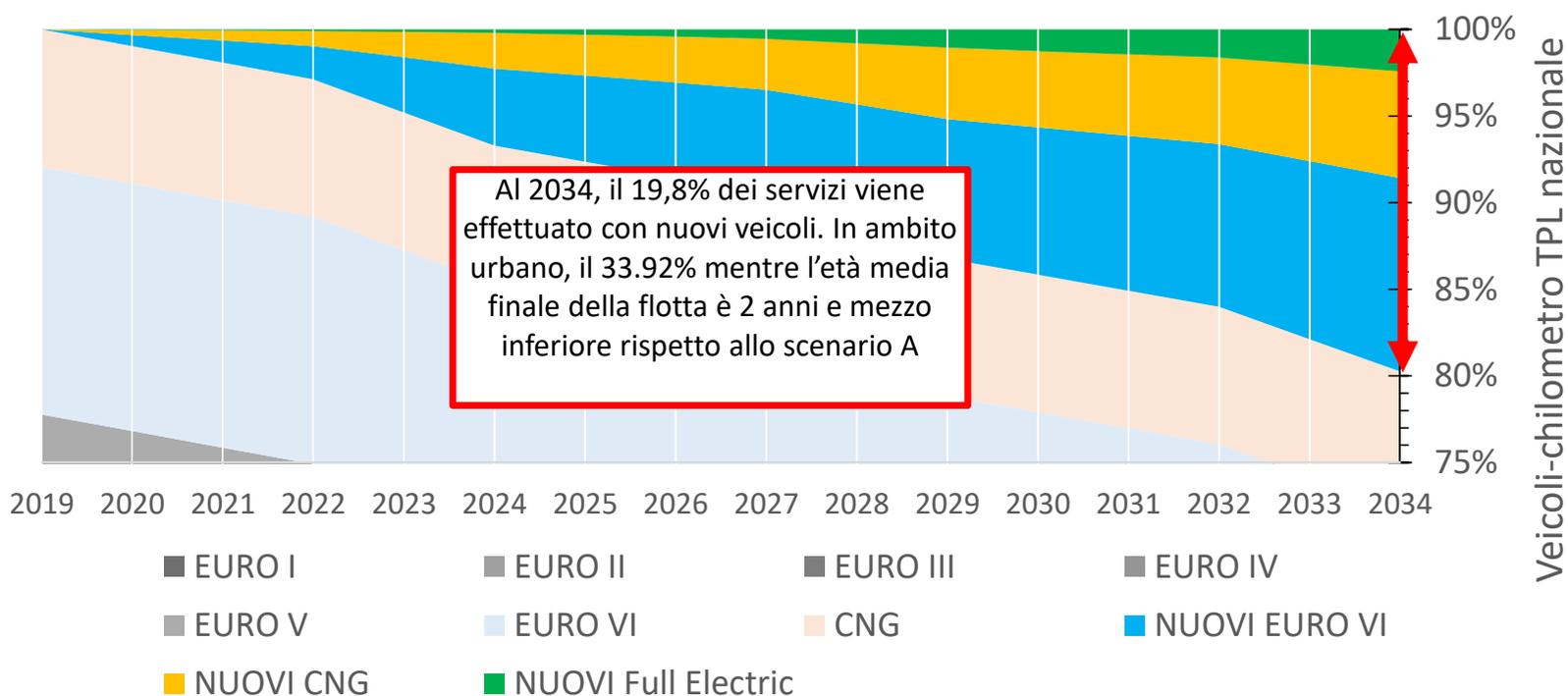
Definizione degli Scenari Simulati con il Modello di Calcolo

In questo scenario le risorse disponibili vengono investite principalmente in Bus Diesel Euro 6 in campo urbano ed extraurbano.

SCENARIO B Strategia Diesel Euro VI



Strategia di Rinnovamento della Flotta TPL nello Scenario B

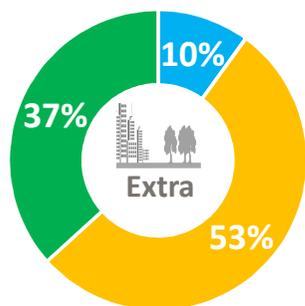
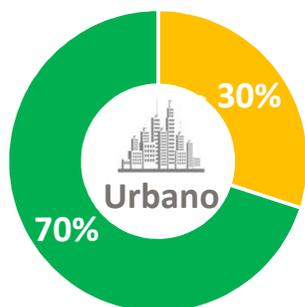


Questa strategia, dato il meno elevato costo dei bus Diesel, porta ad un maggiore tasso di rinnovamento della flotta TPL consentendo una più rapida sostituzione di veicoli obsoleti.

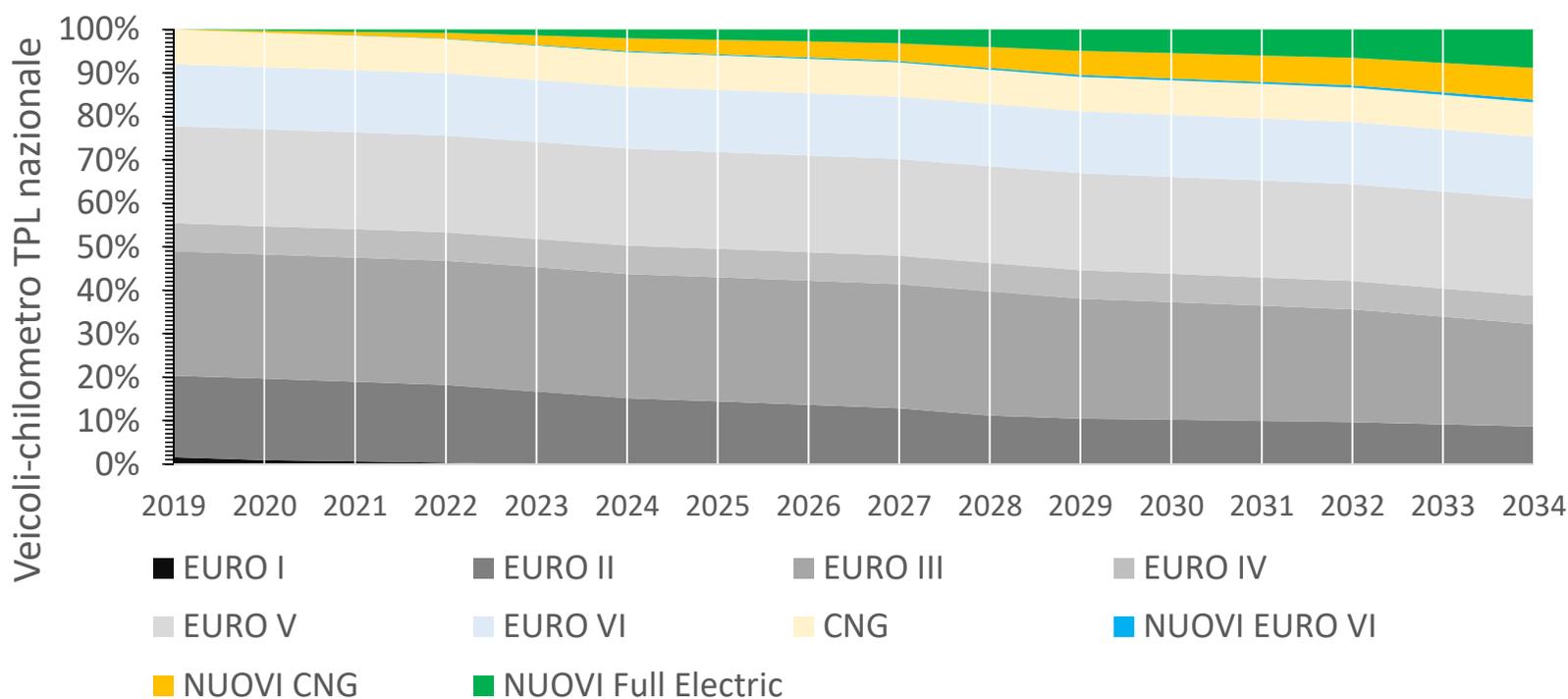
Definizione degli Scenari Simulati con il Modello di Calcolo

In questo scenario le risorse disponibili vengono investite in Bus Full Electric in campo urbano. In campo extraurbano su Bus CNG e Bus Elettrici.

SCENARIO C Strategia PNMS bis



Strategia di Rinnovamento della Flotta TPL nello Scenario C

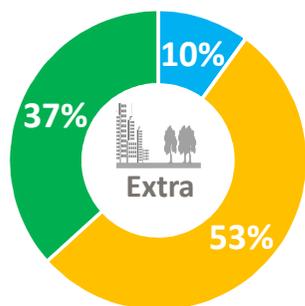
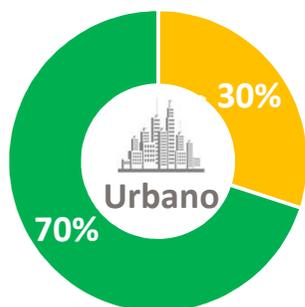


Questa strategia, dato il più elevato costo dei bus Full Electric, comporta il minore tasso di rinnovamento della flotta TPL fra tutti e quattro gli scenari.

