

2° CORSO

SUBENTRO E GESTIONE DEI SERVIZI

2° Modulo

Domini applicativi dei bus ad alimentazione alternativa: bus e infrastrutture

prof. Stefano de Luca

prof. Chiara Fiori

Roma – 04/07/2023



federMobilità

Associazione per il governo regionale,
locale e urbano della mobilità sostenibile



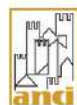
2023



in collaborazione con



Con il patrocinio di



PROVINCIA
DI COSENZA

Si ringraziano per il loro importante contributo

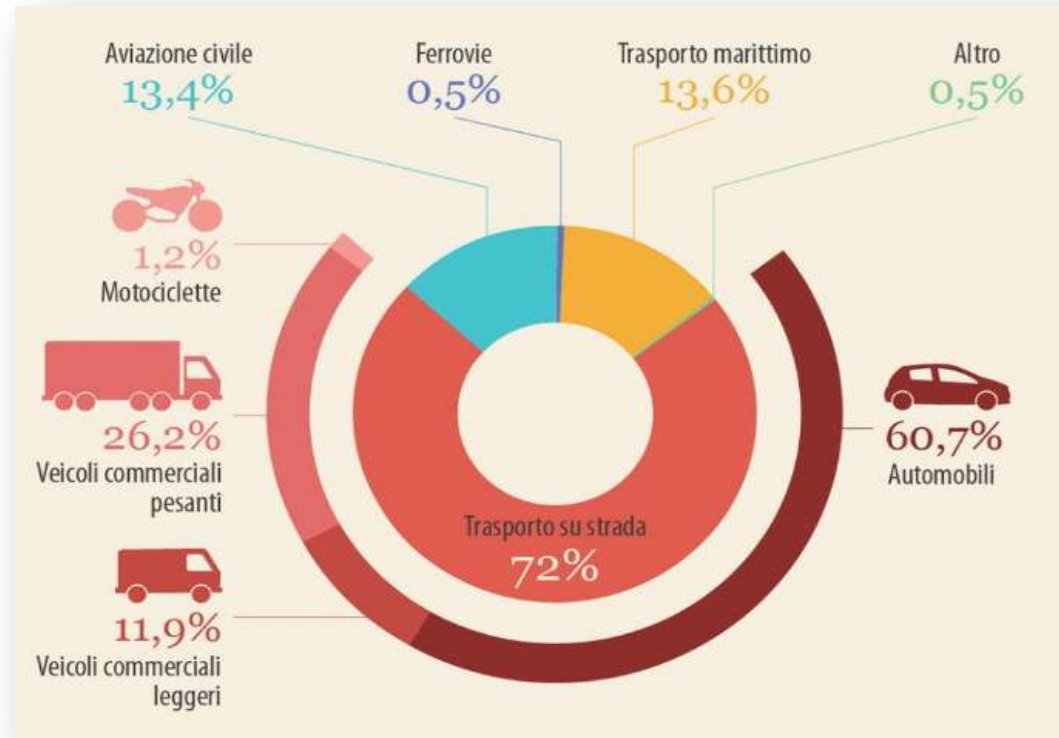


intro

Introduzione

Consumi nel settore dei trasporti

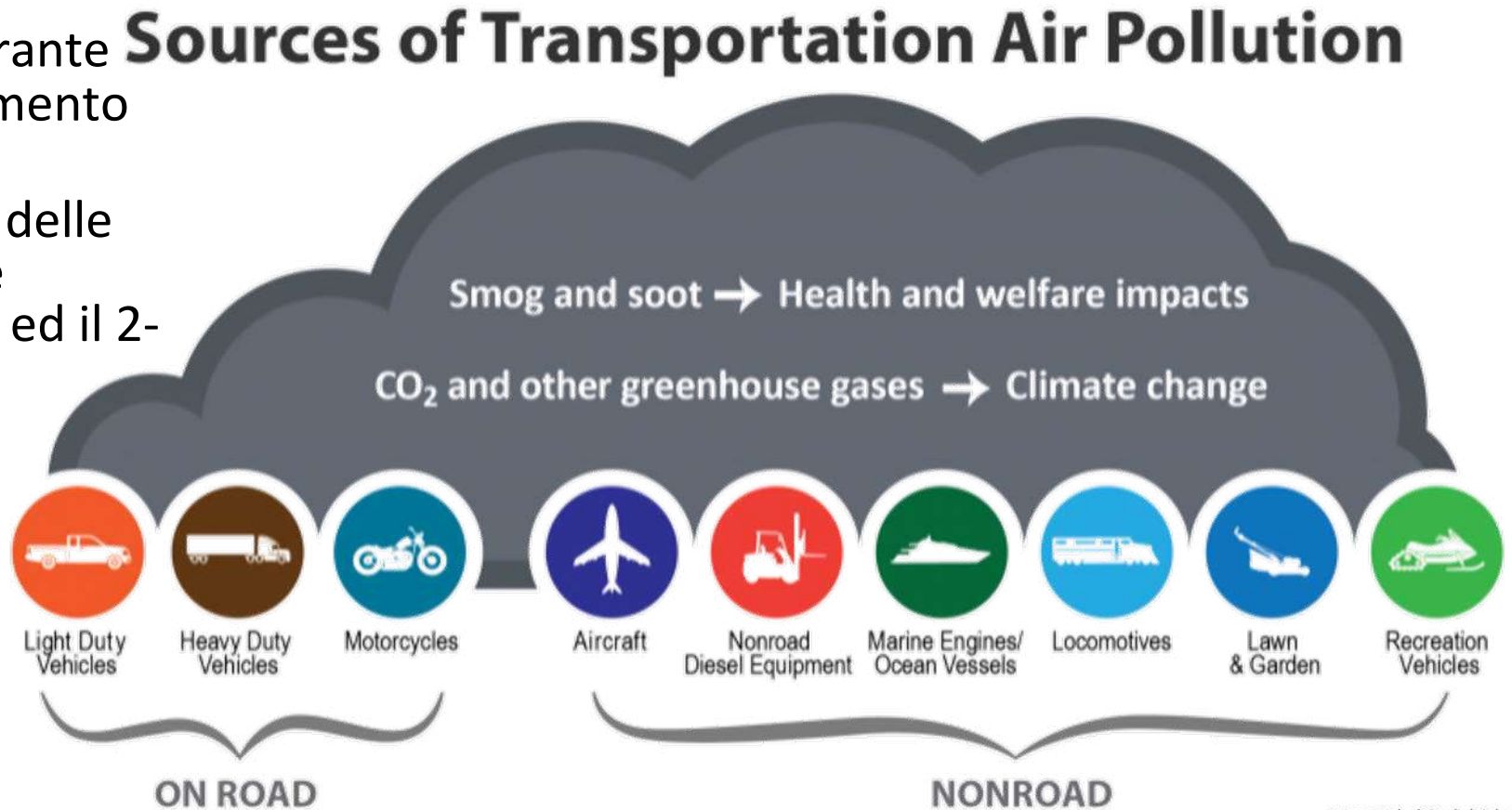
I trasporti consumano in EU **un terzo di tutta** l'energia finale e la maggior parte di questa energia proviene dal **petrolio** (IEA)



*Source: Energy Information Administration (EIA)

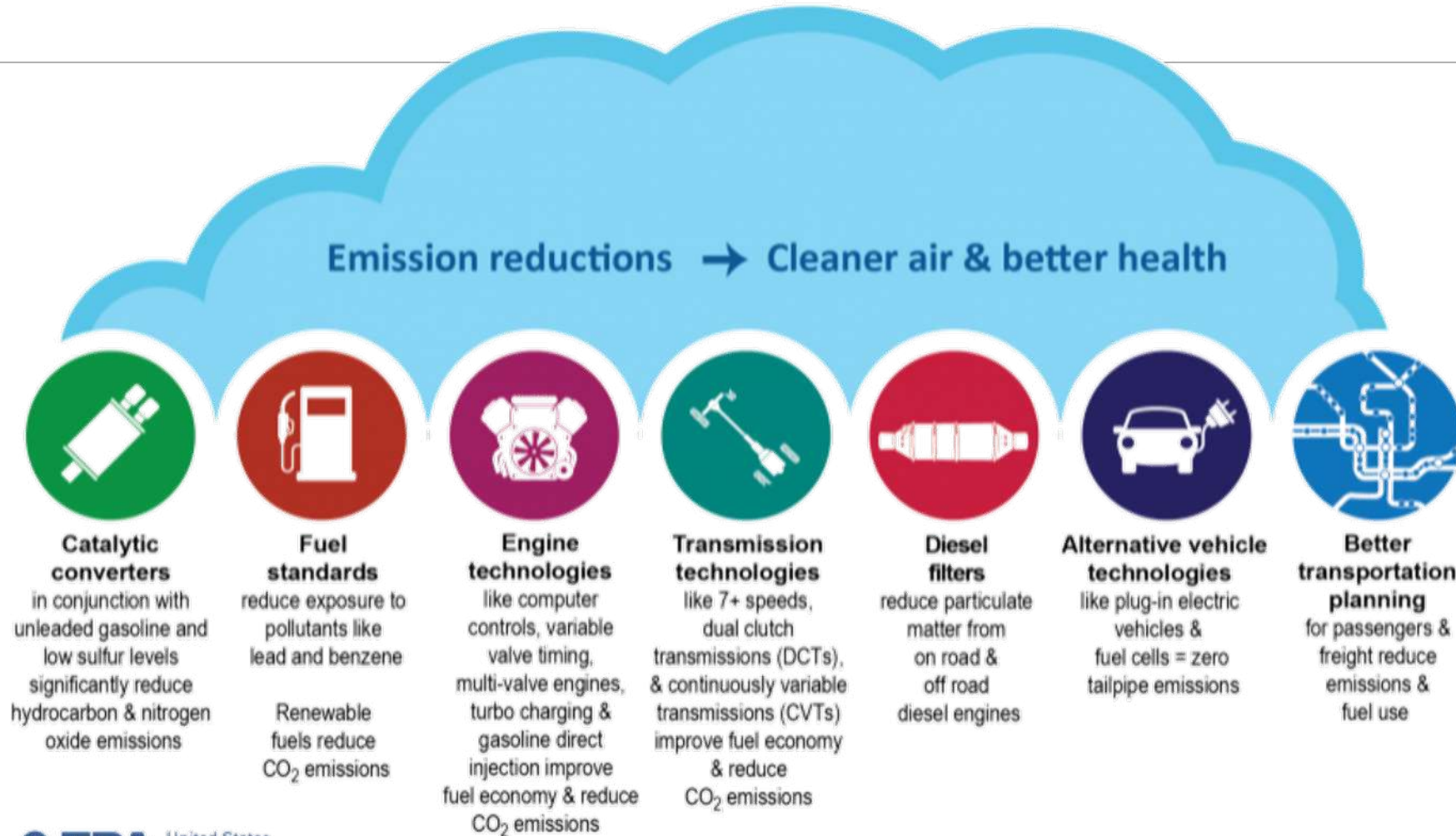
Introduzione

- Il fattore più preoccupante, a livello globale, è l'emissione di anidride carbonica (CO₂)
- La CO₂ ha un ruolo preponderante nel fenomeno del surriscaldamento globale
- Secondo stime recenti, il 22% delle emissioni di CO₂ è attribuibile all'intero settore dei trasporti ed il 2-3% alla sola aviazione



Introduzione

Solutions for Transportation Air Pollution



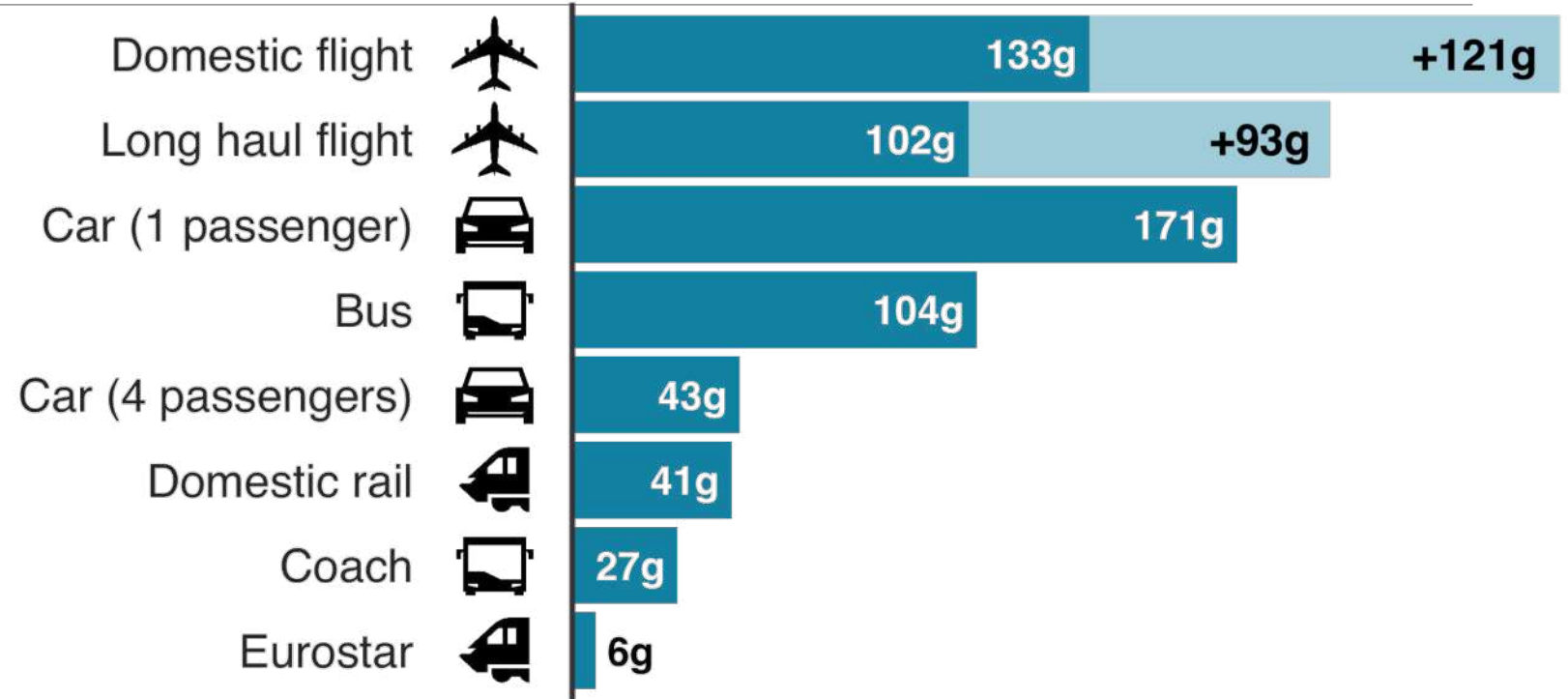
Introduzione

Emissioni per modo di trasporto

Emissions from different modes of transport

Emissions per passenger per km travelled

■ CO2 emissions ■ Secondary effects from high altitude, non-CO2 emissions



Note: Car refers to average diesel car

Source: BEIS/Defra Greenhouse Gas Conversion Factors 2019

BBC

Source: <https://www.bbc.com/news/science-environment-49349566>

Introduzione

Mobilità Elettrica

Il settore dei trasporti rappresenta il 33% del consumo energetico mondiale totale*

La mobilità personale è di fatto alimentata solo dal petrolio, che rappresenta il 93% del consumo totale di energia nel settore dei trasporti*

L'**elettrificazione dei veicoli** è una delle possibili soluzioni per:

- ridurre il consumo energetico del veicolo
- ridurre la dipendenza dalle fonti fossili
- migliorare la qualità dell'aria nelle aree urbane
- promuovere la diversità dei carburanti e l'integrazione con fonti rinnovabili

L'**impatto della ricarica dei veicoli elettrici (EV) sulla rete elettrica** è una questione **critica** che coinvolge le aziende elettriche, le case automobilistiche e i centri di ricerca

