

Trasporto Pubblico Locale tra sostenibilità energetica ed efficienza operativa

Prof. Gino D'Ovidio





Unione Europea :

- ≈ 250 milioni di veicoli
- ≈ 447 milioni di persone



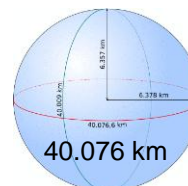
$$\approx \frac{1}{2}$$



\approx Una macchina ogni due persone



$D = 1.000.000$ km



$D \approx 25$ volte la circonferenza della terra

- Percorrenza media annua per veicolo : 10.000 km
- 250 milioni di veicoli
- Percorrenza cumulata annua (P_a) : $2,5 \cdot 10^{12}$ km



Distanza Sole-Nettuno



$P_a \approx 555$ volte la distanza tra il Sole e Nettuno



In Italia, la maggior parte della popolazione, **circa il 70%**, vive nelle aree urbane, che includono grandi, medie e piccole città.
Modalità di spostamento nelle aree urbane: **mediamente il 50% avviene in auto**, il 18% con mezzi pubblici, il 25% a piedi e il 5% in bici



- I cittadini dell'Unione Europea impiegano in media circa **50 minuti al giorno** (all'andata e ritorno) per recarsi al lavoro.
- Se si considerano anche altri spostamenti quotidiani, la distanza media percorsa può essere di circa **25-30 km al giorno**.
- Le famiglie nell'UE spendono circa **13,2% della loro spesa totale per consumi in trasporti**

(Eurostat, New Mobility Patterns in European Cities)



La congestione del trasporto su strada provoca sprechi il cui valore è stimato all'1% del PIL dell'UE (≈ **110 miliardi €/anno**)



- ✓ Nel 2024 si sono verificati in Italia 173.364 incidenti stradali con lesioni a persone che hanno provocato 3.030 vittime e 233.853 feriti.
- ✓ Gli incidenti stradali rappresentano la prima causa di morte tra i ragazzi dai 15 ai 29 anni. avvengono con maggior frequenza sulle strade urbane (73,1%)

(Istat 2025)

Costi sociali dell'incidentalità in Italia:
18 mld € (quasi 1% del PIL nazionale)

$$\text{Indice rischio di fatalità} \rightarrow I_F = \frac{\text{Fatalità}}{(\text{Pass.} \cdot \text{km}) \cdot 10^9}$$

Indice di rischio per modalità di trasporto

Modo di trasporto	Indice di rischio di Fatalità	Indice normalizzato al treno
Treno	0,13	1
Autobus	0,20	1,54
Autovetture	3,14	24,1
Motocicli	48,9	368,9

L'indice di rischio delle autovetture è circa 15 volte quello dell'autobus e 24 volte quello del treno

Impatti: Emissioni del settore trasporti

In EU i trasporti generano circa il 25% delle emissioni di CO₂, per il 72% dovute al trasporto su strada (93% in Italia).

La mobilità urbana pesa in modo rilevante sulle emissioni per l'elevata densità di spostamenti e di traffico

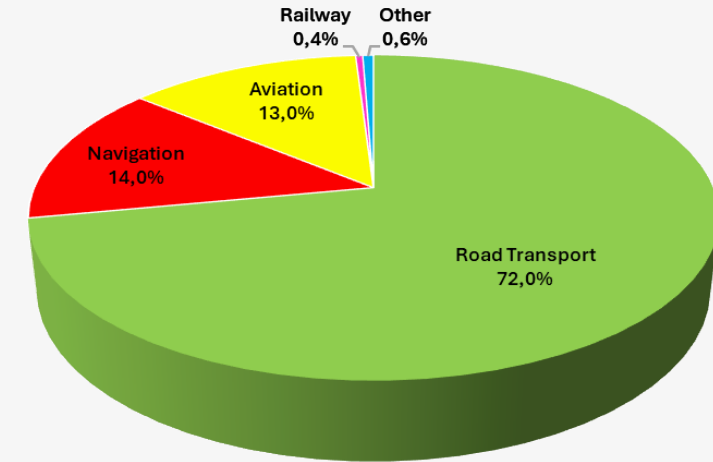


Fig. 1 GHG Emission by mode of transport (EEA, 2022).