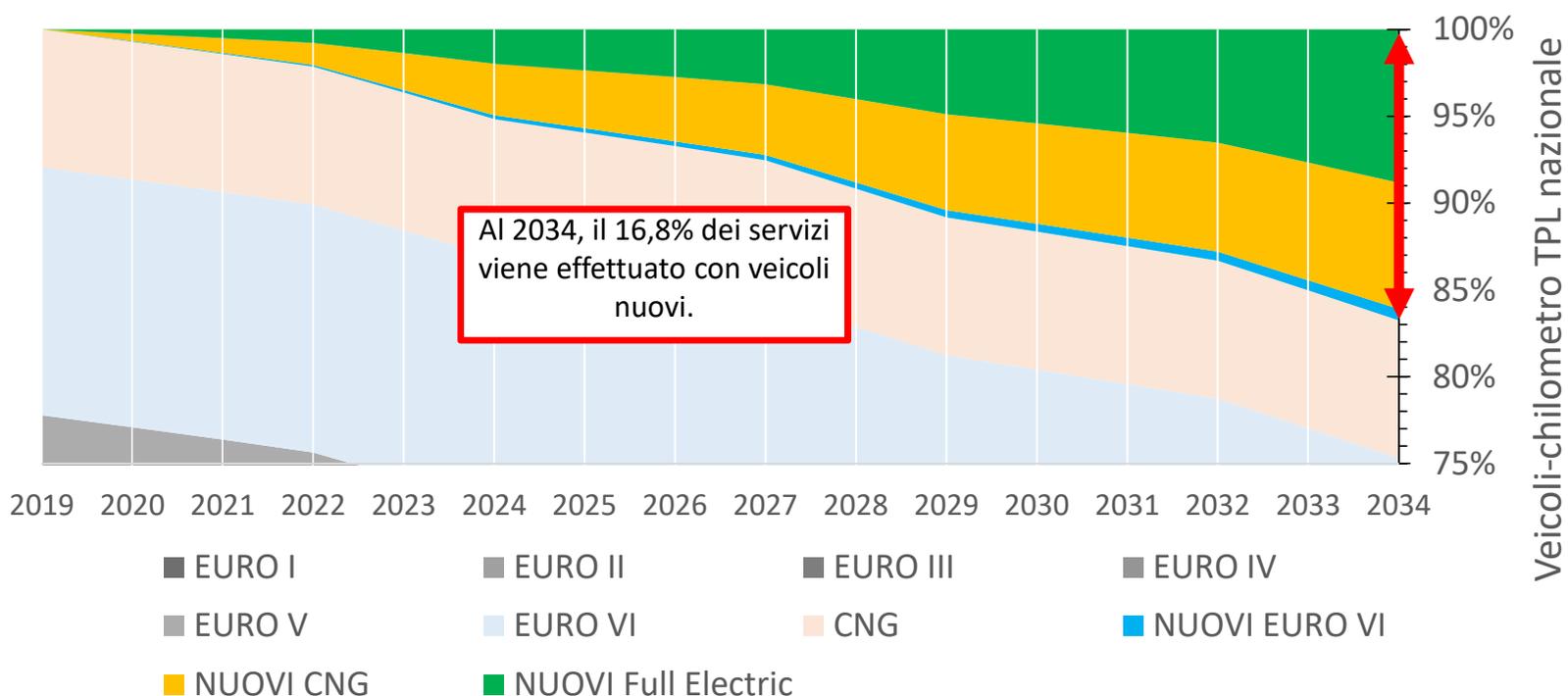
Definizione degli Scenari Simulati con il Modello di Calcolo

In questo scenario le risorse disponibili vengono investite in Bus Full Electric in campo urbano. In campo extraurbano su Bus CNG e Bus Elettrici.

SCENARIO C Strategia PNMS bis



Strategia di Rinnovamento della Flotta TPL nello Scenario C

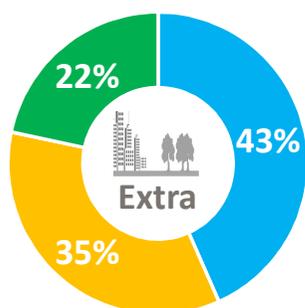
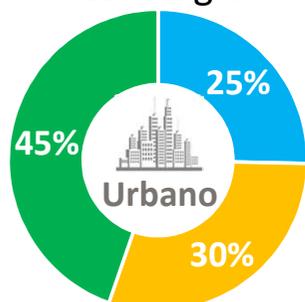


Questa strategia, dato il più elevato costo dei bus Full Electric, comporta il minore tasso di rinnovamento della flotta TPL fra tutti e quattro gli scenari

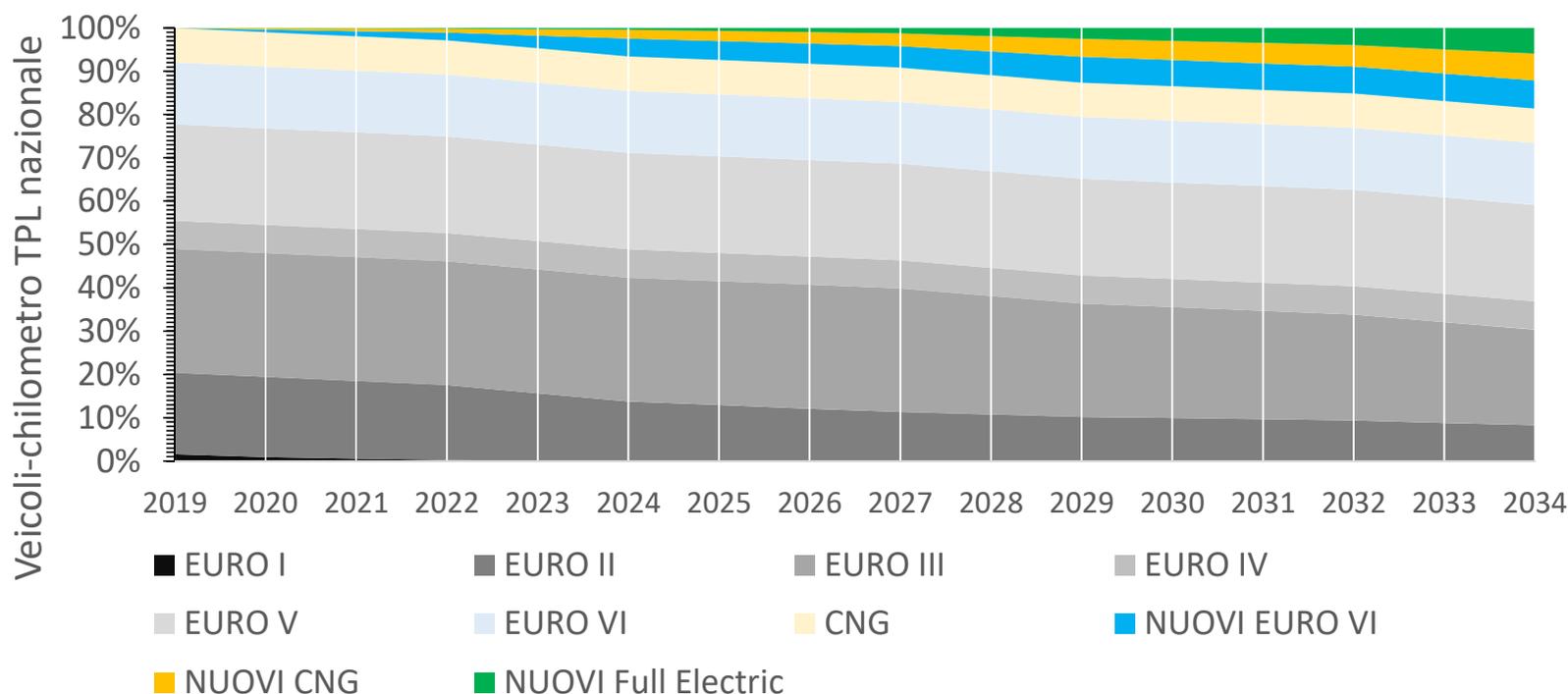
Definizione degli Scenari Simulati con il Modello di Calcolo

In questo scenario le risorse disponibili vengono investite prima su Bus Diesel e successivamente sui Bus Full Electric e CNG in modo progressivo.