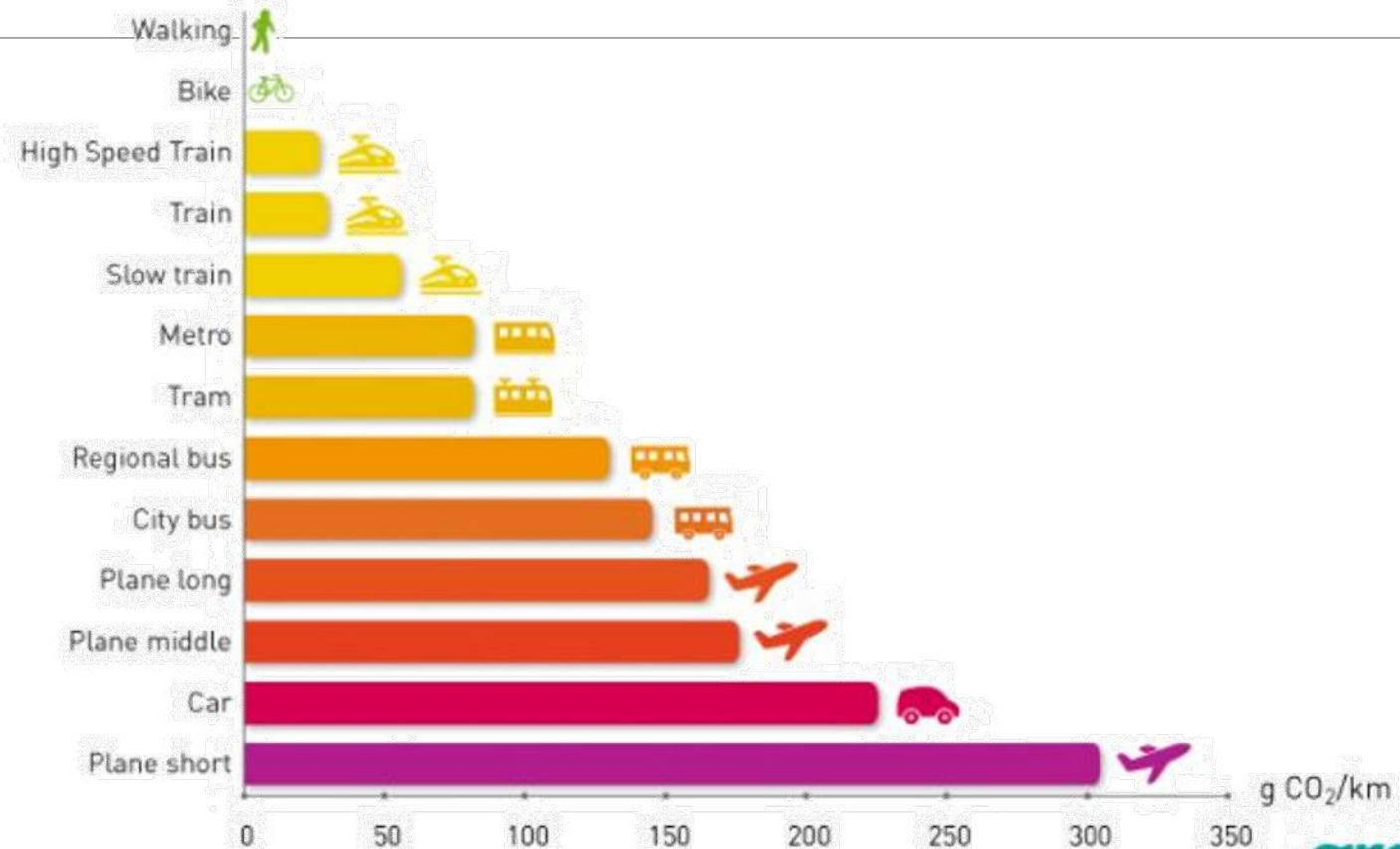
**Source: Energy Information Administration (EIA)*

Introduzione

Emissioni
per modo
di
trasporto

What is the greenest mode of transport?

CO₂ emissions per travelers kilometer



Source: www.co2emissiefactoren.nl

greenseat
you make it happen

Università degli Studi di Salerno
Laboratorio di Ingegneria dei Sistemi di Trasporto e Mobilità Sostenibili

diciv Dipartimento di
Ingegneria Civile

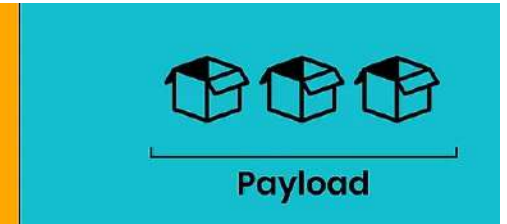
ISTMoS
Lab
Sistemi di Trasporto
Mobilità Sostenibile

Introduzione

Il Consumo dei veicoli

Molteplici sono i fattori che influenzano il consumo (e le emissioni) in fase di guida:

- Caratteristiche del veicolo
- Peso/payload trasportato
- Caratteristiche del tracciato
- Condizioni climatiche
- Condizioni di traffico
- Stile di guida del conducente



introduzione

Il settore dei trasporti è tra i principali responsabili delle emissioni di gas serra

Il TPL è stato dominato da mezzi alimentati da combustibili fossili

Conseguenze



Inquinamento ambientale



Inquinamento acustico



Problemi di salute

Necessità



Ridurre le emissioni di gas serra



Migliorare la qualità dell'aria



Rinnovo della flotta di autobus con mezzi a zero o basse emissioni

Provvedimenti normativi



Obiettivi e quadro legislativo

LA MOBILITÀ ELETTRICA

L'impegno a livello mondiale

L'infrastruttura di ricarica (o colonnina o stazione di ricarica) si è ampliata di 7 volte negli ultimi 5 anni (2020)
(Fonte: Global EV 100, 2021)



+1,3 milioni di
infrastrutture
di ricarica



30% Ricarica
ad alta
potenza

RICARICA STANDARD

- Cina: 500 mila stazioni
- Europa: 250 mila stazioni (I Paesi Bassi sono al primo posto)
- Stati Uniti: 82 mila stazioni

RICARICA AD ALTA POTENZA

- Cina: 310 mila stazioni
- Europa: 38 mila stazioni (7500 in Germania)
- Stati Uniti: 17 mila stazioni

La Cina è leader
mondiale nella
disponibilità di
infrastrutture di
ricarica standard e ad
alta potenza

LA MOBILITÀ ELETTRICA

Quadro Legislativo Europeo

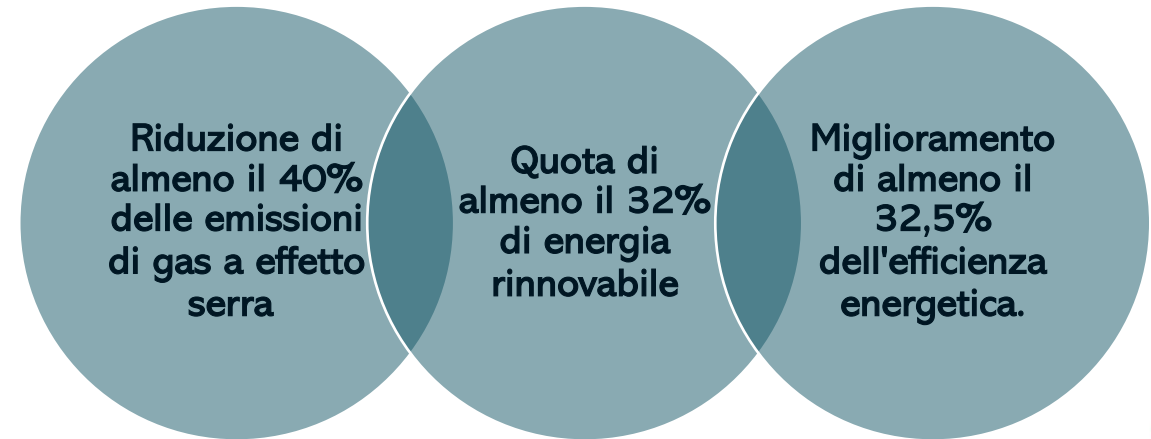
DIRETTIVA EUROPEA 2014/94/UE

- Riduzione al minimo del petrolio
- Attenuazione impatto ambientale nel settore dei trasporti

I trasporti consumano in EU un terzo di tutta l'energia finale.
La maggior parte di questa energia proviene dal petrolio.
(Fonte IEA)

QUADRO NORMATIVO EUROPEO 2030 SU CLIMA ED ENERGIA

OBIETTIVI CHIAVE PER IL 2030



NUOVI OBIETTIVI CHIAVE PER IL 2030

Pacchetto climatico (Proposto a fine 2019)

Fit for 55



LA MOBILITÀ ELETTRICA

Quadro Strategico Nazionale

IL PRIMO PASSO DELLA DIRETTIVA EUROPEA 2014/94/UE PREVEDE L'ELABORAZIONE DI UN QUADRO STRATEGICO NAZIONALE

Obiettivi assegnati all'Italia

- a) obiettivo complessivo (overall target): la quota dei consumi finali lordi di energia da coprire al 2020 mediante l'utilizzo di fonti di energia rinnovabili nei settori elettrico, termico (riscaldamento e raffreddamento) e trasporti deve essere almeno pari al 17%;
- b) obiettivo trasporti: la quota rinnovabile dei consumi del settore dei trasporti deve essere almeno pari al 10% del consumo finale di energia nel settore dei trasporti.



LA MOBILITÀ ELETTRICA

Quadro Legislativo Nazionale

DOCUMENTI DI
PIANIFICAZIONE,
LEGGI E DECRETI

Legge 7 Agosto 2012

D. Lgs. 16 Dicembre 2016, n 257
(L'Italia recepisce la direttiva Europea)

PNIEC (Piano Nazionale Integrato di
Energia e Clima)

Piano Strategico Nazionale della
Mobilità Sostenibile (approvato con
DPCM 30 Aprile 2019)

PNire (Piano Nazionale Infrastrutturale
per la Ricarica dei veicoli alimentati ad
energia Elettrica)

Secondo la normativa vigente (in particolare secondo il Decreto 4 agosto 2017 del M.I.T.) le città metropolitane, gli enti di area vasta, i comuni e le associazioni di comuni con popolazione superiore a **100.000 abitanti**, hanno l'obbligo di predisporre e adottare nuovi **PUMS**, secondo le linee guida.

LA MOBILITÀ ELETTRICA

Legge 7 Agosto 2012

Stabilisce alcuni principi fondamentali e generali sulla infrastruttura di ricarica di autoveicoli elettrici.

- a) definisce le reti infrastrutturali di ricarica elettrica, i veicoli a bassa emissione complessiva, i veicoli a trazione elettrica, ibrida e ad altri combustibili;
- b) semplifica l'attività edilizia relativa alla realizzazione dell'infrastruttura di ricarica che viene assimilata ad opera di urbanizzazione primaria.
- c) identifica il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti quale proponente del **Piano Nazionale Infrastrutturale per la Ricarica dei veicoli Elettrici – PNIRE**;
- d) indirizza in coerenza l'Autorità di regolazione elettrica del paese;
- e) realizza un meccanismo premiale per incentivare l'utilizzo dei veicoli a trazione elettrica.

Piano Strategico Nazionale della Mobilità Sostenibile

Il Piano strategico della mobilità sostenibile è destinato anche al rinnovo del parco autobus dei servizi di trasporto pubblico locale e regionale, alla promozione e al miglioramento della qualità dell'aria con tecnologie innovative, in attuazione degli accordi internazionali sulla riduzione delle emissioni, nonché degli orientamenti e della normativa europea.

LA MOBILITÀ ELETTRICA

PNire (Piano Nazionale Infrastrutturale per la Ricarica dei veicoli alimentati ad energia Elettrica)

Il meccanismo di governance delineato in sede UE prevede che ciascuno Stato membro sia chiamato a contribuire al raggiungimento degli obiettivi comuni attraverso la fissazione di propri obiettivi 2030, predisponendo i Piani Nazionali Integrati per l'energia e il clima (PNIEC).

In Italia, il Piano stabilisce gli obiettivi nazionali al 2030 sull'efficienza energetica, sulle fonti rinnovabili e sulla riduzione delle emissioni di CO₂, nonché gli obiettivi in tema di sicurezza energetica, interconnessioni, mercato unico dell'energia e competitività, sviluppo e mobilità sostenibile.

2 LINEE DI INTERVENTO PER IL SETTORE DEI TRASPORTI

DECARBONIZZAZIONE

EFFICIENZA ENERGETICA

L'Italia fissa al 2030 l'obiettivo di un parco circolante di veicoli elettrici pari a 6 milioni di unità.

Sono necessari almeno 98.000-130.000 punti di ricarica.

LA MOBILITÀ ELETTRICA

Piano Nazionale Integrato di Energia e Clima (Pnire)

Obiettivo

Garantire in tutto il territorio nazionale livelli minimi uniformi di accessibilità del servizio di ricarica dei veicoli alimentati ad energia elettrica.

1. Realizzare reti infrastrutturali per la ricarica dei veicoli elettrici
2. Interventi di recupero del patrimonio edilizio finalizzato allo sviluppo delle medesime reti

Definisce

Linee guida per lo sviluppo unitario del servizio di ricarica, sulla base di criteri oggettivi, tenendo conto del fabbisogno delle diverse realtà territoriali.

Criteri:

- a) Profili di congestione del traffico veicolare privato
- b) Criticità dell'inquinamento atmosferico
- c) Sviluppo della rete stradale urbana, extraurbana e autostradale

Inquadramento tecnologico

VEICOLI

POWERTRAINS overview

- ICEVs
- Hybrids (Micro, Mild, Full)
- PHEVs (Blended/EREVs)
- EVs
- FCEVs

- *Gasolio*
- *GPL (gas di petrolio liquefatto)*
- *Metano*
- *Metanolo*
- *Etanolo*
- *Idrogeno*

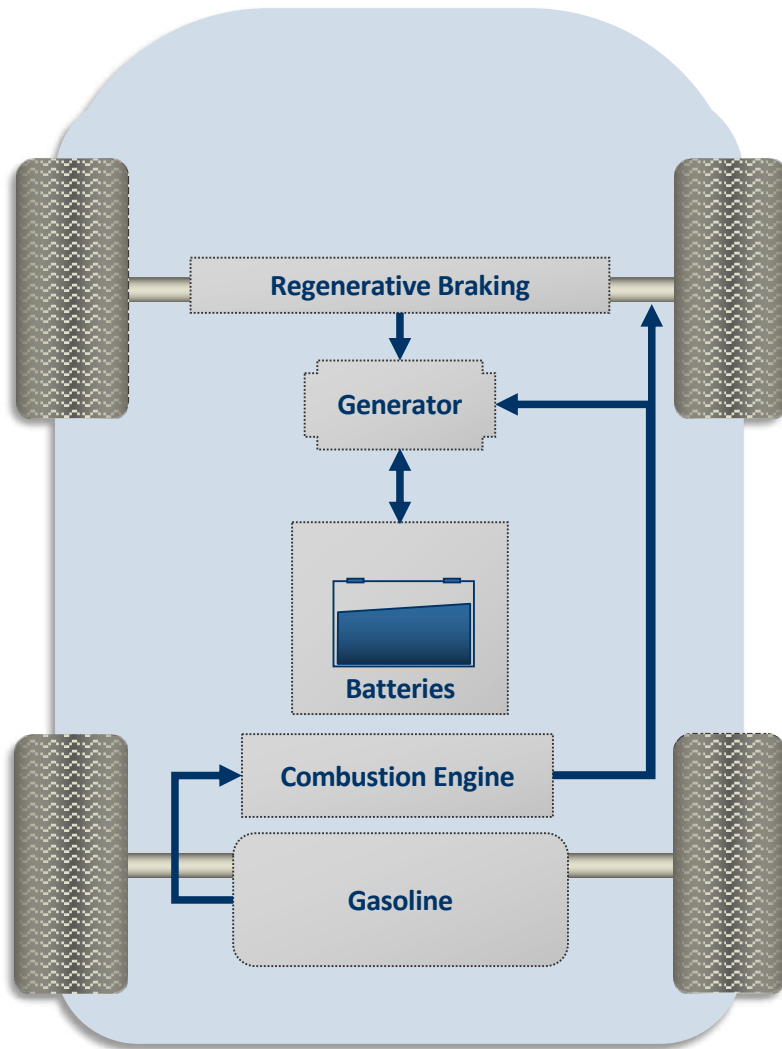
- V E H C L E
ELECTRIFICATION

2. Veicoli: Componenti¹

Micro Hybrid Electric Vehicle

The functions performed by the electrical components in a micro hybrid are essentially:

- Power supply for electrical accessories, including air-conditioning system
- Stop & Start (ICE off when standing, automatic restart)
- Recovery of part of the kinetic energy when slowing/braking

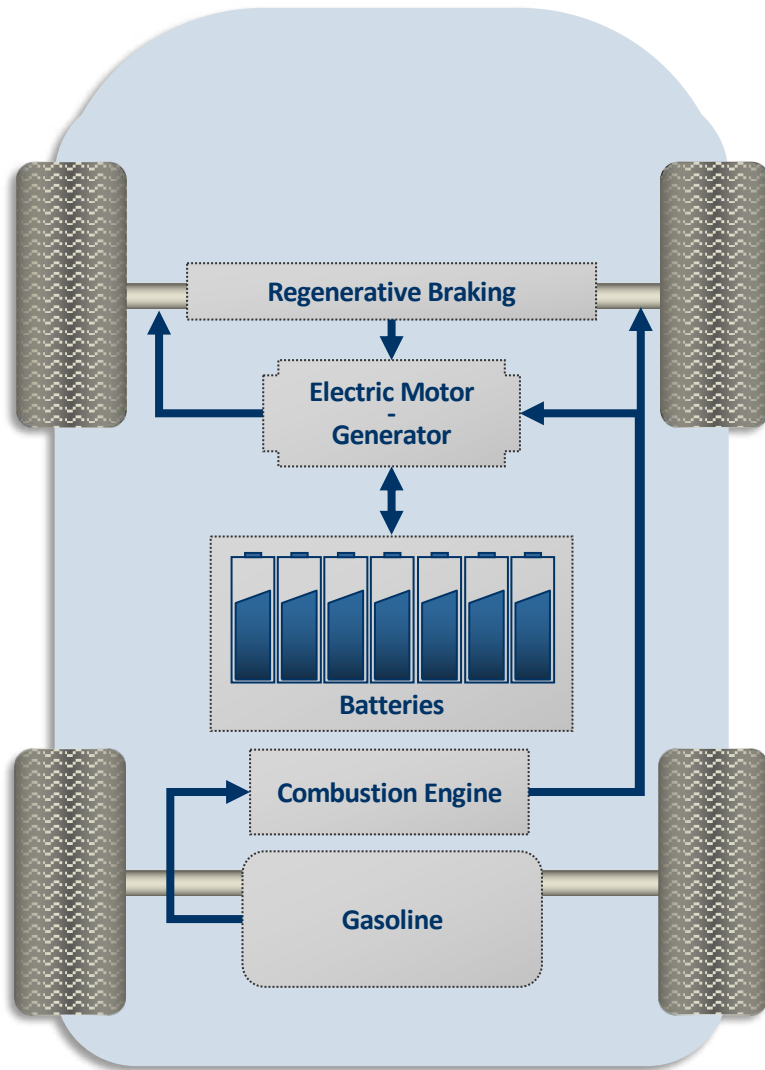


2. Veicoli: Mild Hybrid Electric Vehicle²

Mild Hybrid Electric Vehicle

The functions performed by the electrical component in a mild (or medium) hybrid are:

- Providing of current supply for electrical accessories, including conditioning system (as in the micro HEV)
- Stop & Start (as in the micro HEV)
- Inactive distribution (when the torque isn't required by the ICE, the valves are in rest position and do not absorb energy, the ICE stops without turning off)
- Power provision for traction, especially the electric motor provides power to the wheels to cover up torque peaks (e.g. during the start)
- Energy recovery during the braking. In this way the torque delivered by the ICE flatten with significant reductions in fuel consumption and emissions

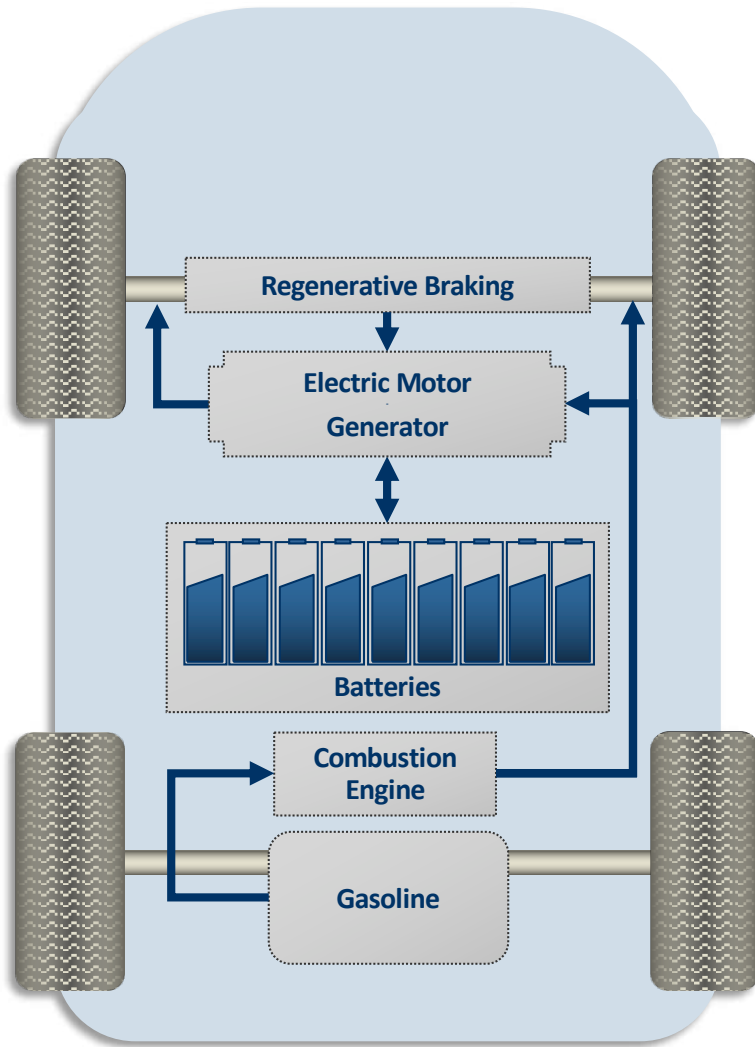


2. Veicoli: Componenti³

Full Hybrid Electric Vehicle

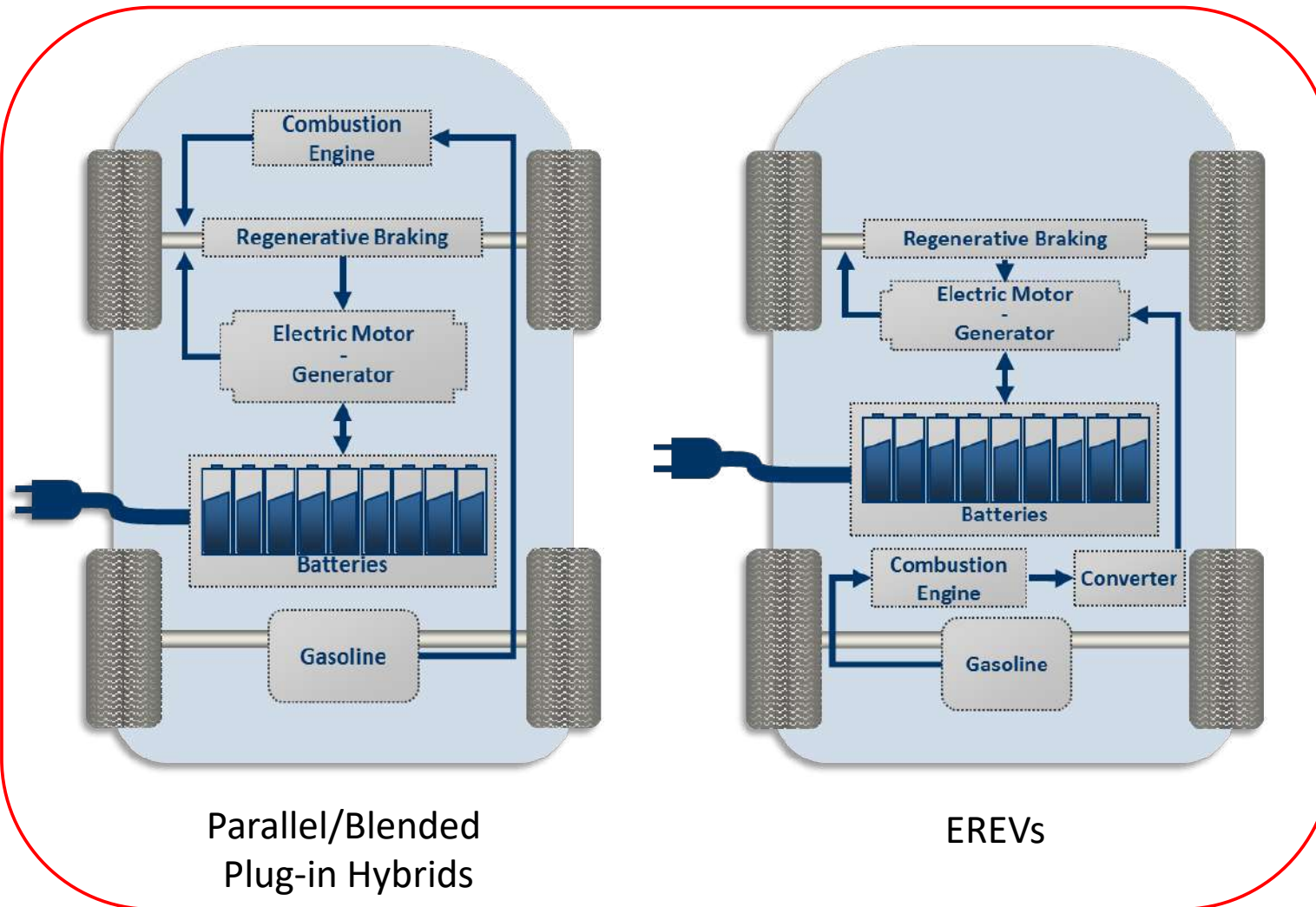
The functions performed by the electrical component in a full hybrid are:

- Providing of current supply for electrical accessories, including conditioning system (as in the micro and mild HEV)
- Stop & Start (as in the micro and mild HEV)
- Inactive distribution (as in the micro and mild HEV)
- Power provision for traction (as in the micro and mild HEV)
- Energy recovery during the braking (as in the micro and mild HEV)
- Possibility of starting from rest and traction in electric-only mode with the function ZEV (Zero Emission Vehicle). In this way the torque delivered by MCI "flattens" with significant reductions in consumption and emissions



2. Veicoli: Componenti ⁴

PHEVs



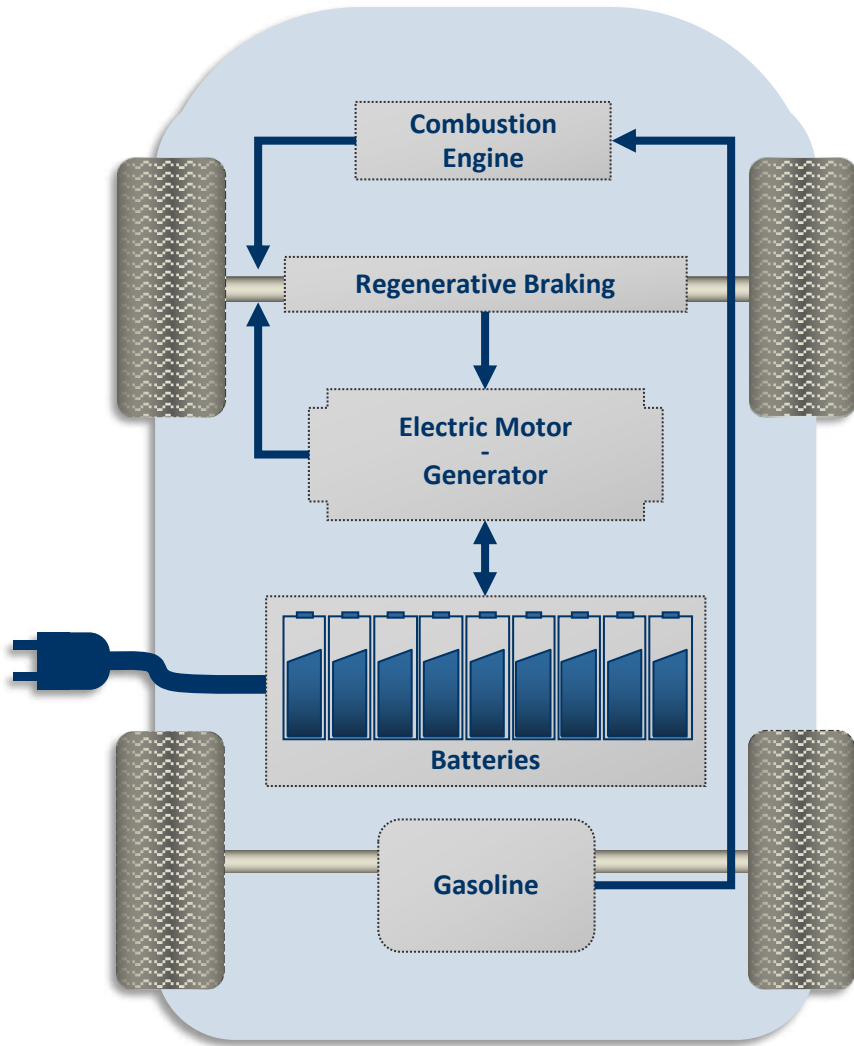
2. Veicoli: Component ⁵

Plug-in Hybrid Electric Vehicle

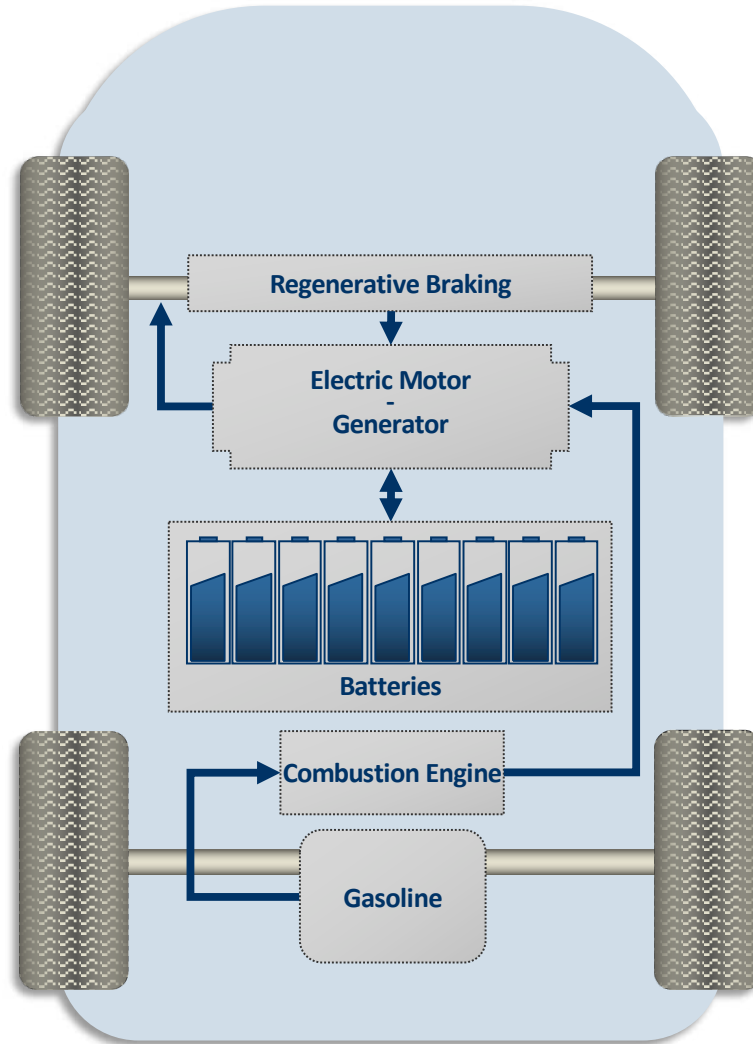
In PHEV vehicles, the Plug-in allows charging of the batteries (even) from the electrical outlet, as in electric vehicles.