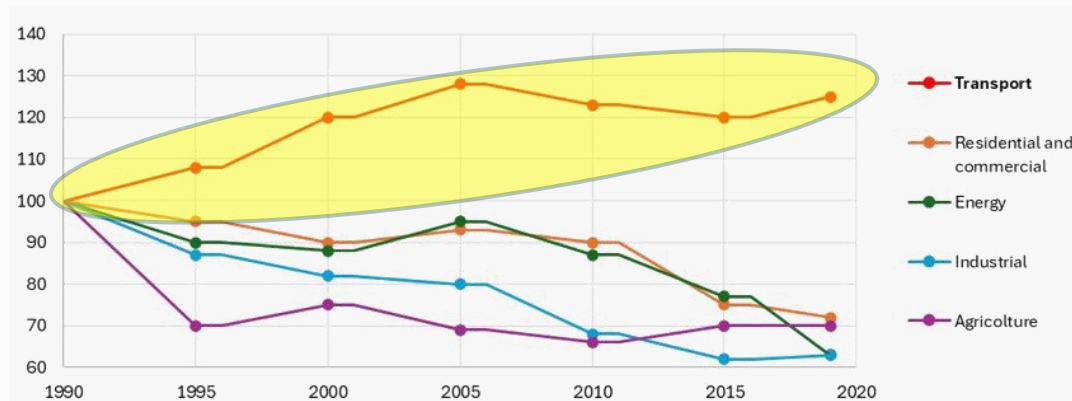


Fig. 2 Variazione dei livelli di emissione (CO₂e) per settori dal 1990 in EU27 (EEA, 2022)

Negli ultimi 30 anni i trasporti sono l'unico settore con emissioni in crescita

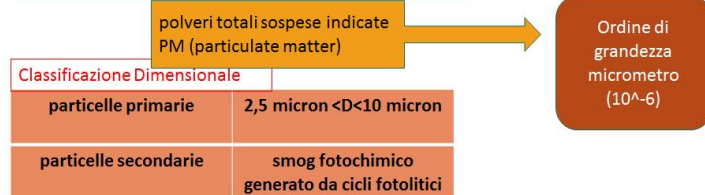


I risultati sono gravi:

- Si stima che nella UE, le emissioni da traffico siano responsabili di circa **253.000 decessi** prematuri all'anno
- Inoltre, milioni di europei soffrono di malattie respiratorie e cardiovascolari croniche

Transport & Environment. *Air Quality*. Bruxelles, 2023.

PARTICOLATO (PTS)



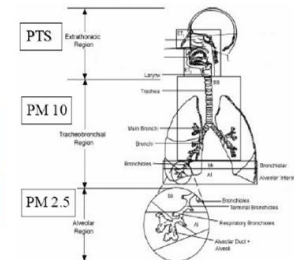
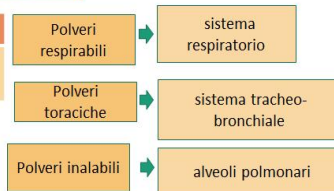
EFFETTI SULL'UOMO

In funzione delle dimensioni distinguiamo:



EFFETTI SULL'AMBIENTE

inquinamento luminoso
Degradamento edifici e monumenti



- I **costi sociali** per l'UE dovuti all'inquinamento da traffico stradale ammontano a circa **67-80 miliardi €/a** (dati del 2016)

CE Delft; European Public Health Alliance (EPHA). Health costs of air pollution in European cities and the linkage with transport. Delft, 2020

Urgente decarbonizzazione del trasporto stradale e della mobilità urbana

Obiettivi (Green Deal – Fit for 55):

- a) Ridurre le emissioni nette di gas serra (GHG) perlomeno del **55% entro il 2030**, rispetto ai livelli del 1990
- b) Raggiungere **emissioni nette zero (NZE) entro il 2050**

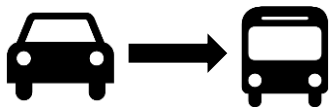
Azioni principali incentrate su:

Fattori comportamentali

Utilizzo del trasporto pubblico come alternativa all'auto privata (modal shift)