SCENARIO D Strategia Evoluzione Tecnologica



Strategia di Rinnovamento della Flotta TPL nello Scenario D

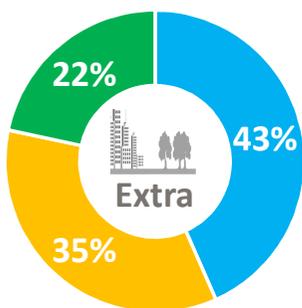
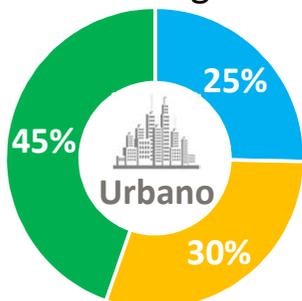


Questa strategia, incrementando progressivamente l'investimento in bus elettrici in coerenza con l'evoluzione tecnologica e produttiva ne incrementa i benefici

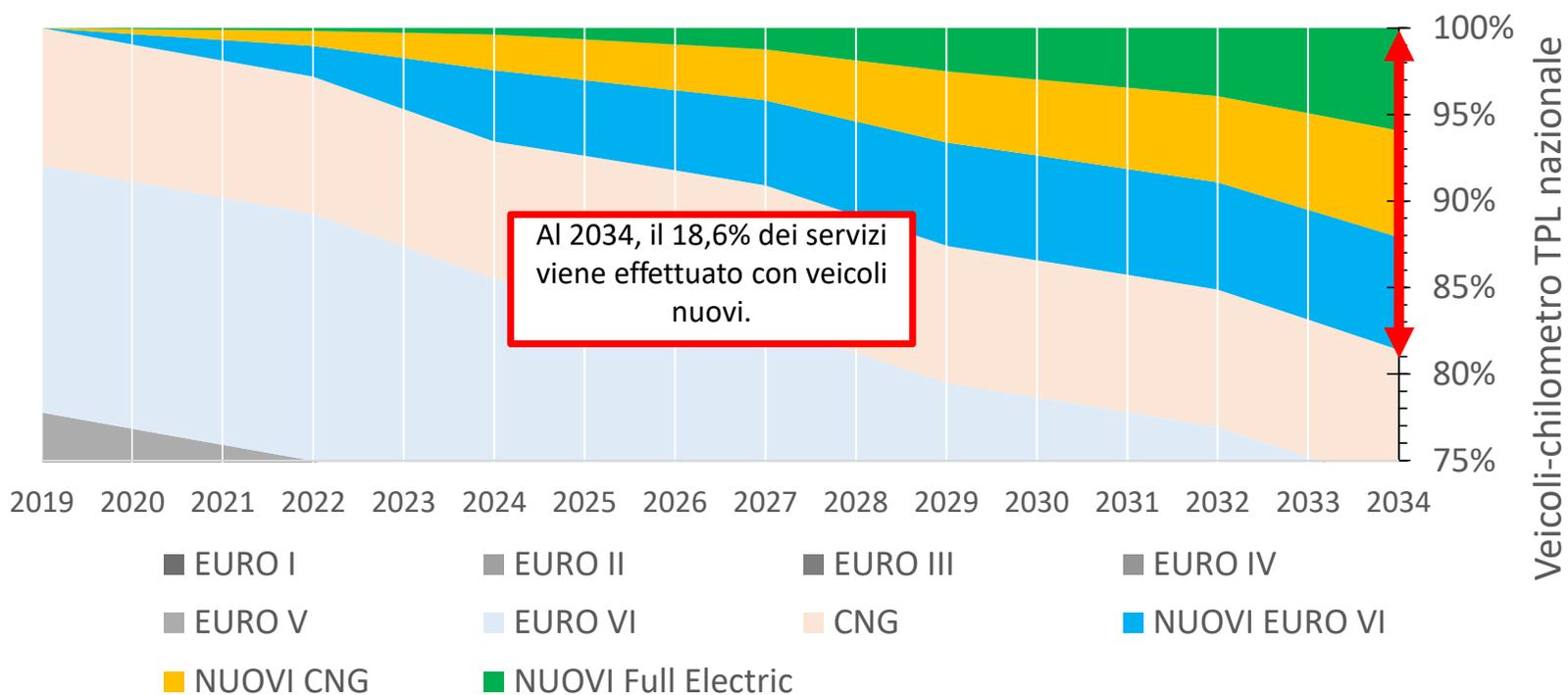
Definizione degli Scenari Simulati con il Modello di Calcolo

In questo scenario le risorse disponibili vengono investite prima su Bus Diesel e successivamente vengono sui Bus Full Electric e CNG in modo progressivo.

SCENARIO D Strategia Evoluzione Tecnologica



Strategia di Rinnovamento della Flotta TPL nello Scenario D

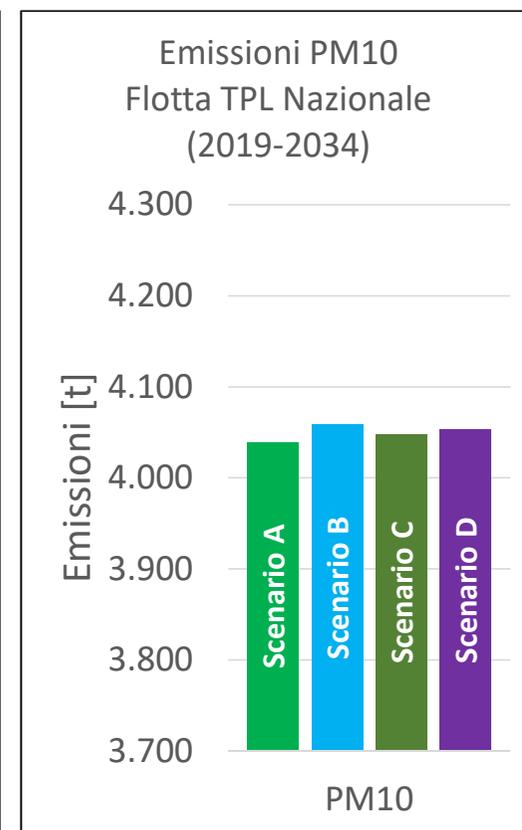
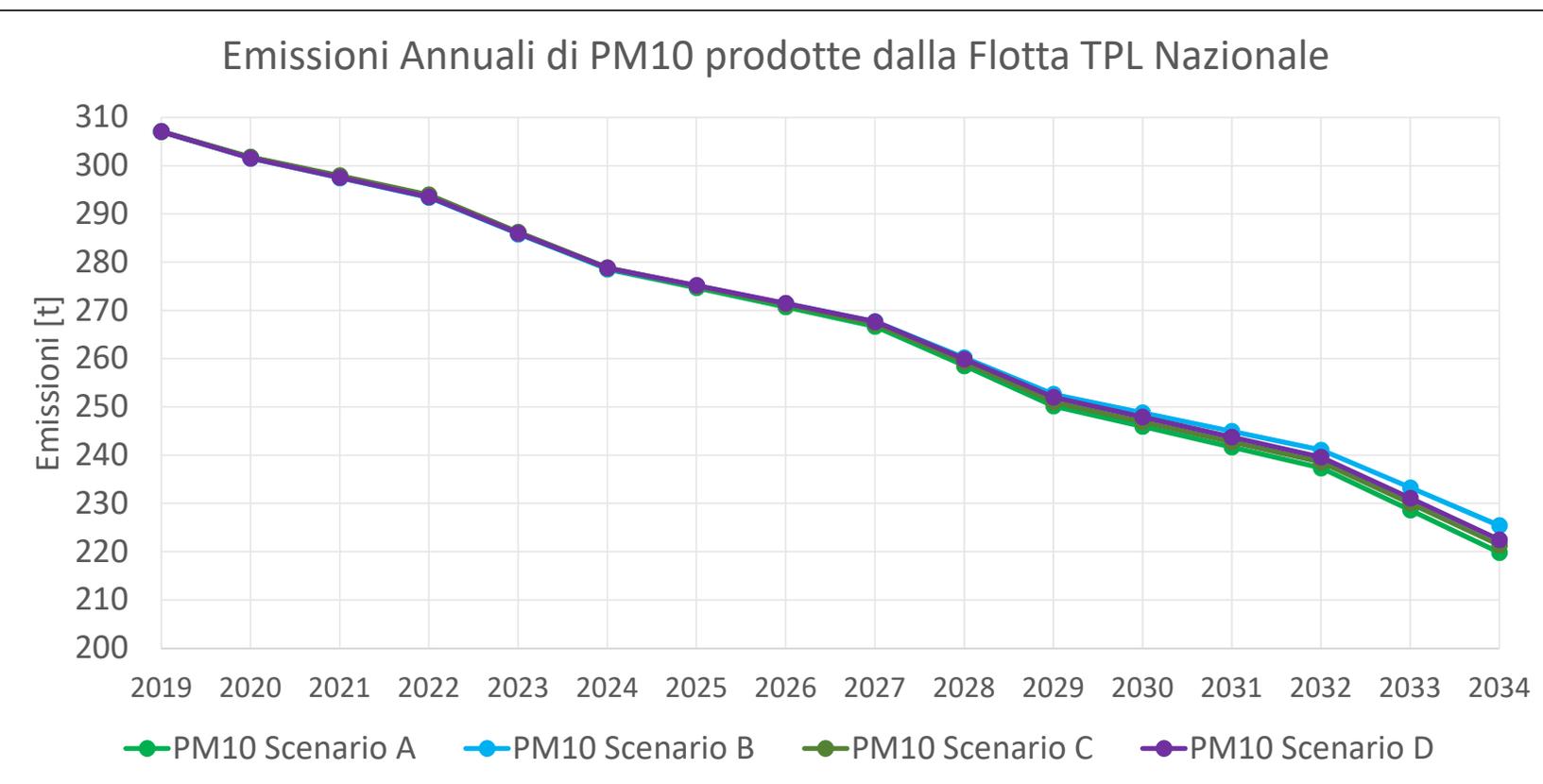


Questa strategia, incrementando progressivamente l'investimento in bus elettrici in coerenza con l'evoluzione tecnologica e produttiva ne incrementa i benefici

Risultati di Emissioni Prodotti dal Modello di Calcolo (PM10)

Nei grafici seguenti si mostra l'effetto degli scenari di rinnovamento del parco TPL sul PM10 prodotto.