Electricity recharge will be:

- Standard charge (home grid 220V 10A or 16A)
- Quick charge (charging stations dedicated 400V, 32A to 63A)



2. Veicoli: Componenti⁶



Extended Range Electric Vehicle

The functions performed by the electrical component in an Extended Range Electric Vehicle (E-REV) are:

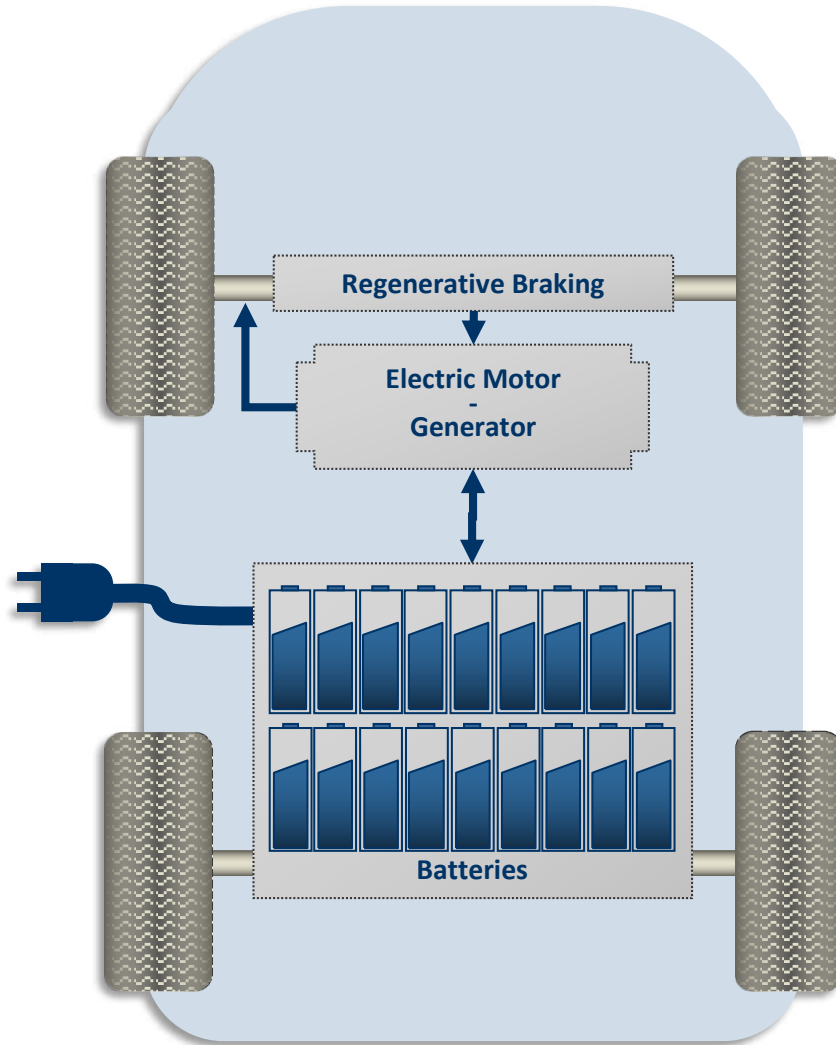
- Providing of current supply for electrical accessories, including conditioning system
- Stop & Start
- Power provision for traction
- Energy recovery during the braking
- Traction in electric-only mode with the function ZEV (Zero Emission Vehicle).
- Recharging of the battery powered by the ICE
- Possibility of plug-in

2. Veicoli: Componenti ⁷

Electric Vehicle

The functions performed by the electrical component in an electric vehicle are all:

- Providing of current supply for electrical accessories, including conditioning system
- Stop & Start
- Power provision for traction in only ZEV (Zero Emission Vehicle)
- Energy recovery during the braking
- Plug-in recharge

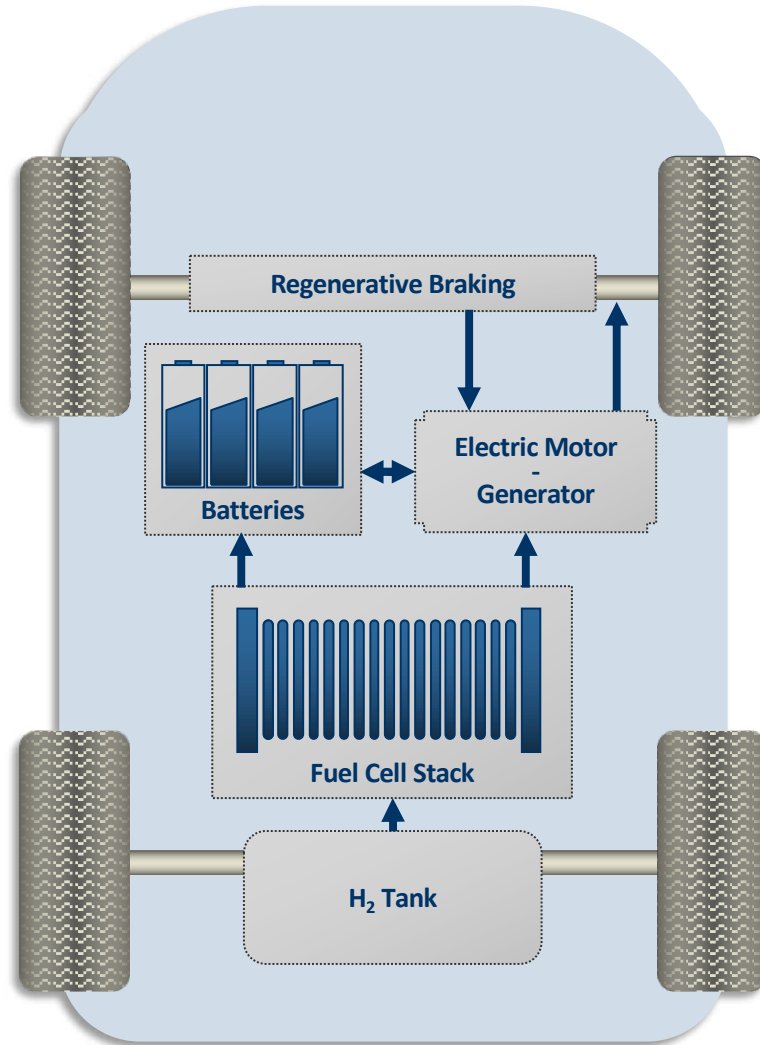


2. Veicoli: Componenti⁸

Fuel Cell Electric Vehicles

The functions performed by the electrical component in a Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV) are all:

- Providing of current supply for electrical accessories, including conditioning system
- Stop&start
- Power provision for traction in only ZEV (Zero Emission Vehicle)
- Energy recovery during the braking
- External electric charge:
 - With hydrogen refueling
 - Possibility of plug-in



TPL e parco veicolare

Inquadramento tecnologico

Parco veicolare

- Autobus ICE-Diesel
- Autobus ICE-CNG
- BEB-Elettrico
- HEB-Diesel
- FCEB-Idrogeno

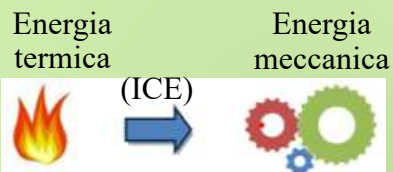
Infrastrutture di ricarica/stazioni di rifornimento

- Norme per la progettazione di:
- Impianti di distribuzione di carburante
 - Infrastrutture di ricarica elettrica
 - Stazioni di idrogeno gassoso
- Infrastrutture di ricarica elettrica

Autobus ICE- Diesel



Motore termico (ICE)



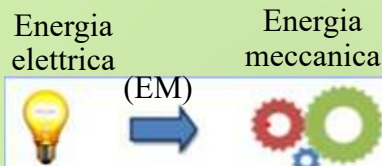
Autobus ICE-CNG



BEB-Elettrico



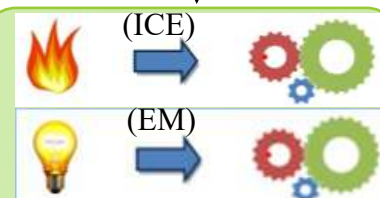
Pacco batterie (BP)
Motore elettrico (EM)



HEB-Diesel-parallelo



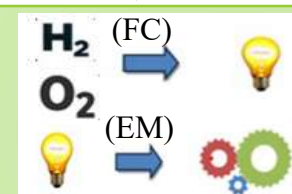
Motore elettrico (EM)
Motore termico (ICE)