Condizioni di concorrenzialità → potenziamento ed efficientamento TPL

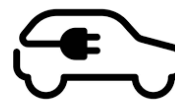


Fattori tecnologici

Uso di tecnologie veicolari ad elevata efficienza



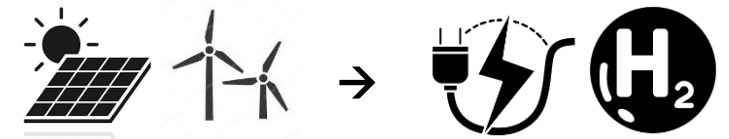
Motorizzazione elettrica



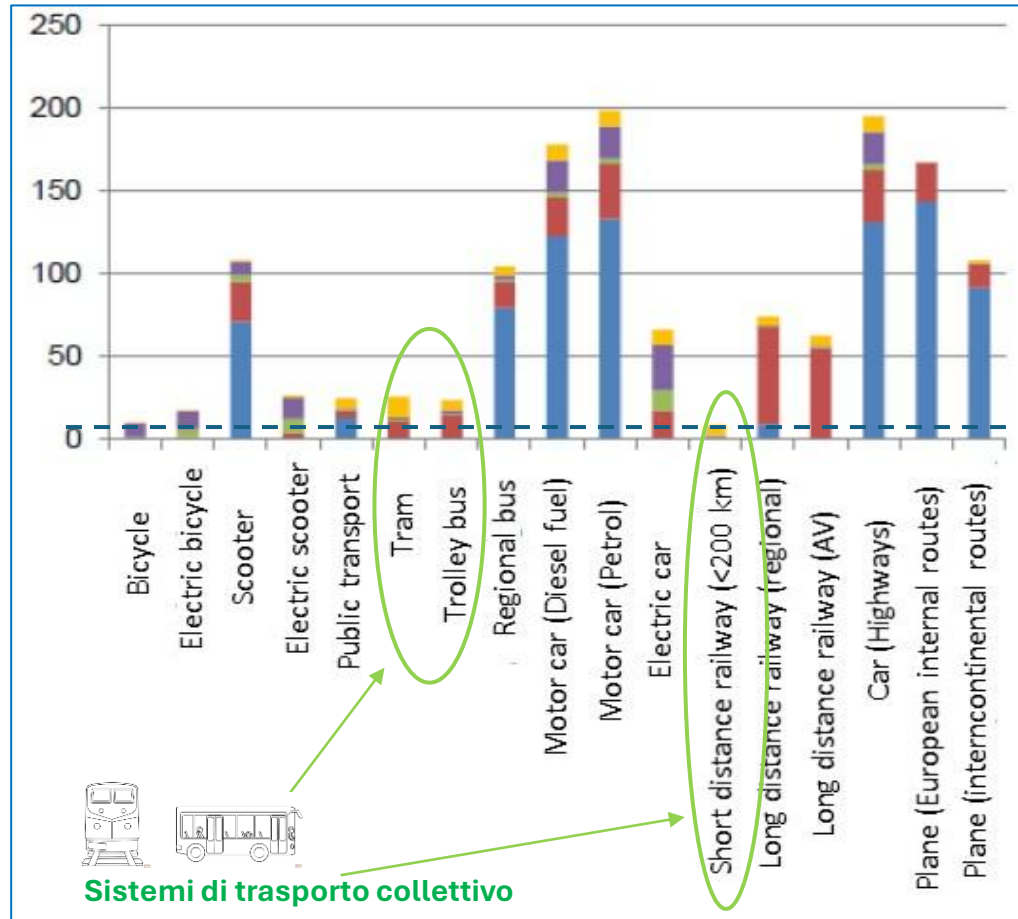
Uso di tecnologie per la produzione di vettori energetici non emissivi