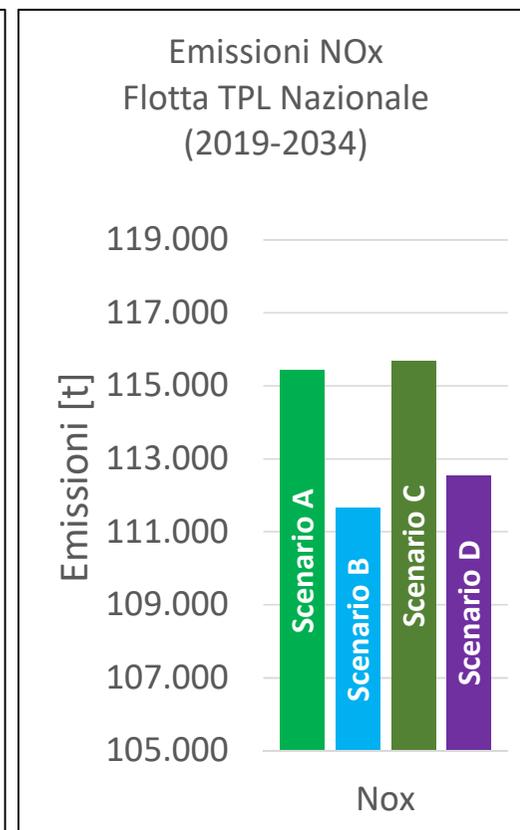
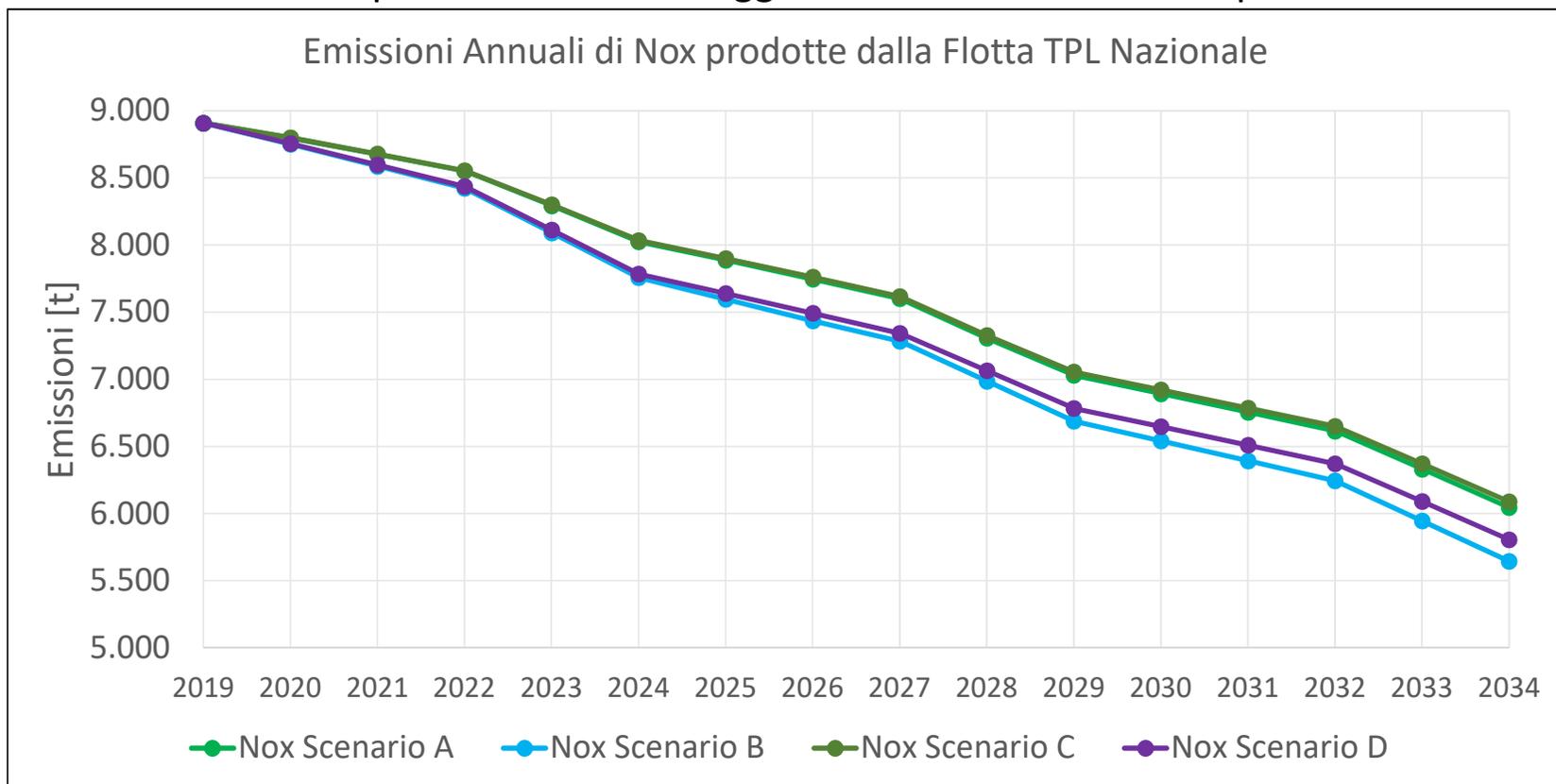
Gli scenari A, B, D producono una riduzione complessiva del PM10 comparabile.



Risultati di Emissioni Prodotti dal Modello di Calcolo (NOx)

Nei grafici seguenti si mostra l'effetto degli scenari di rinnovamento del parco TPL sul NOx prodotto.

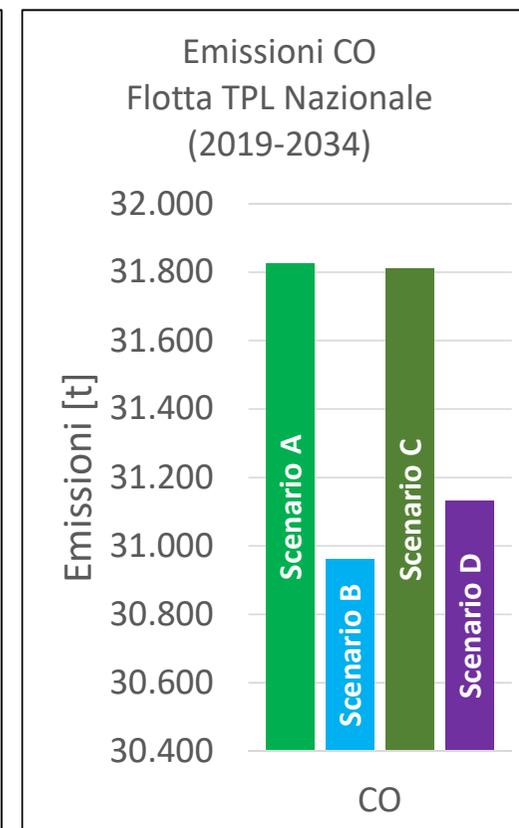
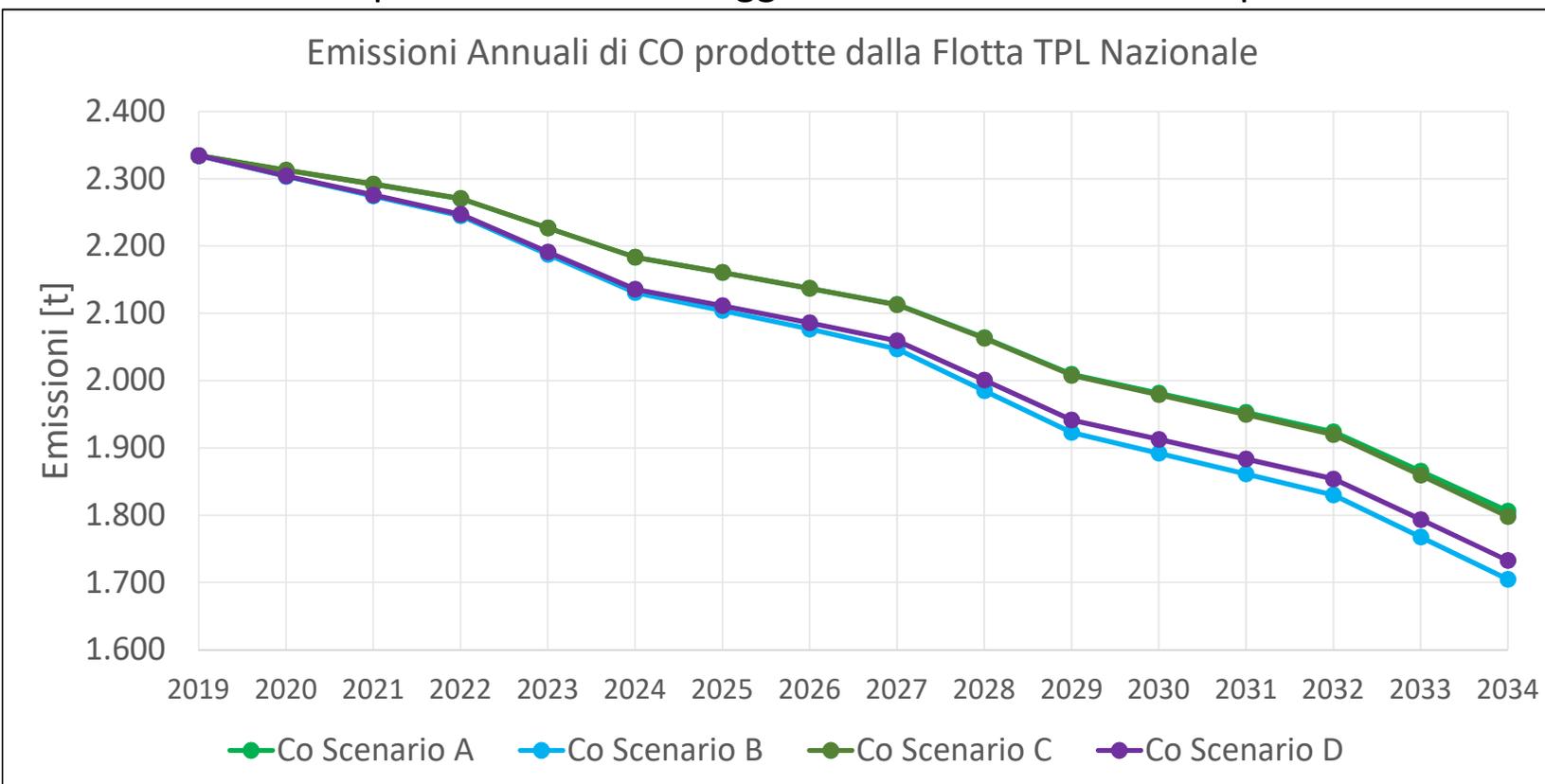
Lo Scenario B è quello che riduce maggiormente l'emissione complessiva di NOx.