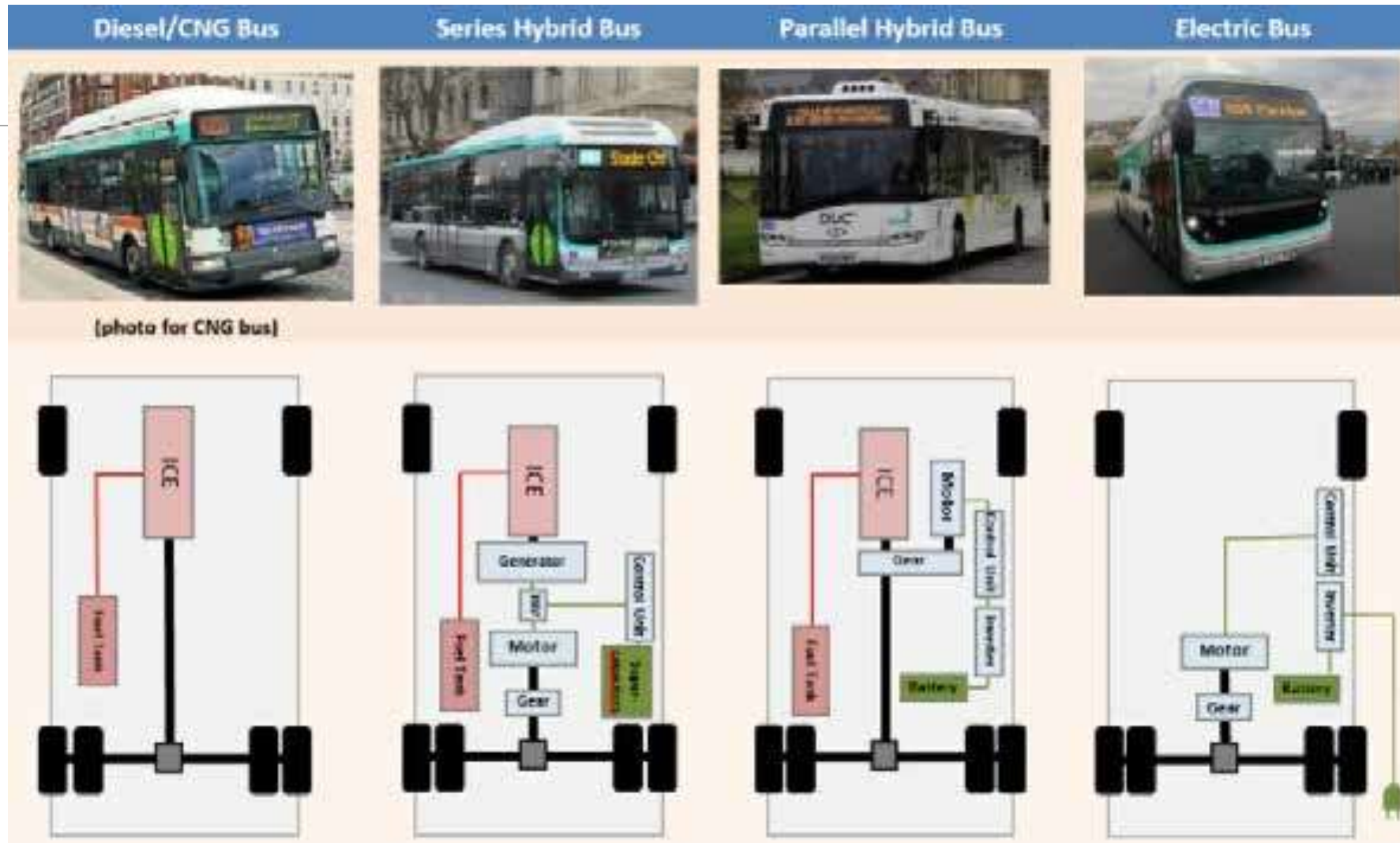
FCEB-Idrogeno

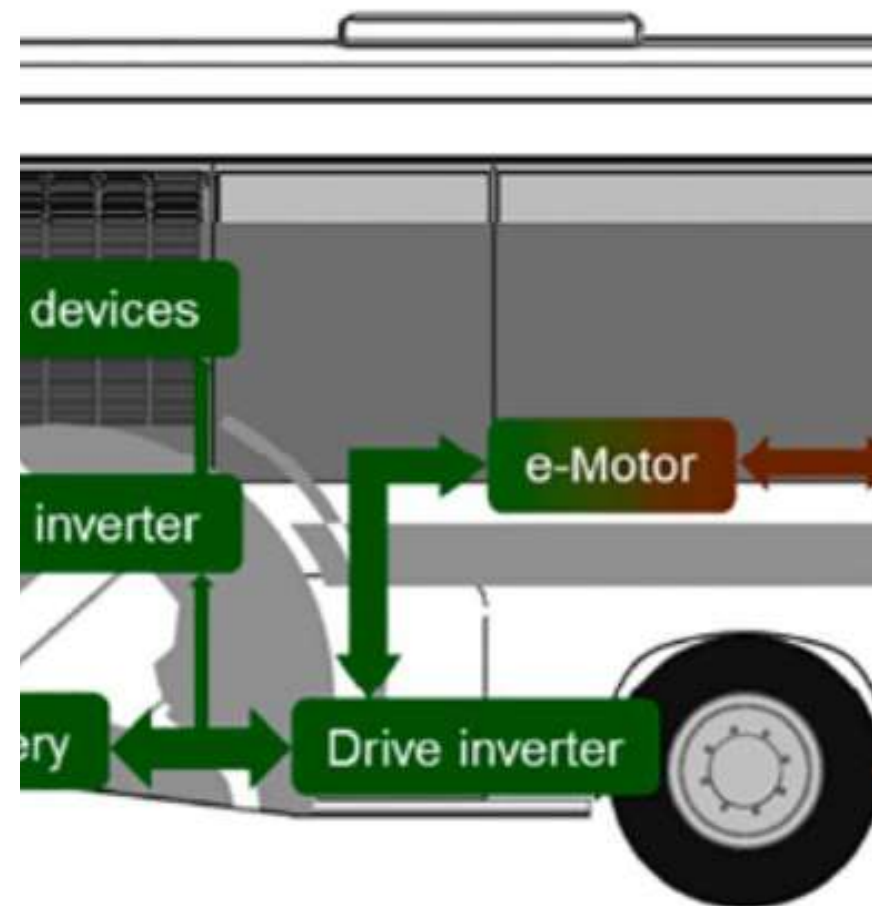
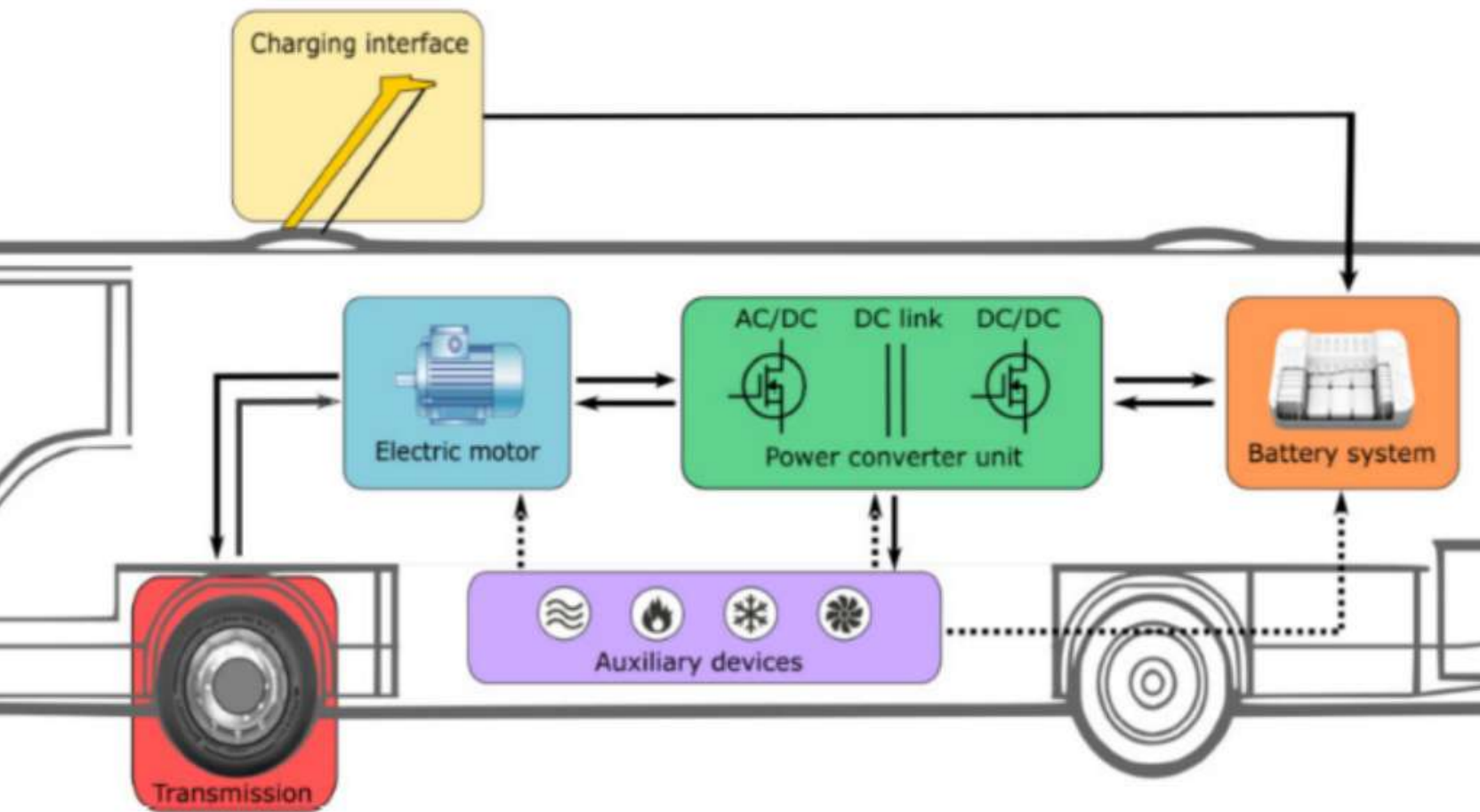


Celle a combustibile (FC)
Motore elettrico (EM)



TPL e parco veicolare

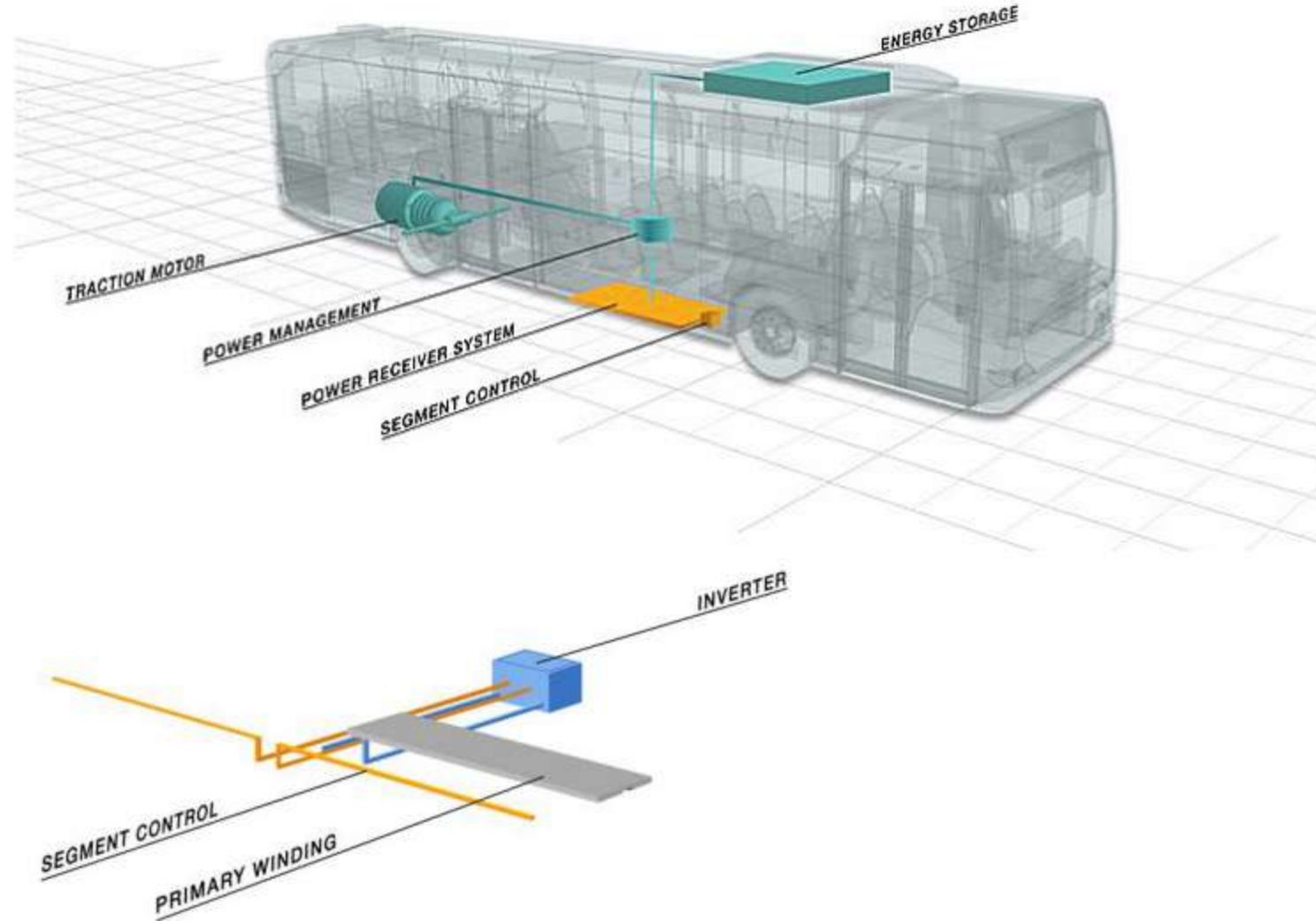




Autobus elettrici

CONFIGURAZIONI

Configurazioni



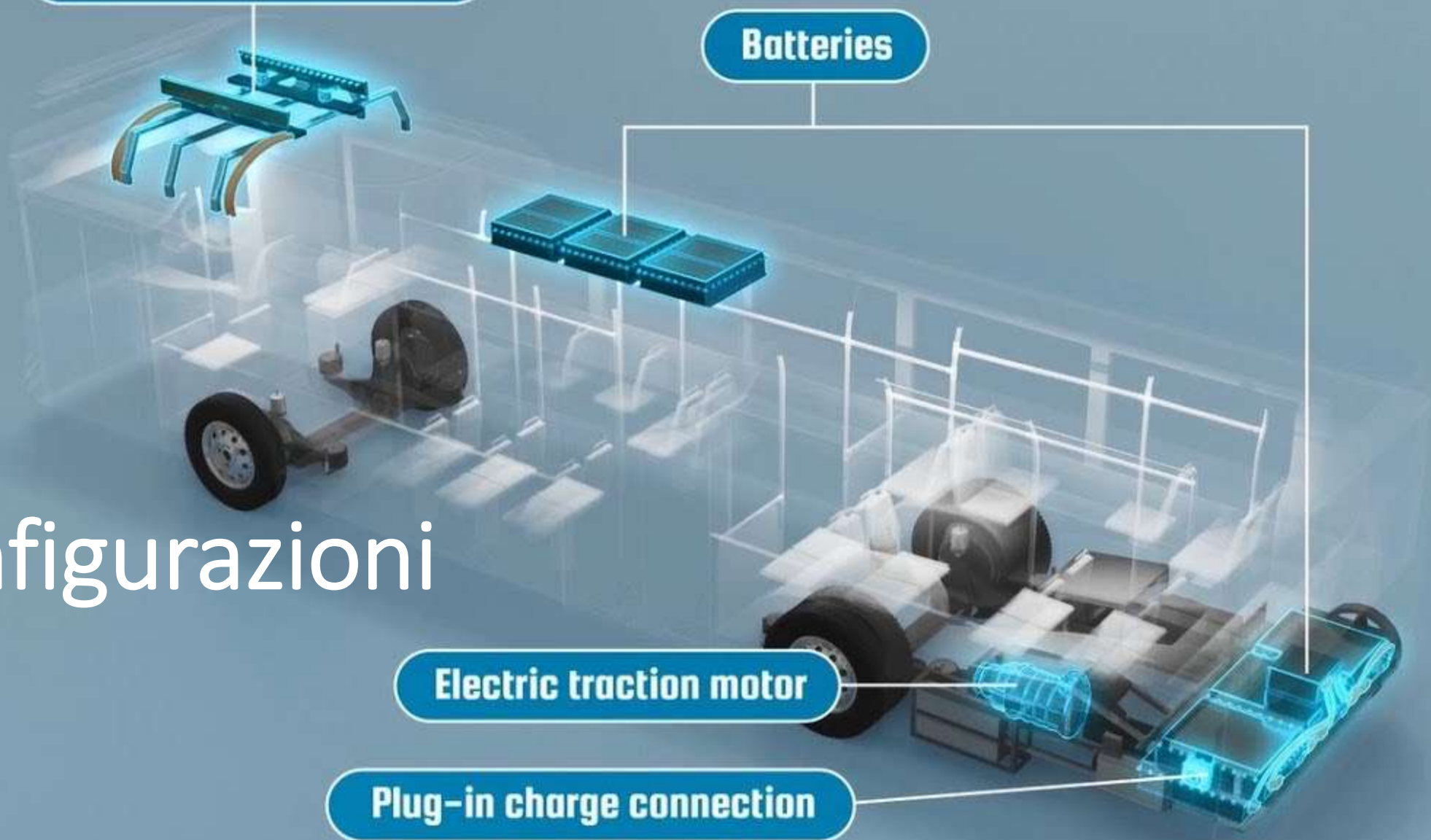
Fast charge connection

Batteries

Configurazioni

Electric traction motor

Plug-in charge connection



TPL POWERTRAINS overview ^{1/2}

Function System	Stop&start	Electric traction	Regenerative braking	Electric driving only	External battery charge
ICEV	Possible	No	No	No	No
Micro HEV	Yes	No	Minimum	No	No
Mild HEV/Medium HEV	Yes	Limited	Yes	Minimum	No
Full HEV	Yes	Yes	Yes	Yes	No
Plug-in HEV (PHEV) – Blended/Parallel	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Extended Range EV (EREV)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Electric Vehicle (EV)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Fuel Cell Electric Vehicles (FCEV)	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes (electric and/or hydrogen refuelling)

TPL POWERTRAINS overview ^{2/2}

Autobus – Alimentazione



Emissioni di carbonio allo scarico, suddivise per combustibile per autovetture Euro V (Fonte: ISPRA – Stime 2016)

E.TPL POWERTRAINS overview

Bus Elettrico

				
Brand	Mercedes	Iveco	Iveco	Volvo
Modello	eCitaro 2 porte	Crealis	e-Way	7900 Electric
Potenza (kW)	2*125	280	250	160
Capacità (kWh)	146/194/243/292 (NMC a 6/8/10/12 elementi)	300	350	150/200/250
Autonomia (km) *	170	200	250	200
Numero di posti	75	61	75	83

* Modalità di ricarica mediante connettore Combo2 o pantografo

Inquadramento tecnologico

INFRASTRUTTURE

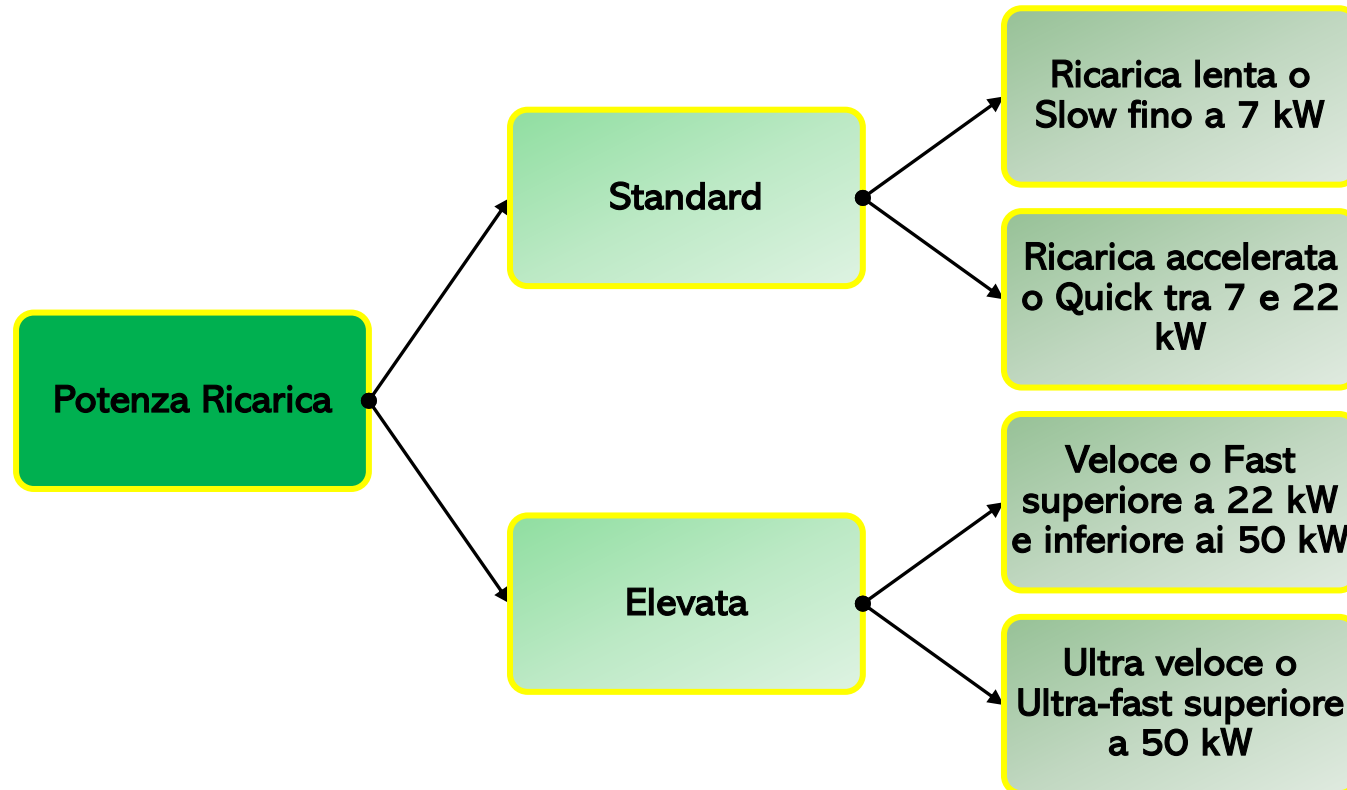
Sistemi di ricarica

In un sistema di trazione elettrica i veicoli possono ricevere l'energia (elettrica)