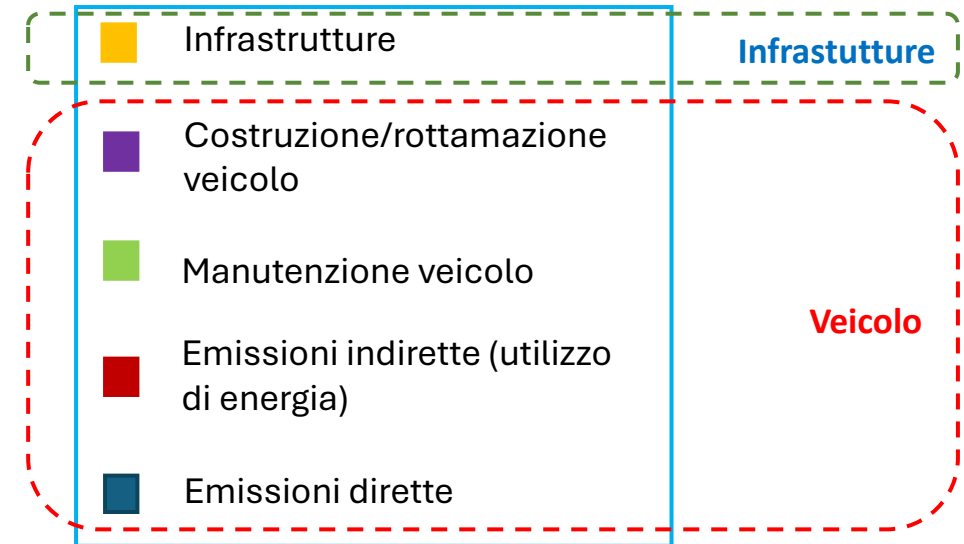
Fonti Energetiche Rinnovabili



Emissioni unitarie CO₂ per i diversi modi/mezzi di trasporto passeggeri associati a differenti fasi del ciclo di vita



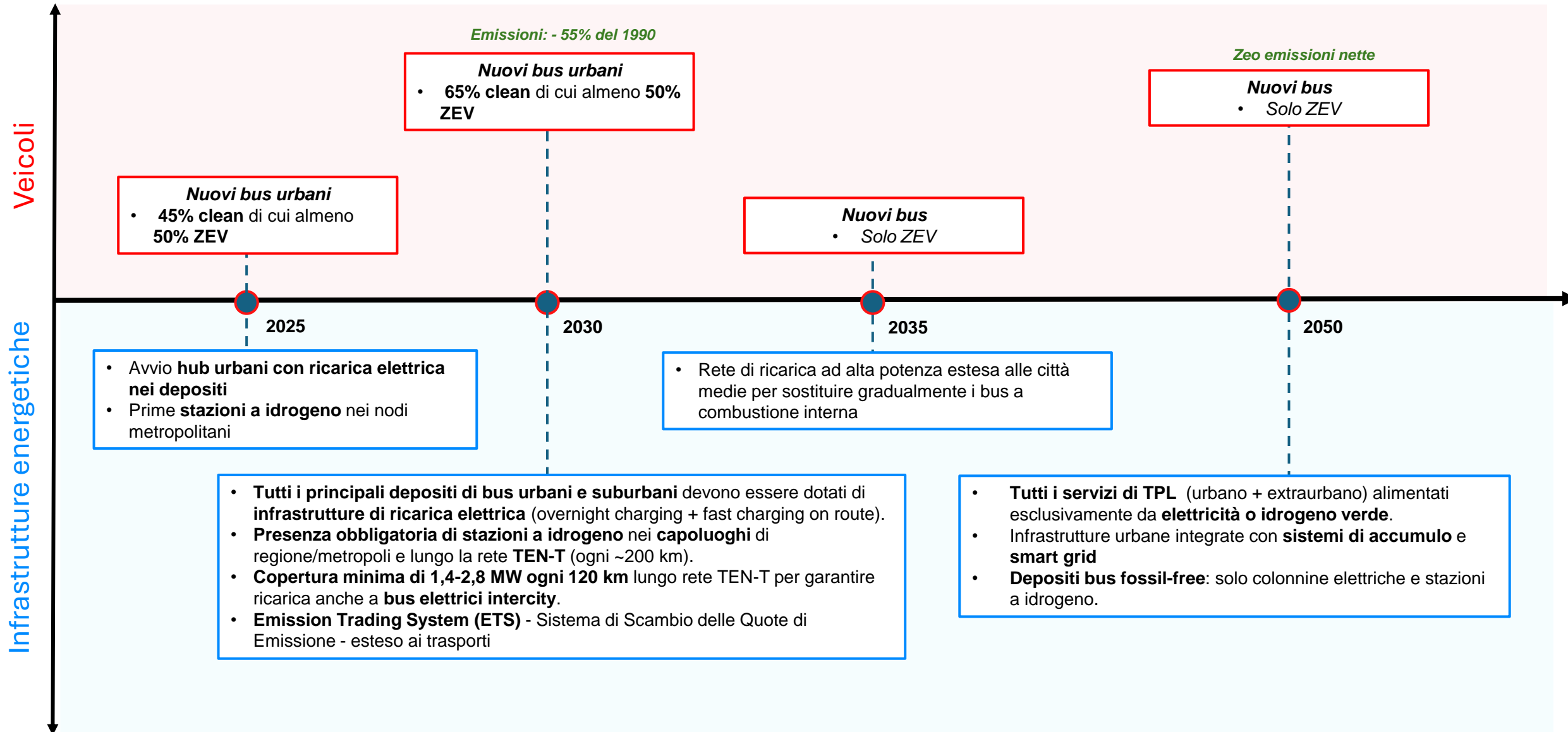
$$\text{Emissioni unitarie} \rightarrow E_U = \frac{g \text{ CO}_2}{(\text{Pass.} \cdot \text{km})}$$