Risultati di Emissioni Prodotti dal Modello di Calcolo (CO)

Nei grafici seguenti si mostra l'effetto degli scenari di rinnovamento del parco TPL sul CO prodotto.

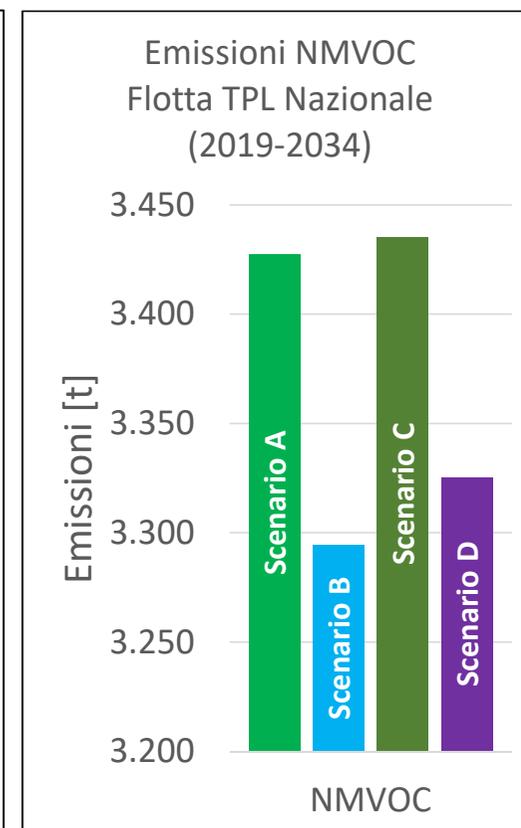
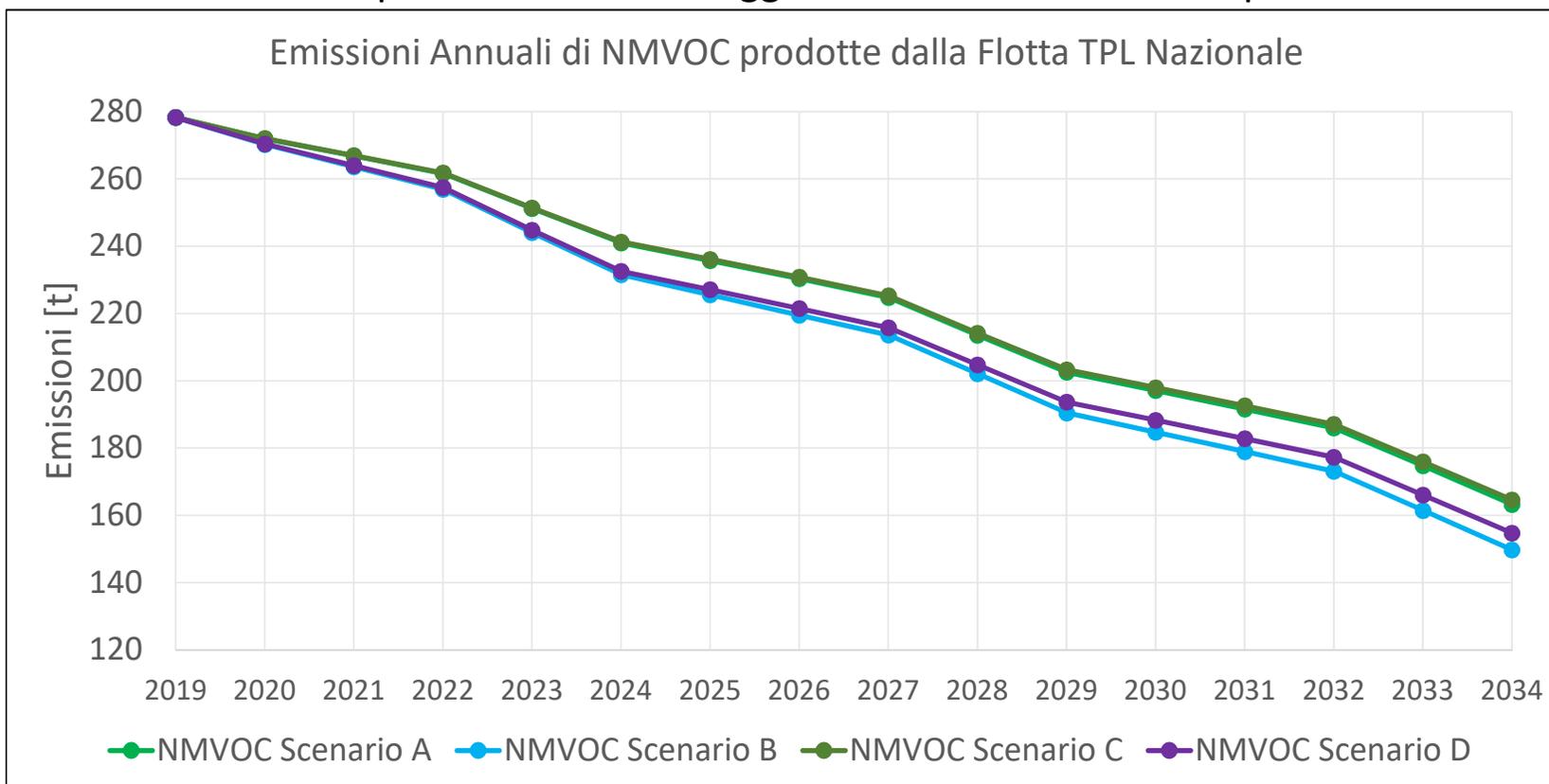
Lo Scenario B è quello che riduce maggiormente l'emissione complessiva di CO.



Risultati di Emissioni Prodotti dal Modello di Calcolo (NMVOC)

Nei grafici seguenti si mostra l'effetto degli scenari di rinnovamento del parco TPL sul NMVOC prodotto.