- **Con sistema di captazione** (Linea di contatto - Pantografo)
- **Senza sistema di captazione** (Sistema alimentazione a bordo – Fuel Cells, Batterie, Motori convenzionali)

Infrastrutture di ricarica overview

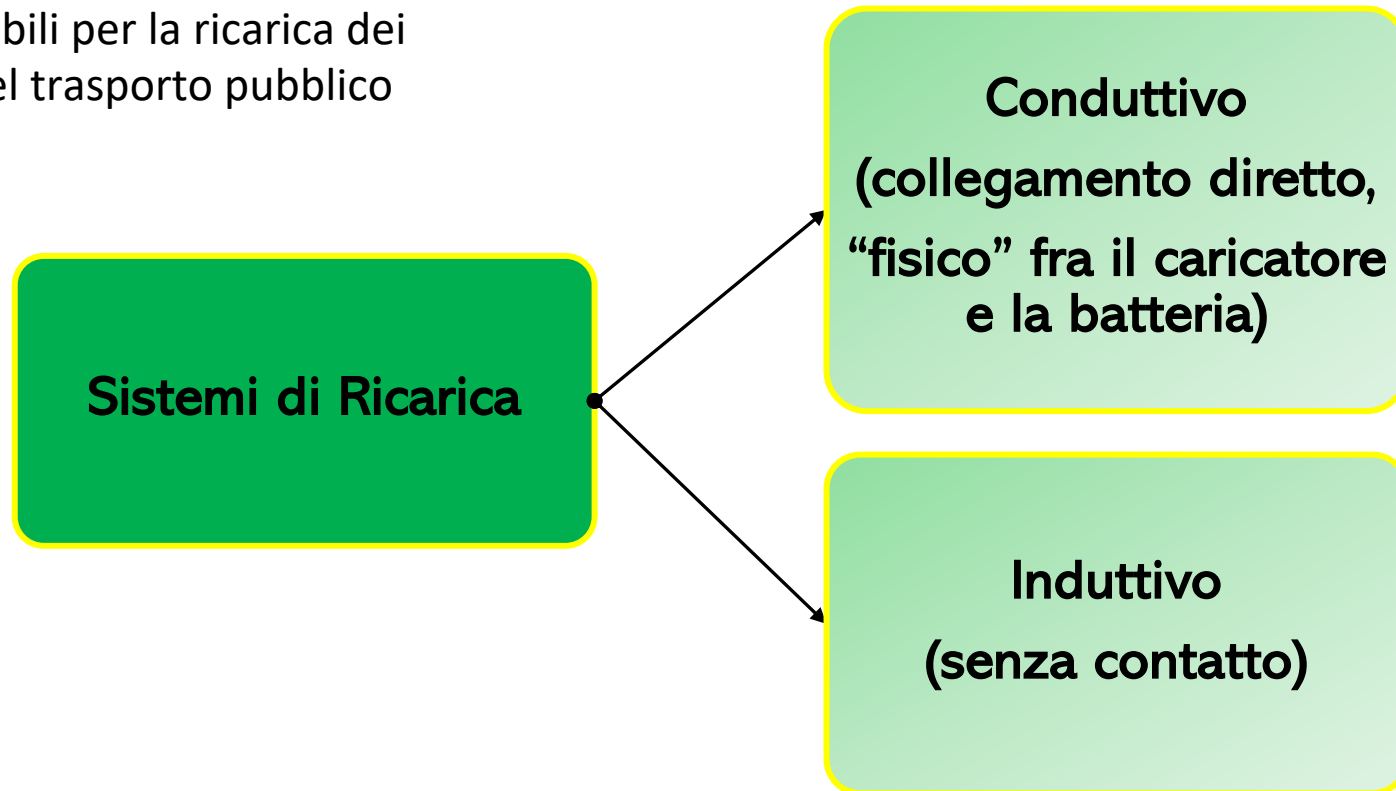
Veicoli elettrici: Sistemi di ricarica



Infrastrutture di ricarica overview

Veicoli elettrici: Sistemi di ricarica

Le soluzioni disponibili per la ricarica dei veicoli innovativi nel trasporto pubblico urbano sono:



Sistemi di ricarica

Inquadramento tecnologico

Parco veicolare

- Autobus ICE-Diesel
- Autobus ICE-CNG
- BEB-Elettrico
- HEB-Diesel
- FCEB-Idrogeno

Infrastrutture di ricarica/stazioni di rifornimento

Norme per la progettazione di:

- Impianti di distribuzione di carburante
 - Infrastrutture di ricarica elettrica
 - Stazioni di idrogeno gassoso
- Infrastrutture di ricarica elettrica

Overnight charging



Ricarica lenta in deposito

Potenza di ricarica: 25-150 kW

Tempo di ricarica: 5-8 ore

Opportunity charging



Ricarica ad alta potenza ai capolinea/fermate

Potenza di ricarica: 150-600 kW

Tempo di ricarica: 5-6 minuti

Flash charging



Ricarica ad alta potenza ai capolinea/fermate

Potenza di ricarica: 150-600 kW (capolinea), 500-600 kW (fermate)

Tempo di ricarica: 5-6 minuti (capolinea), 20-30 minuti (fermate)

Università degli Studi di Salerno
Laboratorio di Ingegneria dei Sistemi di Trasporto e Mobilità Sostenibili

Infrastrutture di ricarica overview

PANTOGRAFO



COSTO
ACQUISTO



TEMPO
RICARICA



IMPATTO
INFRASTRUTTURA

PLUG IN



COSTO
ACQUISTO



TEMPO
RICARICA



IMPATTO
INFRASTRUTTURA

Infrastrutture di ricarica

overview

PRINCIPALI MODALITA' DI RICARICA:



Conduttiva via cavo

- Ridotto costo dell'infrastruttura
- Elevata efficienza nel trasferimento di potenza
- Possibilità di ricarica molto veloce (ma con crescita dei costi)
- Bassa manutenzione richiesta
- Emissioni elettromagnetiche praticamente nulle



- Necessità di intervento umano per la connessione con annessi svantaggi di non avere un processo automatizzato
- Ingombro nell'area di sosta dato dal cavo
- Incompatibilità con i veicoli a guida autonoma



Induttiva (o wireless)



- Ricarica facile e veloce ovunque
- Nessun cavo, nessun ingombro, nessuna attesa



- Costi troppo elevati di infrastruttura
- Troppo peso e spazio occupato sulla vettura
- Difficoltà nel raggiungere potenze di ricarica elevate
- Grandi sprechi di energia durante la ricarica
- Emissioni potenzialmente pericolose di campi elettromagnetici in prossimità del veicolo



Applicazioni: ♦ Per la maggior parte dei sistemi di ricarica in Europa

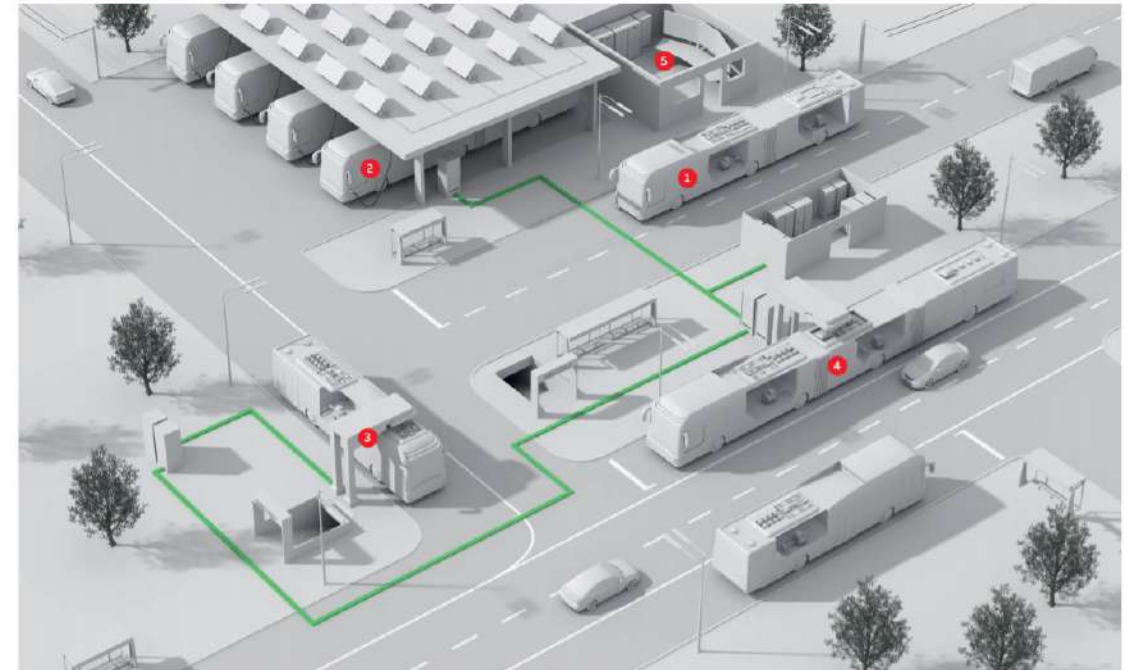
Applicazioni: ♦ Germania
♦ Italia in fase di sviluppo

Infrastrutture di ricarica overview

Sistemi di ricarica di tipo «Conduttivo» per il trasporto pubblico urbano

Le soluzioni disponibili per la ricarica conduttiva ci sono:

- Ricarica in deposito (Depot Charging/Overnight Charging)
- Ricarica con pantografo ai capolinea e/o ad alcune fermate (Opportunity charging)
- Ricarica con pantografo ai capolinea e lungo il percorso (Flash charging)



Università degli Studi di Salerno
Laboratorio di Ingegneria dei Sistemi di Trasporto e Mobilità Sostenibili

Infrastrutture di ricarica

Depot Charging/Overnight Charging

Tipologia di infrastruttura	Descrizione	Vantaggi	Svantaggi
Ricarica in deposito (Depot charging) 	L'autobus viene ricaricato in deposito durante la notte. La ricarica del BEB può avvenire sia mediante cavo solidamente collegato all'infrastruttura di ricarica, dotato di connettore plug-in CCS 2, sia per mezzo di un pantografo solitamente montato sul bus. Potenza IdR tra i 25 kW e i 150 kW. Tempo medio di ricarica tra le 5 e le 8 ore. Il veicolo è equipaggiato con sistemi di accumulo dell'energia elettrica di grandi dimensioni, idonei ad effettuare l'intero servizio programmato. Da 1 a 3 autobus per ogni caricatore, con possibilità di ricarica sequenziale e modulabile. Può essere associato a ricariche occasionali lungo le fermate o presso i capolinea per aumentare la disponibilità del BEB.	Minori costi per unità poiché i caricatori sono tutti concentrati in un'unica location e manutenzione più semplice. Soluzione scalabile per ampi parchi di veicoli. Design flessibile. I bus non sono limitati a seguire un particolare tragitto. I bus possono essere ricaricati durante il tempo di non utilizzo. Usando tariffe di ricarica notturne, non nelle ore di punta, i risparmi sul costo dell'elettricità possono essere significativi.	Ricarica lenta. È richiesto molto spazio al crescere della numerosità della flotta. Richiedono staff per attaccare e staccare i cavi se plug-in. La ricarica di più mezzi in una singola location può creare picchi eccessivi della domanda, quindi sono richiesti sistemi di gestione e ottimizzazione delle ricariche per garantire che gli autobus siano pronti al servizio e per ridurre al minimo i costi dell'elettricità.



150 kW overnight charging system with three depot charge boxes



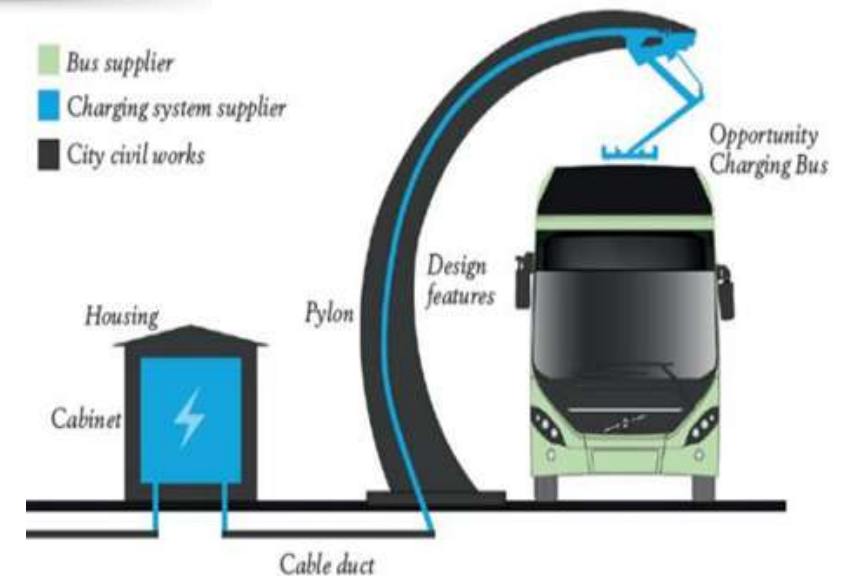
* *Motus-E «Autobus elettrici nel Trasporto pubblico. Un vademecum»*

Fonte: world wide web

Infrastrutture di ricarica

Opportunity Charging

Tipologia di infrastruttura	Descrizione	Vantaggi	Svantaggi
Ricarica con pantografo ai capolinea e/o ad alcune fermate (Opportunity charging) 	L'autobus è ricaricato ai capolinea e/o ad alcune fermate lungo il percorso. Ricarica ad alta potenza con connessione automatica al tetto del veicolo, tramite pantografo. Un caricatore può servire più bus alternativamente. Tempo di ricarica tipico tra i 5 e i 6 minuti, compatibile con i tempi di fermo dei bus al capolinea. Potenza di ricarica tra i 150 e i 600 kW. Solitamente il pacco batterie del bus è contenuto e viene generalmente utilizzata la formula indicata in breve con LTO (Lithium-Titanate-Oxide), in grado di assorbire potenze elevate, al posto di quella NMC, più idonea, quest'ultima, per sistemi di ricarica overnight; Non è necessario dover ricaricare al 100% ma ad ogni passaggio ("ricarica opportunità").	I costi totali dell'infrastruttura possono incidere meno se pochi caricatori sono utilizzati da molti mezzi. Integrabili a linee bus esistenti senza particolari problematiche e con eventuali modifiche sui percorsi dei bus che si rendono necessarie per questioni di disponibilità di potenza; Nessuna connessione manuale richiesta: il procedimento è automatico. Permette una durata del servizio illimitato. Il bus non deve restare spento per essere ricaricato. Gli standard UE e USA stanno puntando su questa modalità. Questa modalità riduce i costi dei sistemi di accumulo all'interno del veicolo, il peso, la grandezza e la complessità tecnologica del bus. Maggior portata di passeggeri dovuta ad un peso delle batterie più contenuto.	Le ricariche ad altissima potenza possono creare picchi della domanda di energia elettrica. Il pantografo deve essere allineato durante la ricarica. Il pantografo e i caricatori distribuiti nel territorio possono incrementare difficoltà di manutenzione.