Data referring to the Swiss Confederation and / or neighboring European countries
Source: Sipotra elaboration on Mobitool data, 2010

- I sistemi di trasporto collettivo assicurano il livello più basso di emissioni per passeggero trasportato e per chilometro percorso

Timeline per la decarbonizzazione TPL



Parco autobus totale

Circa **100.000** autobus in tutte le motorizzazioni

Elettrici

Solo l'**1,3%** del parco totale è elettrico (≈ 1.290 mezzi) nel 2023

Alimentazioni alternative (oltre a elettrico)

Gasolio resta dominante (~ 91,1%), metano circa **6,1%**, ibridi + altre motorizzazioni alternative ~ 2,2%

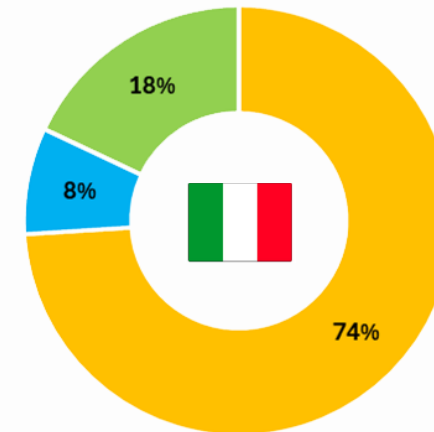
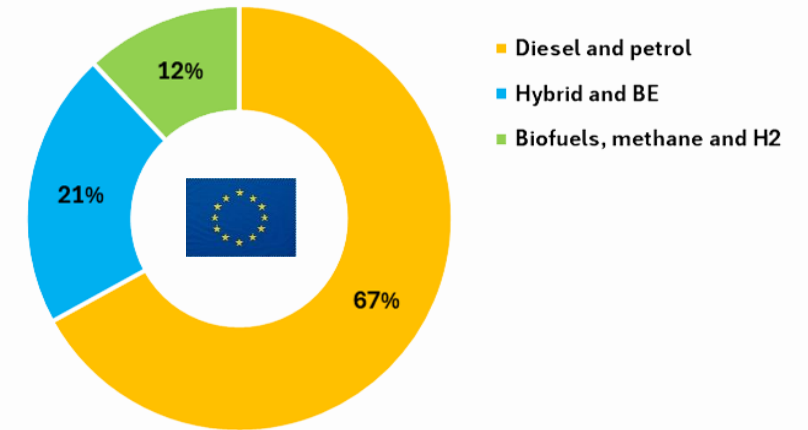
Immatricolazioni 2024

Forte crescita per segmenti urbani: quasi il **40%** sono elettrici (classe I).

(ANSA.it)

Trend / Osservazioni

- Crescita recente delle immatricolazioni di autobus elettrici: 162% in più rispetto al 2023
- La diffusione dell'elettrico nel parco totale resta molto limitata
- Il grado di penetrazione degli autobus elettrici è ancora basso rispetto ai livelli europei



(The European House, Ambrosetti).

Distribuzione delle alimentazioni dei nuovi autobus immatricolati in Europa e in Italia nel 2022

Transizione energetica

BENEFICI

- **Sostegni pubblici:** accesso a contributi e premialità nelle gare
- **Immagine e competitività:** servizio percepito come innovativo e sostenibile
- **Conformità normativa:** allineamento agli obblighi di decarbonizzazione nazionali ed europei
- **Costi operativi ridotti:** meno carburante e manutenzione (a medio-lungo termine)



TPL
Zero Emissioni

IMPLICAZIONI

- **Alti investimenti iniziali:** mezzi e infrastrutture costosi
- **Riorganizzazione gestionale:** pianificazione condizionata da ricariche/rifornimenti
- **Incertezza tecnologica:** rischio obsolescenza e scelte non ottimali
- **Formazione del personale:** nuove competenze richieste
- **Vincoli infrastrutturali:** disponibilità limitata di energia/impianti
- **Tensione finanziaria (bilanci):** ammortamenti e costi transitori elevati