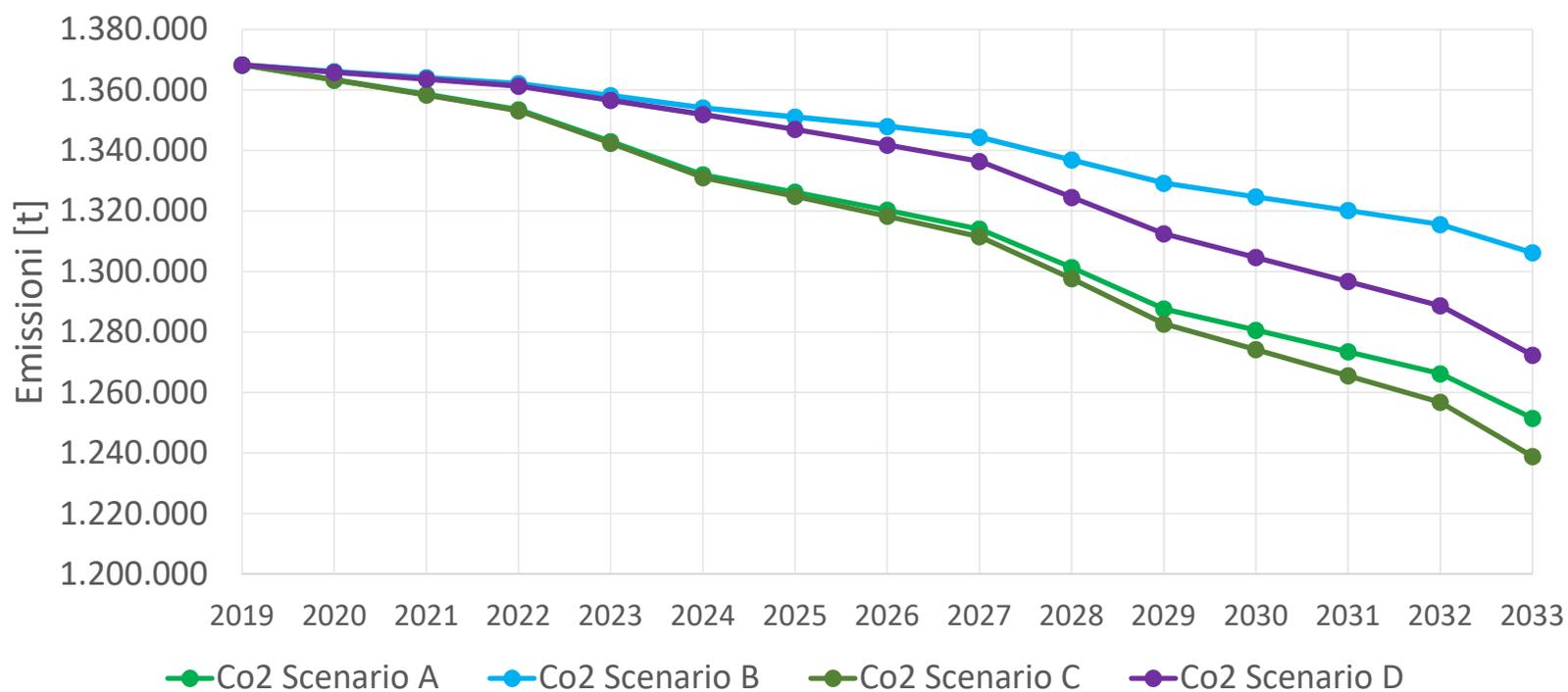
Lo Scenario B è quello che riduce maggiormente l'emissione complessiva di NMVOC.



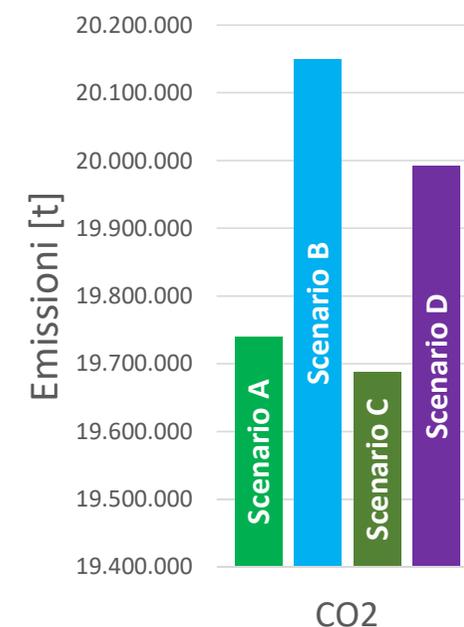
Risultati di Emissioni Prodotti dal Modello di Calcolo (CO2)

Nei grafici seguenti si mostra l'effetto degli scenari di rinnovamento del parco TPL sulla CO2 prodotta. Per questo indicatore si considera anche la CO2 emessa per la produzione di energia ipotizzando una percentuale da fonti rinnovabili variabile dal 20% all'80%. Lo Scenario C è quello che riduce maggiormente l'emissione complessiva di CO2.

Emissioni Annuali di CO2 prodotte dalla Flotta TPL Nazionale



Emissioni CO2 Flotta TPL Nazionale (2019-2034)



Confronto dei Risultati

Dato che per tutti gli scenari l'investimento complessivo è analogo, si valuterà l'efficacia dello scenario in funzione dei seguenti obiettivi:

- Riduzione delle emissioni di inquinanti (PM10, Nox, CO, NMVOC)
- Riduzione delle emissioni di gas serra (CO2)
- Percentuale di sostituzione della flotta TPL

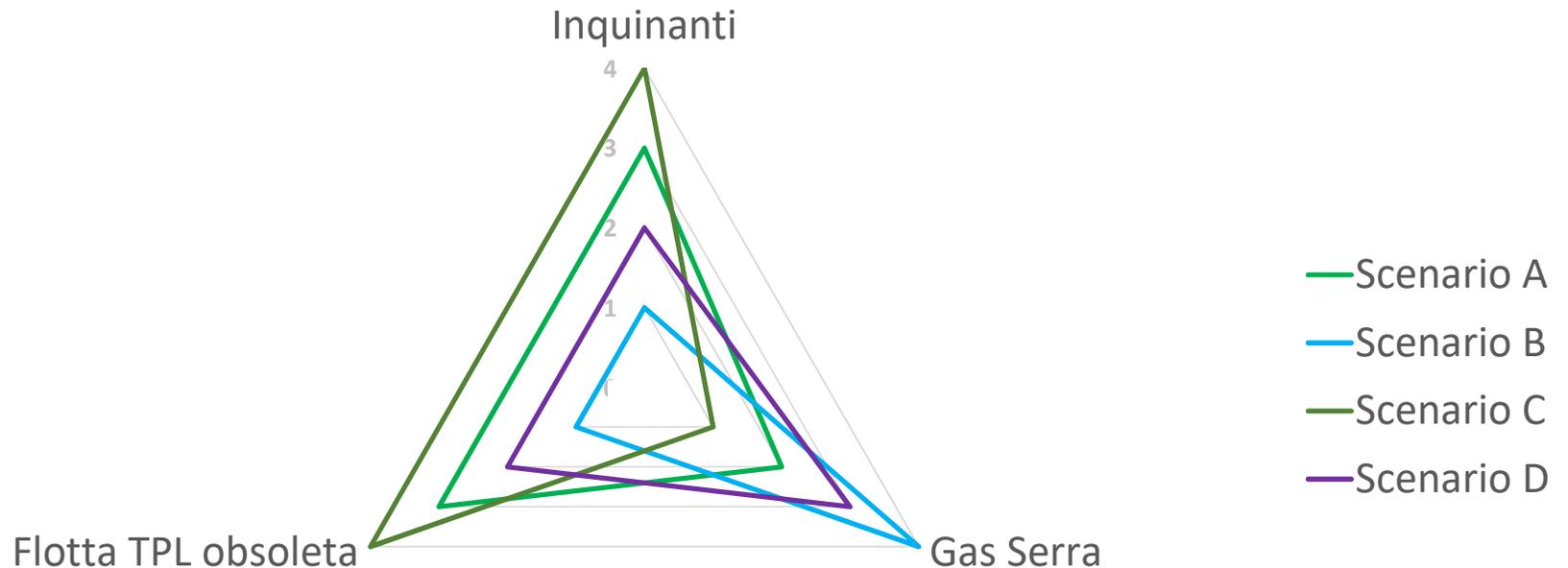
Scenario	Inquinanti	Gas Serra	Ricambio flotta
Scenario A	3°	2°	3°
Scenario B	1°		1°
Scenario C		1°	
Scenario D	2°	3°	2°

Lo scenario B risulta migliore in due casi su tre

Confronto dei Risultati

Classifica degli scenari in base agli indicatori (2019-2034)

(il perimetro "1" identifica gli scenari con indicatore migliore, il perimetro "4" con indicatore peggiore)



In conclusione, lo Scenario B è quello che minimizza le emissioni nocive (PM10 , NOx, CO, NMVOC) perché è quello con un maggiore tasso di rinnovamento della flotta e che quindi riesce a sostituire un più alto numero di veicoli diesel obsoleti.

Lo scenario C è quello che minimizza le emissioni di CO2 dato che è quello che punta maggiormente sulla mobilità elettrica. Tuttavia, considerando la CO2 emessa nella produzione dell'energia, la differenza rispetto agli scenari B e D non è molto marcata.

Lo Scenario D è un buon compromesso. Oltre ad avere un tasso di rinnovamento alto, garantisce anche un sensibile abbattimento della CO2.

A prescindere dalla strategia di investimento, le risorse risultano comunque insufficienti non solo per abbattere l'età media del parco, ma anche per mantenere questa costante.