* *Motus-E «Autobus elettrici nel Trasporto pubblico. Un vademecum»*

Fonte: world wide web

Università degli Studi di Salerno
Laboratorio di Ingegneria dei Sistemi di Trasporto e Mobilità Sostenibili

diciv Dipartimento di
Ingegneria Civile



Infrastrutture di ricarica

Flash Charging

Tipologia di infrastruttura	Descrizione	Vantaggi	Svantaggi
Ricarica con pantografo ai capolinea e lungo il percorso (Flash charging) 	L'autobus è ricaricato ad alcune fermate e ai capolinea. Ricarica ad alta potenza con connessione automatica al tetto del veicolo, tramite pantografo. Un charger può servire più bus che passano sulla linea. Tempo di ricarica tipico tra 5 e 6 minuti ai capolinea e tra 20 e 30 secondi alle fermate attrezzate. Potenza di ricarica tra i 150 e 300 kW ai capolinea e tra 500 e 600 kW alle fermate attrezzate. Solitamente il pacco batterie del bus (composto da batterie di tipo "tradizionale" e da supercapacitori) è molto più contenuto e non è necessario dover ricaricare al 100% ma ad ogni passaggio, specie alle fermate.	I costi totali dell'infrastruttura possono incidere meno se pochi caricatori sono utilizzati da molti mezzi. Facilmente integrabili a linee bus esistenti. Nessuna connessione manuale richiesta ma automatica. Permette una durata del servizio illimitato. Il bus non deve restare spento per essere ricaricato. Gli standard UE e USA stanno puntando su questa modalità. La maggior parte degli OEMs preferiscono questa modalità perché riducono i costi dei sistemi di accumulo all'interno del veicolo, il peso, la grandezza e la complessità tecnologica del bus.	Il pantografo e i caricatori distribuiti nel territorio possono incrementare difficoltà di manutenzione. Le ricariche ad altissima potenza possono creare picchi della domanda di energia elettrica. Il pantografo deve essere allineato durante la ricarica.



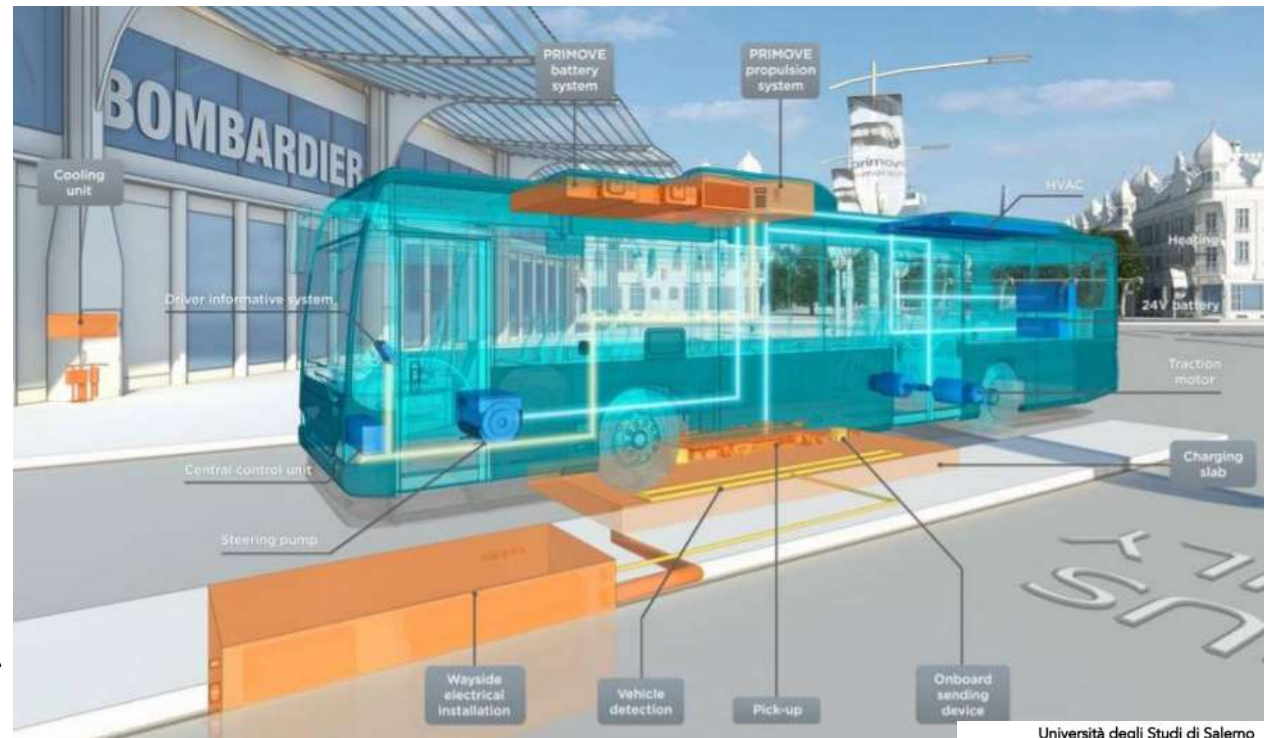
Fonte: world wide web

Infrastrutture di ricarica

Sistemi di ricarica di tipo «Induttivo»

Tipologia di infrastruttura	Descrizione	Vantaggi	Svantaggi
Ricarica induttiva wireless 	Sistema ad alimentazione discontinua nel quale l'energia, fornita da opportune stazioni fisse (punti di ricarica posizionati lungo le fermate e al capolinea), è trasferita al veicolo mediante accoppiamento induttivo (tramite piastre). Un charger serve più bus alternativamente. Potenza di ricarica tra i 50 e i 250 kW.	I costi totali dell'infrastruttura possono incidere meno se pochi caricatori sono utilizzati da molti mezzi. Nessuna connessione manuale o parti mobili: il procedimento è automatico Miglior impatto visivo ed estetico. Permette una durata del servizio illimitato anche in condizioni metereologiche proibitive. Il bus non deve restare spento per essere ricaricato ma lo fa mentre è in servizio.	Costo del capitale e di costruzione più alto per ogni charger. L'efficienza di ricarica può essere differente a seconda di come il bus è allineato. azioni manutentive possono richiedere intervento sul manto stradale. - Soluzione ad oggi poco utilizzata con rarissime applicazioni in Italia.

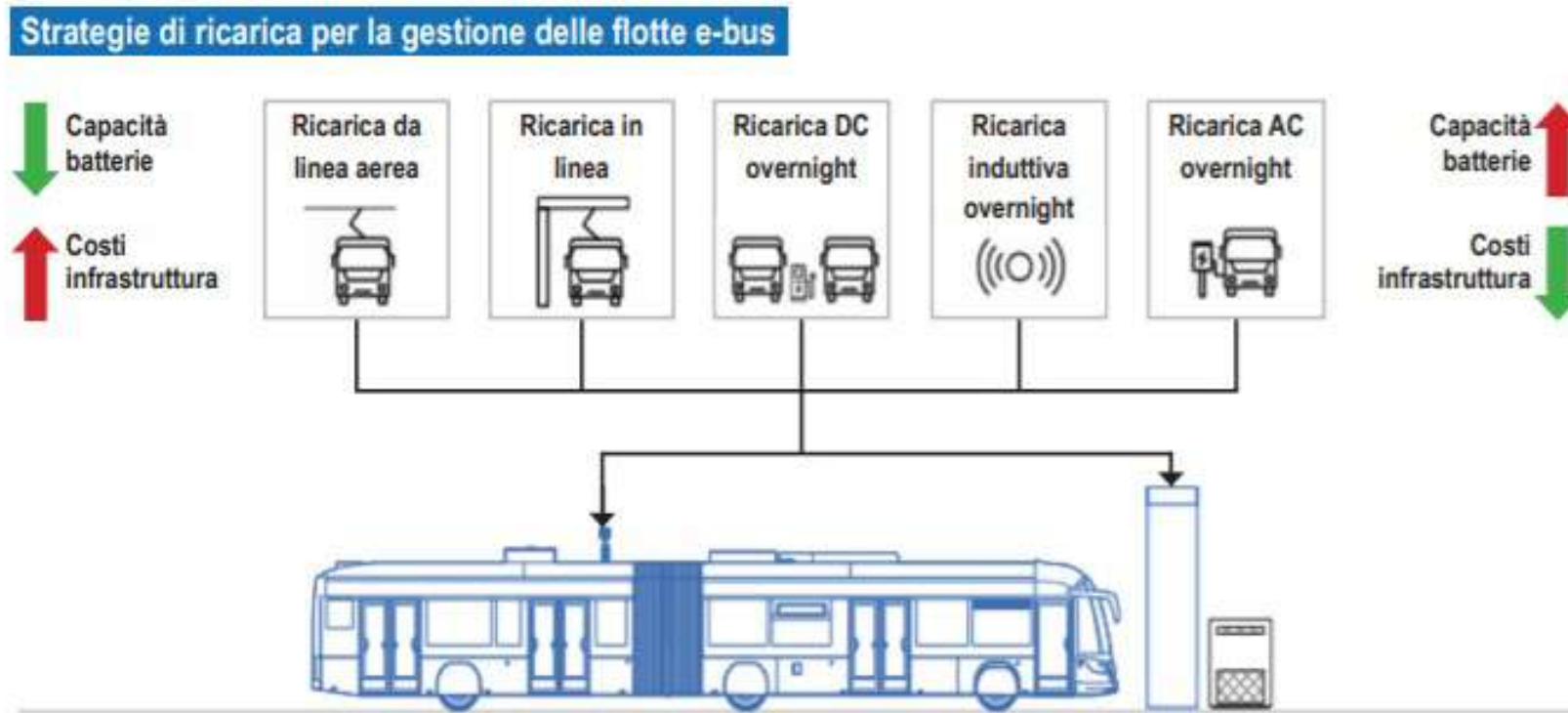
* *Motus-E «Autobus elettrici nel Trasporto pubblico. Un vademecum»*



Università degli Studi di Salerno
Laboratorio di Ingegneria dei Sistemi di Trasporto e Mobilità Sostenibili

Infrastrutture di ricarica

Strategia di ricarica per la gestione delle flotte e-bus

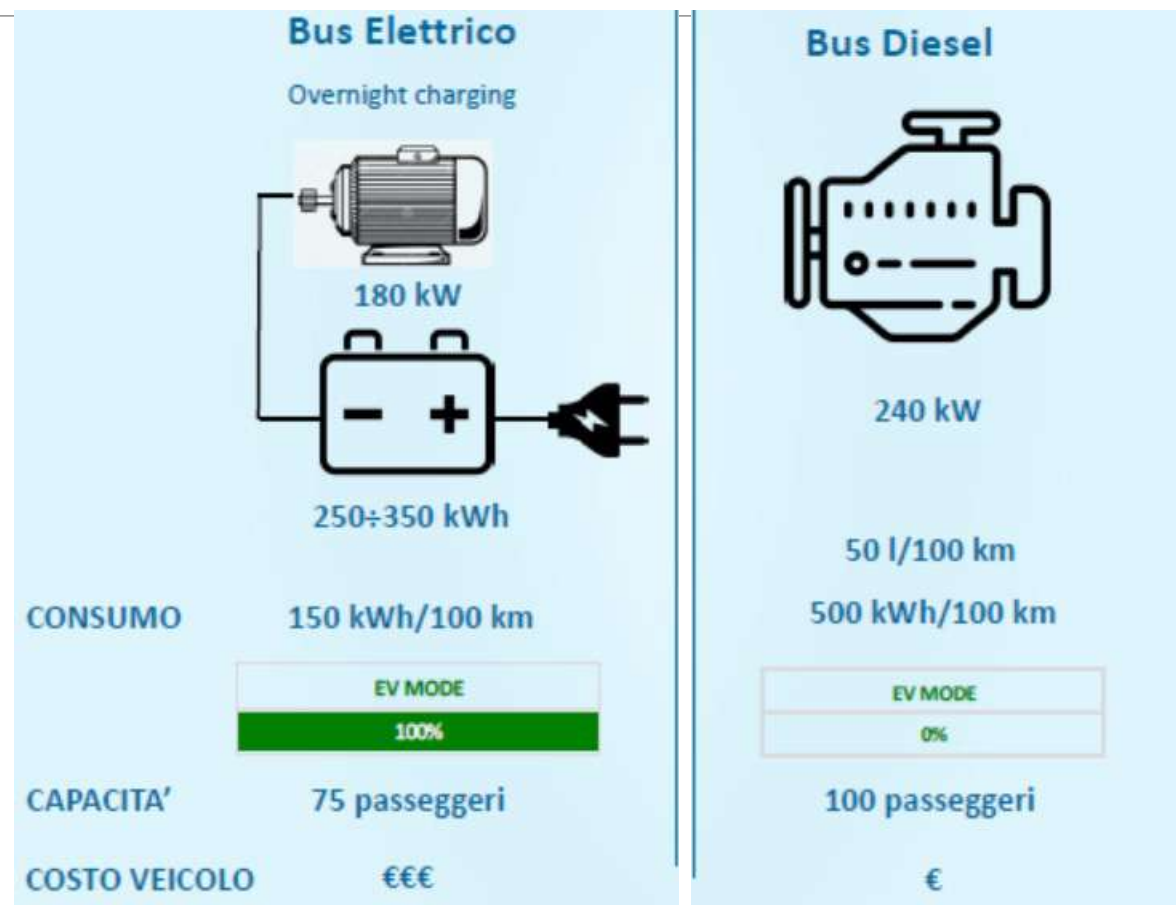


* *Motus-E «Autobus elettrici nel Trasporto pubblico. Un vademecum»*

TPL e elettrificazione

....NON GUARDARE AL SOLO COSTO DI ACQUISTO

Parco veicolare...elettrico o diesel



Parco veicolare...e.... Well-To-Wheels analysis

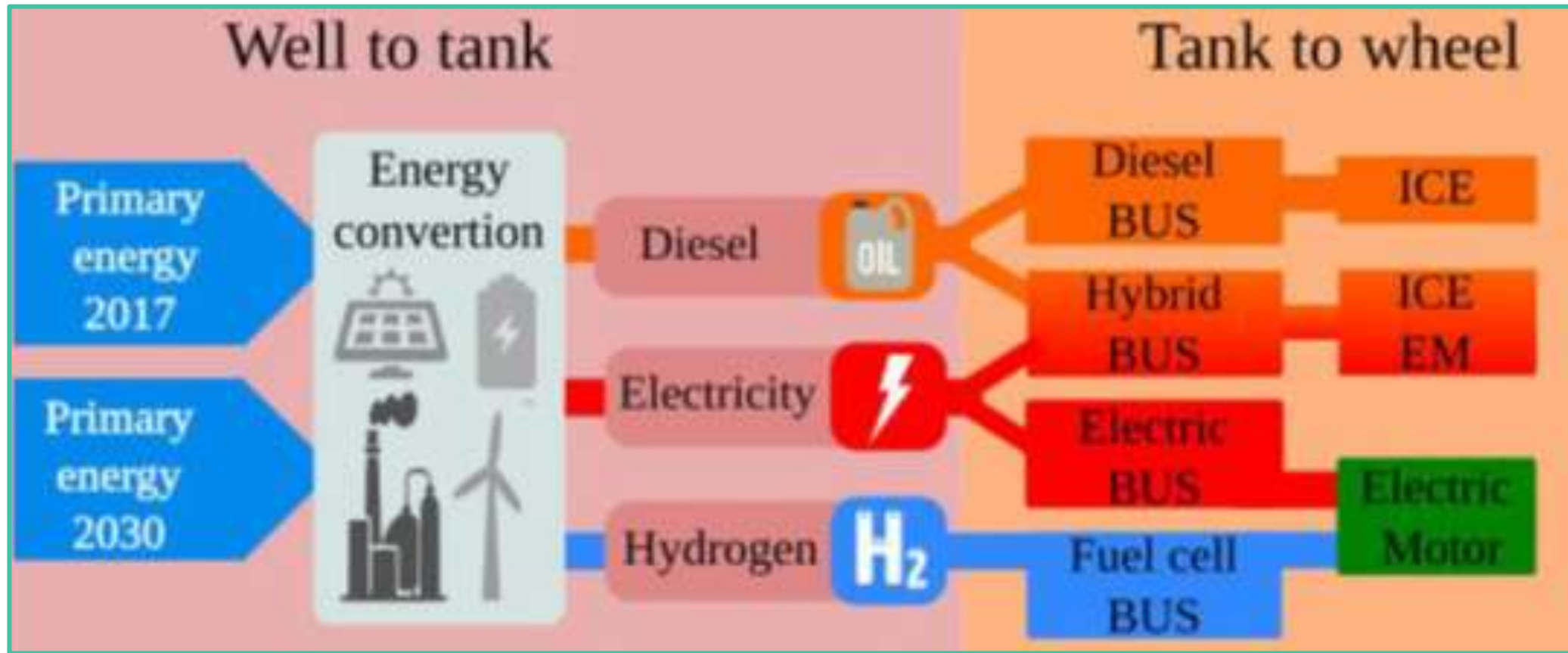
dal pozzo alle ruote..