Qualità del servizio → Efficienza

1. Efficienza operativa

- **Puntualità:** rispetto degli orari programmati
- **Regolarità del servizio:** frequenza costante e affidabilità delle corse.
- **Velocità commerciale:** dipendente dal tempo medio di percorrenza
- **Integrazione modale:** facilità di connessione intermodale
- **Copertura territoriale:** rete estesa e capillare sul territorio

2. Efficienza energetico-ambientale

- **Consumo energetico** per pass/km
- **Emissioni di CO₂eq e inquinanti locali (NOx, PM)** per pass/km
- **Adozione di tecnologie green:** elettrico, ibrido, biometano, idrogeno

3. Efficienza sociale e di servizio

- **Accessibilità:** facilità di accesso a tutte le categorie di utenti (inclusi disabili, anziani, famiglie)
- **Capacità di attrazione:** competitività rispetto all'uso dell'auto privata
- **Affidabilità informativa:** sistemi digitali di infomobilità in tempo reale (app, display alle fermate, MaaS)
- **Comfort e sicurezza:** pulizia, climatizzazione, illuminazione, videosorveglianza.

4. Efficienza economica

- **Costo di esercizio per pass/km:** capacità di offrire un servizio di qualità con risorse proporzionate
- **Tasso di riempimento:** rapporto tra offerta (posti disponibili) e domanda reale
- **Sostenibilità economica:** rapporto tra entrate da tariffe e sussidi pubblici

- In sintesi, un sistema di trasporto pubblico locale è efficiente quando assicura lo spostamento di molti passeggeri utilizzando le giuste risorse, in tempi contenuti, limitando gli effetti sull'ambiente e mantenendo alti livelli di affidabilità e qualità del servizio



$E = f$ (condizioni di operatività al contorno)

Vantaggi del TPL su corsie dedicate rispetto alla viabilità promiscua

1. Efficienza operativa

- **Riduzione dei tempi di percorrenza:** eliminazione delle interferenze con il traffico privato.
- **Incremento della regolarità e puntualità:** minore variabilità dei tempi di viaggio, maggiore affidabilità delle tabelle orarie
- **Ottimizzazione dei costi di esercizio:** riduzione consumi energetici e usura meccanica grazie a velocità più costante
- **Priorità di transito:** possibilità di implementare sistemi di semaforizzazione intelligente con priorità al TPL

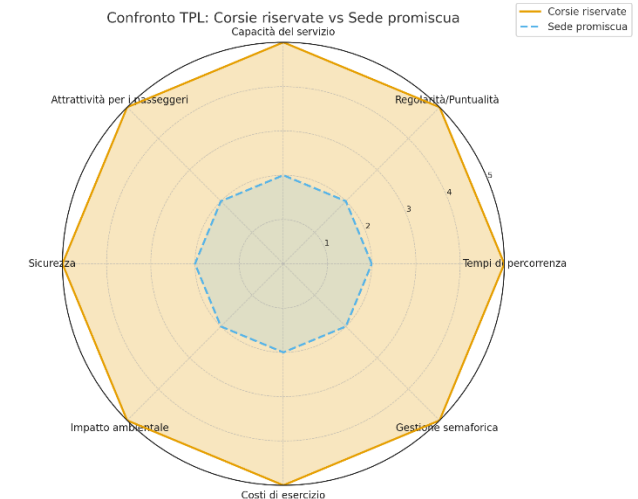
2. Qualità del servizio

- **Aumento della capacità di servizio:** ottimizzazione dei cicli consente più corse per unità di tempo
- **Maggiore attrattività per l'utenza:** tempi competitivi e affidabili favoriscono lo shift modale dall'auto privata

3. Sicurezza e sostenibilità

- **Miglioramento della sicurezza stradale:** separazione dei flussi e riduzione dei punti di conflitto.
- **Benefici ambientali:** minori emissioni specifiche per passeggero-km grazie a maggiore fluidità e incremento del coefficiente di riempimento

- Le corsie dedicate rendono il TPL più efficiente e competitivo; è quindi essenziale favorirne la realizzazione e la diffusione più ampia possibile.





Grazie per l'attenzione

Prof. Ing. Gino D'Ovidio

Ordinario di Ingegneria dei Trasporti, Università dell'Aquila

*Direttore del Centro Interdipartimentale di Trasporti e Mobilità Sostenibile (CITraMS),
University of L'Aquila, Italy*

gino.dovidio@univaq.it