L'ipotesi di concentrazione delle risorse – Bozza DL ambiente

La bozza di Decreto Legge cd. Ambiente circolata in questi giorni conterrebbe un'importante previsione di rimodulazione delle risorse previste dal PSNMS, mantenendone intatta l'entità ma concentrando in soli 5 anni il periodo di spesa,

Dai risultati di un'ulteriore simulazione effettuata prendendo come riferimento lo scenario B ma concentrando gli investimenti nei 5 anni iniziali, come previsto dalla suddetta bozza di DL, emerge come una sostituzione rapida operata nel primo periodo massimizzi ulteriormente i benefici ambientali, in quanto **lo svecchiamento più rapido del parco permette di togliere dalla circolazione prima veicoli obsoleti, rispetto ad un distribuzione degli investimenti in tutti i 15 anni, riducendo dunque le percorrenze di questi nell'arco del periodo complessivo considerato.**

Inoltre, nell'arco dei 5 anni, le risorse sarebbero almeno sufficienti per mantenere invariata l'età media del parco.

Il numero di veicoli sostituiti, al netto della differenza conseguente alla variabilità del costo e delle prestazioni del veicolo elettrico nel tempo, è il medesimo in entrambe le ipotesi, ma **la dinamica di sostituzione prevista dalla concentrazione delle risorse in 5 anni permette, come detto, di avere risultati migliori.**

La minor evoluzione complessiva della tecnologia legata all'autobus elettrico, causata da una inferiore evoluzione della stessa nel periodo (più breve) di investimento, nonché il minor tempo necessario alla diffusione delle infrastrutture, suggeriscono inoltre, in un'ipotesi reale di concentrazione delle risorse in 5 anni, di optare per strategie di rinnovo che tengano conto anche di tecnologie tradizionali.



the mind of movement

Capitolo 5

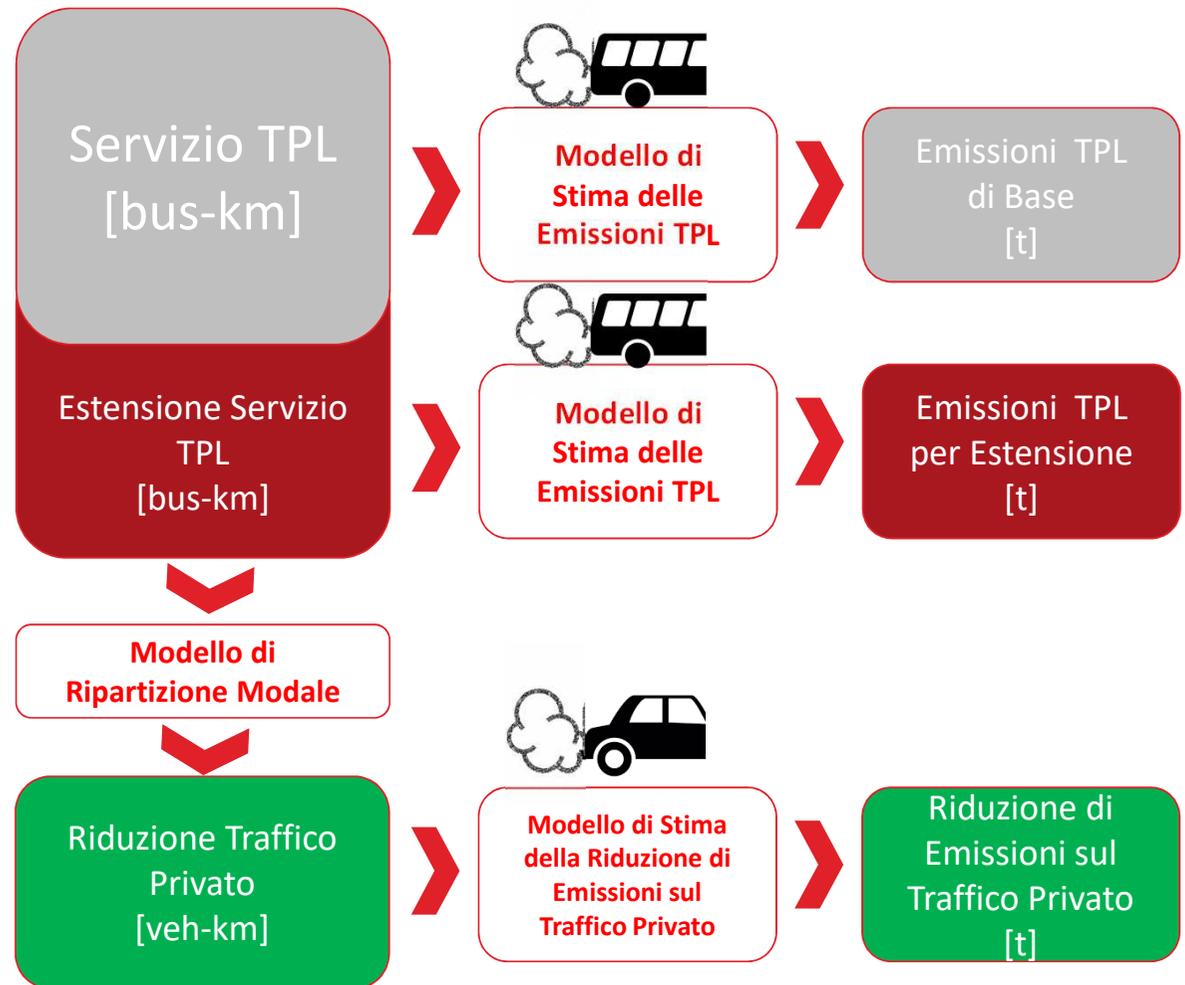
LE POTENZIALITÀ DEL TPL PER LO SHIFT MODALE



Le potenzialità del TPL per lo shift modale e la riduzione della CO2

Un sistema di trasporto pubblico con caratteristiche adeguate di frequenza, capillarità, connessione alle altre modalità e confort del viaggio può dare un contributo determinante all'abbattimento delle emissioni inquinanti attraendo passeggeri dalla mobilità privata (autovetture e moto).

In questo capitolo ci si focalizza sui possibili benefici in termini di riduzione della CO2 connessi ad un incremento dell'offerta di TPL.



Metodologia di analisi

Sono stati messi a confronto i Veicoli-km e il numero di passeggeri trasportati in un anno. Al fine di annullare i fattori di scala entrambe le grandezze vengono “normalizzate” rispetto alla popolazione.

Con il medesimo approccio è stato costruito lo stesso diagramma distinguendo tra:

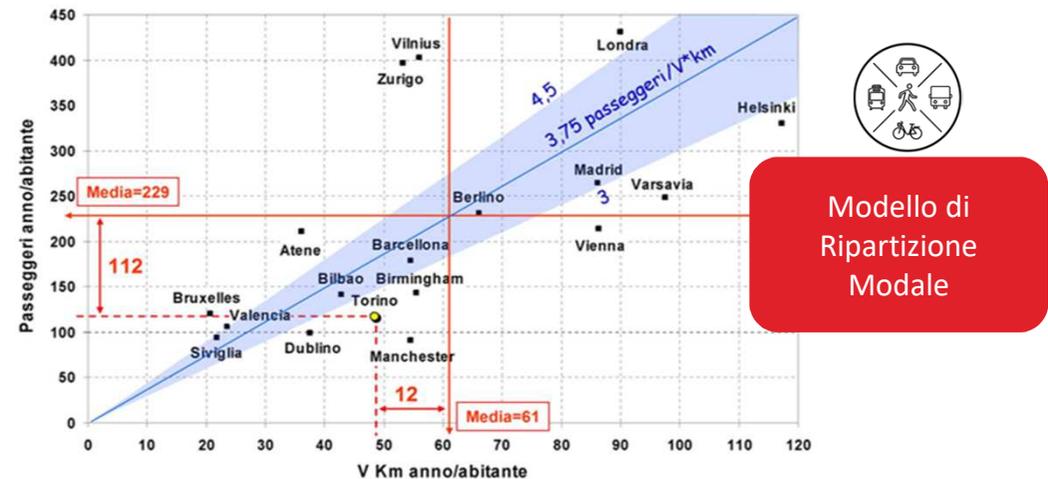
- Servizi TPL urbani
- Servizi TPL extraurbani
- Servizi TPL misti

L'obiettivo di questa analisi è quello di individuare delle rette di regressione che inquadrano la relazione tra offerta di trasporto (veicoli km offerti all'anno) e domanda di trasporto (passeggeri all'anno). Una volta calibrate queste funzioni, per i diversi contesti, sarà possibile stimare allo stato di progetto (ovvero con un ipotetico aumento dei veicoli-km) la quota di utenti che dovrebbe essere attratta dal nuovo servizio e quindi (con opportune considerazioni) la quota di utenti che viene sottratta dal trasporto privato.



Questo modello consente di capire come varia la domanda di mobilità e, quindi, al cambiare dei fattori e dell'offerta di TPL (facendo variare l'aliquota relativa ai mezzi ecologici) come varia lo split modale dal trasporto privato a quello pubblico.

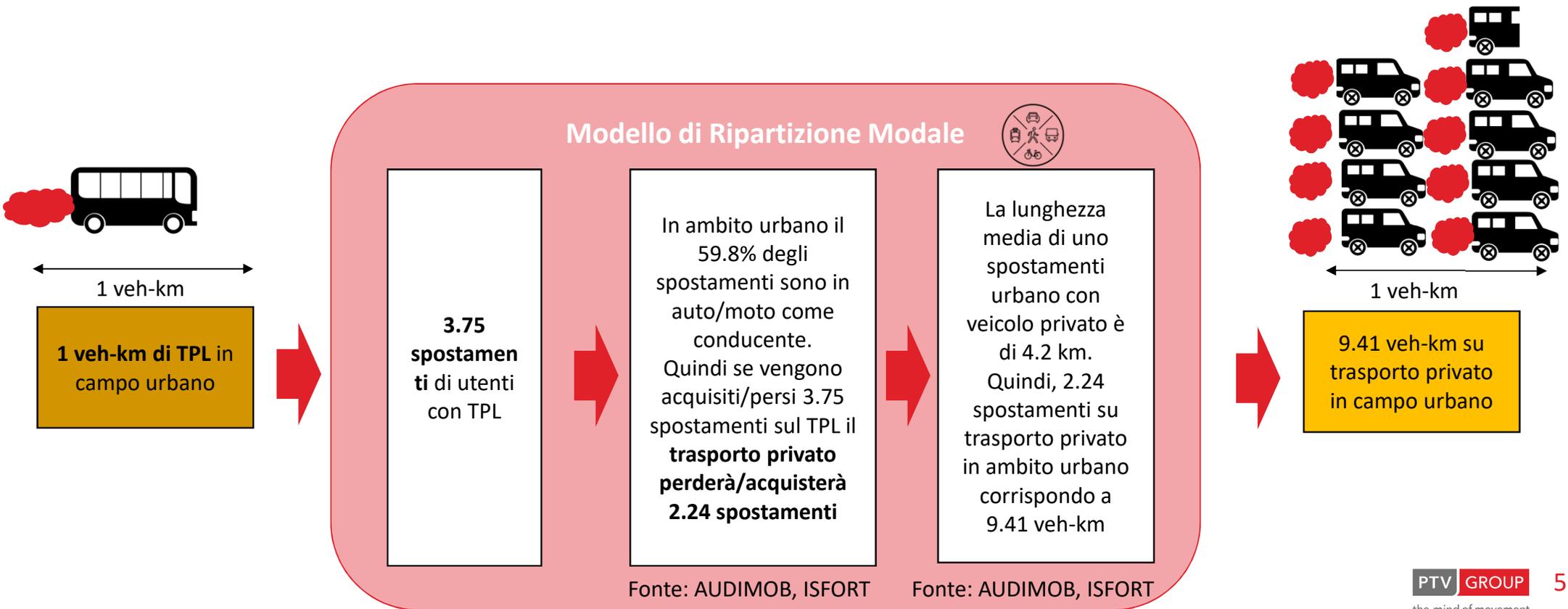
Con i dati ricavati dal modello di ripartizione modale, attraverso l'elenco delle emissioni e dei costi si potranno ricalcolare le incidenze di questi valori al variare dello scenario.



Ripartizione modale degli utenti tra TPL gomma e Trasporto Privato



► Variazioni dell'offerta TPL incidono sul trasporto privato con un rapporto di **1 a 9,41**.



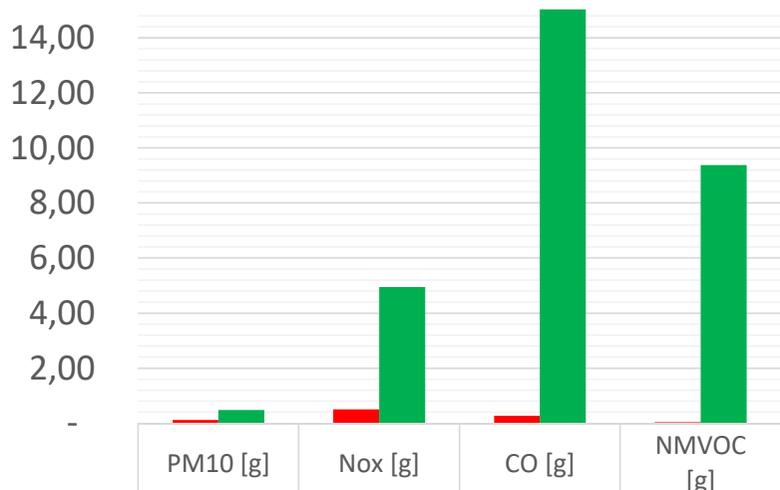
Aumento dell'offerta TPL per ridurre le emissioni del Trasporto Privato



Ambito urbano

Emissioni di Inquinanti
1 veh-km di TPL contro 9.40 veh-km di trasporto privato

Emissioni di Inquinanti [g]



■ Aumento di emissioni per 1 veicolo chilometro di TPL eseguito con BUS EURO VI Diesel

■ Riduzione di emissioni per 9.40 veicolo chilometro di trasporto privato non effettuato

- 0.37 g/km

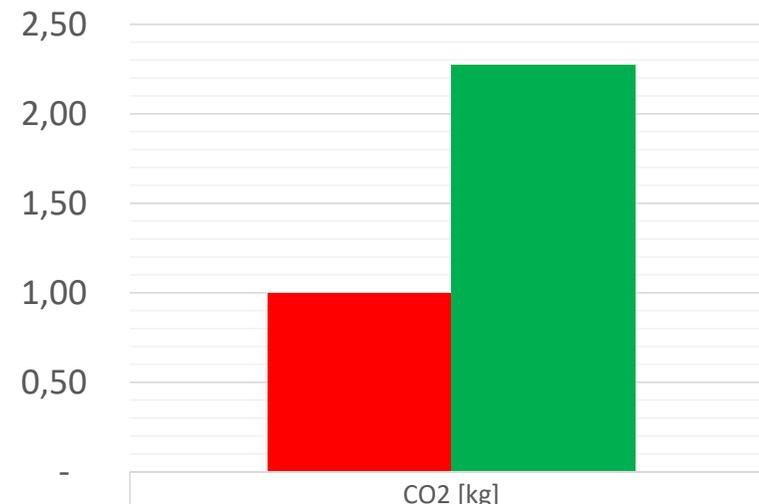
- 4.45 g/km

- 35.22 g/km

- 9.35 g/km

Emissioni di Gas Serra
1 veh-km di TPL contro 9.40 veh-km di trasporto privato

Emissioni di Gas Serra [kg]



■ Aumento di emissioni per 1 veicolo chilometro di TPL eseguito con BUS EURO VI Diesel

■ Riduzione di emissioni per 9.40 veicolo chilometro di trasporto privato non effettuato

- 1.27 kg/km

► Le emissioni prodotte da 1 km di percorrenza con Bus Euro VI, sono molto minori rispetto alle emissioni prodotte da 9.41 km percorsi con veicoli privati!



the mind of movement

Capitolo 6 CONCLUSIONI



Conclusioni

Le simulazioni effettuate sugli impatti in termini di riduzione delle emissioni nocive delle diverse strategie di rinnovo del parco autobus TPL hanno evidenziato che:

- 1) le risorse messe a disposizione, se non accompagnate da un meccanismo di remunerazione dei costi di investimento nei corrispettivi di servizio quantificati in base ai costi standard, sono in ogni scenario insufficienti per il perseguimento degli obiettivi di abbattimento delle emissioni del parco autobus TPL e di riduzione dell'età media a valori europei (7 anni);
- 2) a risorse date, le strategie di rinnovo del parco autobus TPL che puntano, nella transizione dall'offerta attuale ad un sistema virtuoso, su una introduzione graduale ed equilibrata dei mezzi ad alimentazione alternativa affiancata dagli investimenti in autobus ad alimentazione tradizionale di ultima generazione sono le strategie che hanno i migliori impatti in termine di riduzione delle emissioni locali e di massimizzazione del rinnovo della flotta. Gli effetti poi di una auspicata concentrazione delle risorse in 5 anni migliorano ulteriormente gli effetti di questa strategia.



Una politica di rinnovo che privilegi una transizione tecnologica graduale è dunque la scelta migliore.



Perché?

Conclusioni

Perché rinnovando in modo più veloce ed esteso la flotta ottimizza la qualità del servizio, incidendo così positivamente sullo shift modale, vero driver di sostenibilità e di riduzione delle emissioni inquinanti e della CO2 nel campo dei trasporti.

La qualità infatti, come noto, è fortemente legata allo stato in cui versa il parco rotabile. Da tale condizione dipendono confort a bordo e regolarità del servizio, fattori molto influenti sull'attrattività del servizio stesso.

Già oggi il TPL dà un contributo importante in termini ambientali. Basti pensare che in assenza di servizio se i passeggeri oggi soddisfatti si spostassero con mezzi privati le emissioni prodotte sarebbero cinque volte maggiori di quelle prodotte dal TPL stesso. E le potenzialità nell'abbattimento delle emissioni sono molto più alte ove si investa nella qualità del servizio.



UN TPL DI QUALITÀ È PARTE IMPORTANTE E INDISPENSABILE DEL CONTRASTO AL GLOBAL WARMING

Ottobre 2019

PTV **GROUP**

the mind of movement