L'analisi Well-To-Wheel (**WTW**) è l'unione dell'analisi Well-To-Tank (**WTT**) e di quella Tank-To-Wheel (**TTW**)

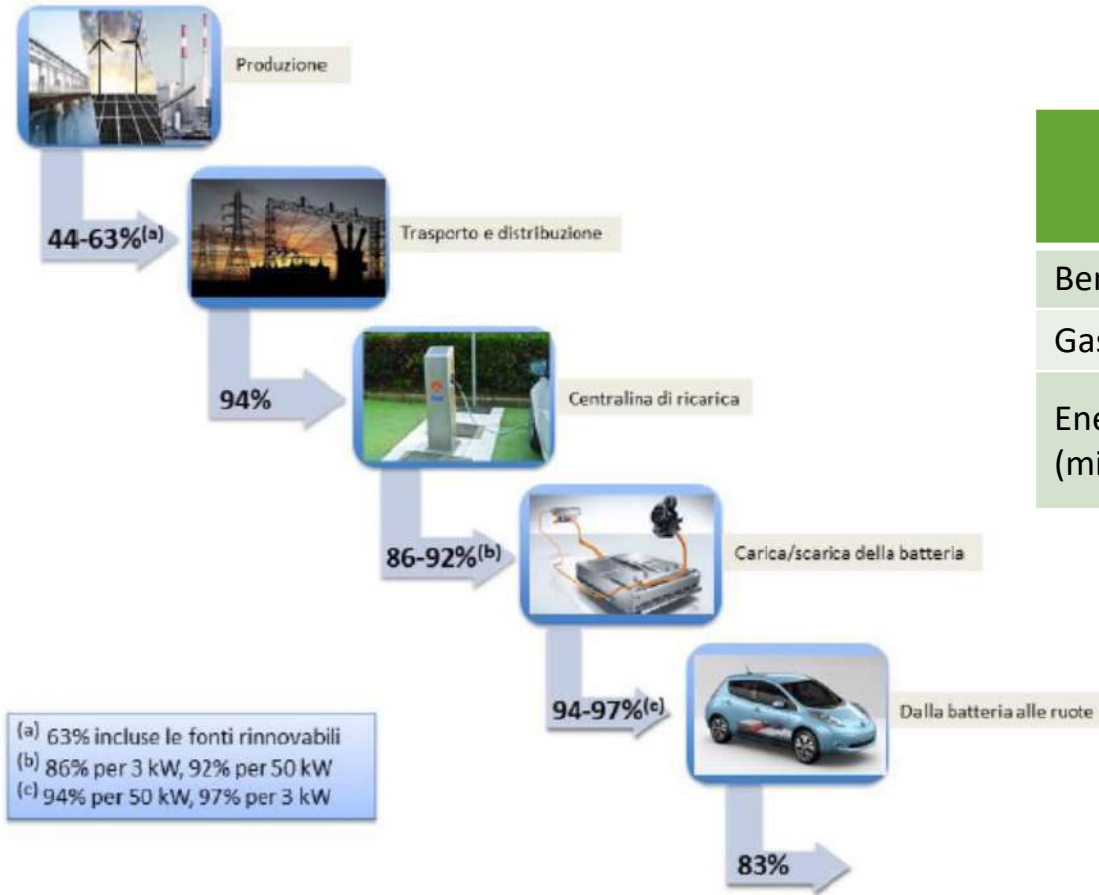
L'analisi Tank-To-Wheel (**TTW**) considera solo **il consumo di energia e le emissioni associate all'utilizzo dei veicoli**, trascurando cioè il consumo di energia e le emissioni associate alla **produzione di carburante**, solitamente prese in considerazione dalla cosiddetta analisi Well-To-Tank (**WTT**)

Dal punto di vista Tank-To-Wheel (TTW), i **veicoli elettrici** sono unanimemente riconosciuti come una **tecnologia chiave per ottenere emissioni locali prossime allo zero** rispetto ai veicoli convenzionali, con maggiori emissioni di particolato (PM), o veicoli ibridi

Parco veicolare...e.... Well-To-Wheels analysis *dal pozzo alle ruote..*



Parco veicolare...e.... Well-To-Wheels analysis *dal pozzo alle ruote..*



	TTW Tank To Wheel	WTT Well To Tank	WTW Well to Wheel
Benzina	18%	86%	15%
Gasolio	22%	85%	18%
Energia Elettrica (mix 2015)	83%	47%	39%

Parco veicolare...e.... Well-To-Wheels analysis

dal pozzo alle ruote...

RENDIMENTO	ELETTRICO		DIESEL	
WELL TO TANK 	Estrazione NG	91%	Estrazione, trasporto e raffinazione gasolio	84%
	Trasporto NG	95%		
	Produzione energia elettrica in centrale TG-CC	55%		
	Perdite di rete	93%		
	Ricarica batterie	90%		
	TOTALE	39,8%		84,0%
TANK TO WHEELS 	Motore e trasmissione	92%	Motore	30%
	Inverter	95%	Trasmissione	98%
	Batteria e conversioni AC/DC	95%	Attesa a motore acceso	90%
	TOTALE	83,0%		26,5%
WELL TO WHEELS	33,0%		22,2%	
EMISSIONI CO2 BUS 12 m (kg/km)	0,5		1,32	

Autobus
Alimentazione
Convenzionale vs.
Elettrica

Fonte - L'innovazione per i sistemi di mobilità elettrica - Esperienze di ATM. A. Zorzan, 2017

Considerazioni

E.TPL overview

- I modelli di bus elettrici che vanno
- dai 5 ai 18 m (fino anche a 24 m), le dimensioni più sono quelle relative ai 12 e 18 m.
- Per un 12 m solitamente si ritengono sufficienti i circa 190-230 km di autonomia con una sola ricarica e con l'aria condizionata o riscaldamento.

Le batterie dei bus elettrici hanno una capacità generalmente compresa nell'intervallo 240-320 kWh e possono essere di 2 tipi

- Nickel- Manganese-Cobalto (in breve NMC)
- Litio-Ferro-Fosfato (in breve LFP).

Costo BEB è pari a circa 500 k€, rispetto ad un bus diesel (210 k€) o a metano (250 k€),

E.TPL overview

I BEB a lungo o esteso raggio

I BEB a lungo o esteso raggio hanno pacchi batteria più grandi per massimizzare l'autonomia tra le ricariche e possono utilizzare batterie che favoriscono ricariche a bassa potenza.

- Generalmente ricaricati una o due volte al giorno.
- La ricarica completa di una batteria può richiedere fino a 8 ore o più
- Capacità della batteria: 250-660 kWh
- Autonomia in servizio: >150 km con una singola carica
- IdR richiesta: 50-150 kW (generalmente caricati durante la notte o a metà giornata).

I BEB a ricarica rapida

I BEB a ricarica rapida hanno pacchi batteria più piccoli in grado di ricaricare frequentemente e ad alta potenza

Si ricaricano durante il percorso più volte al giorno, e, se l'infrastruttura di ricarica è capillare ed efficace, potrebbero anche funzionare a tempo indeterminato, senza doversi fermare per una ricarica completa.

- Capacità della batteria: 50-250 kWh
- Autonomia in servizio: autonomia indefinita se l'IdR è ben progettata
- IdR richiesta: 150-600 KW (pantografo o caricabatterie wireless durante il percorso)

E.TPL overview

La scelta del sistema di ricarica dipende da diversi fattori:

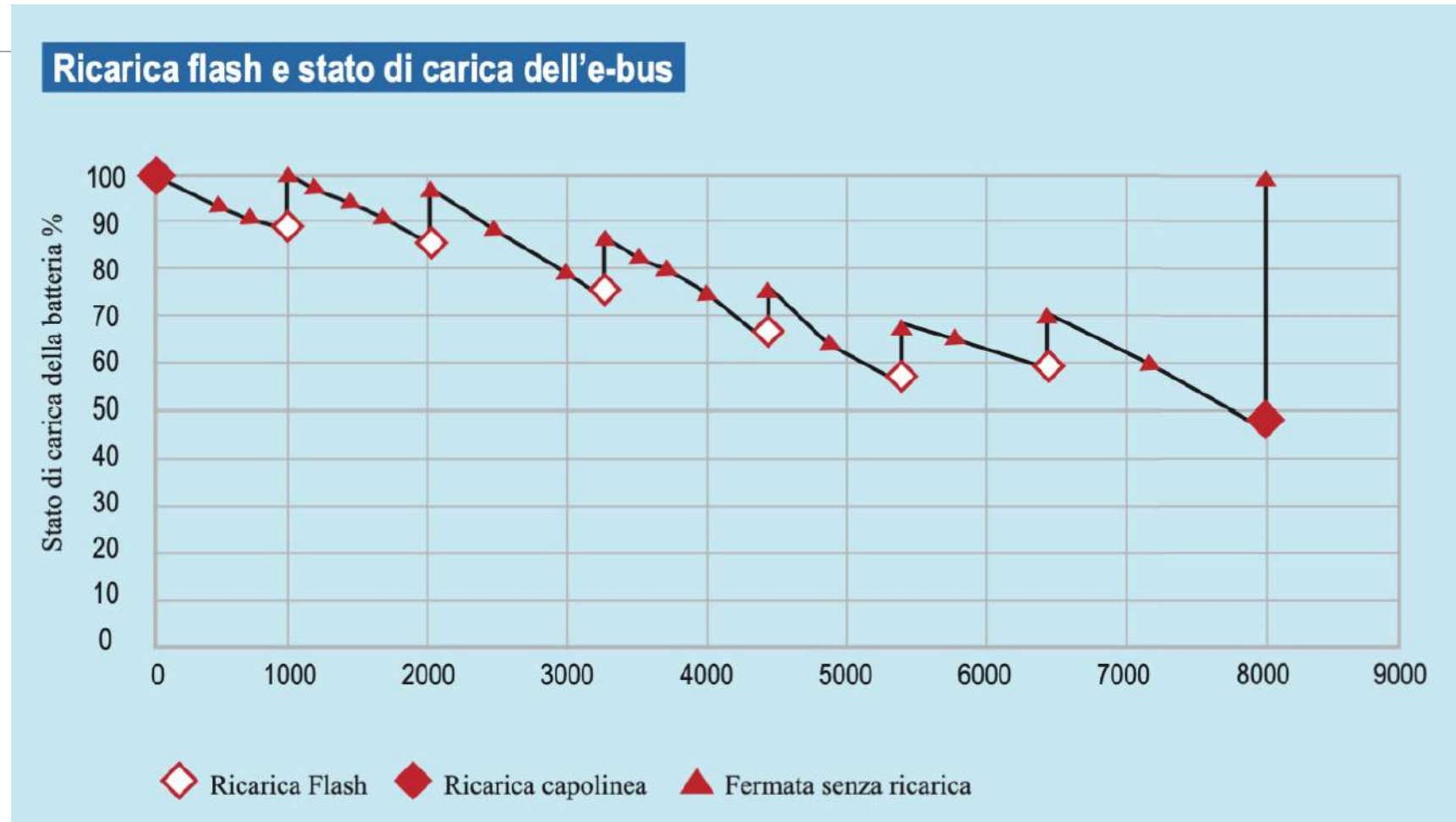
....ma anche dalla «rete» di ricarica

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

..... SMART CHARGING.

E.TPL overview

La progettazione della strategia di ricarica è «problema» complesso che unisce interessi e obiettivi contrastanti



* *Motus-E «Autobus elettrici nel Trasporto pubblico. Un vademecum»*

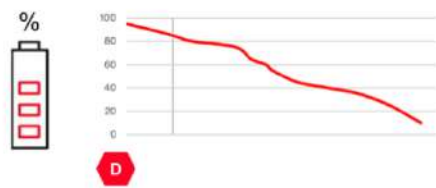
Università degli Studi di Salerno
Laboratorio di Ingegneria dei Sistemi di Trasporto e Mobilità Sostenibili

E.TPL overview

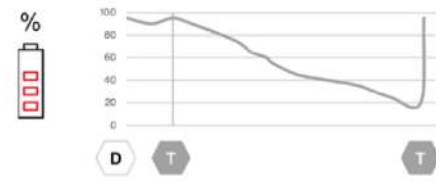
La progettazione della strategia di ricarica è «problema» complesso che unisce interessi e obiettivi contrastanti

D deposito **T** capolinea **S** fermate

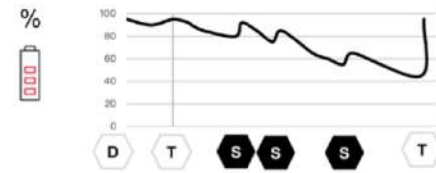
Ricarica overnight a deposito



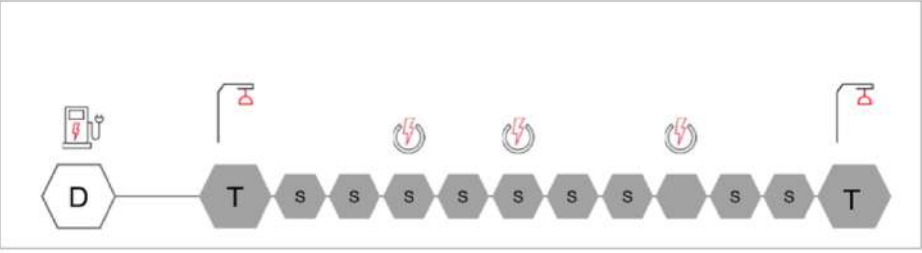
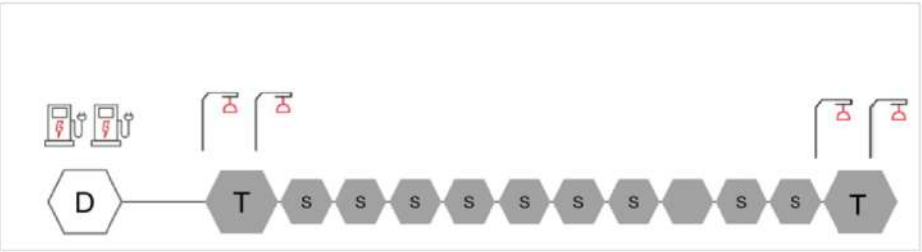
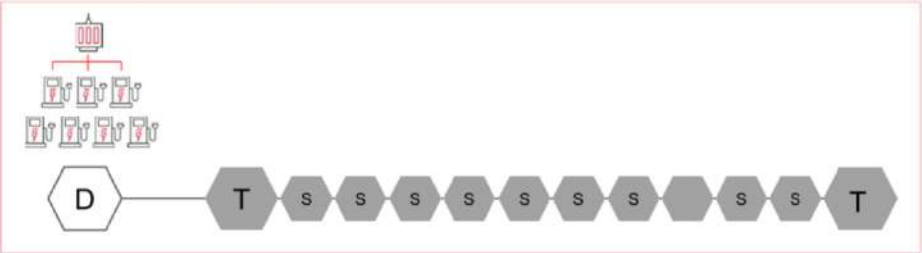
Ricarica opportunity ai capolinea



Flash-charging ad alcune fermate



Overnight 50kW-150kW (plug) **Opportunity e Flash-charging** 150kW-600kW (pantografo)



- Ingombri significativi
- Connessioni HV o MV
- Batterie grandi e pesanti
- Tempi lunghi di ricarica
- Solitamente per piccoli e-bus
- Solitamente con plug
- Interoperabile con tutti gli OEMs
- Ingombri ai capolinea
- Tipicamente bus da 12 o 18m
- Disponibile con PantoUp
- Disponibile con PantoDown (OppCharge)
- Interoperabile con pochi OEMs
- Ricarica parziale ritardata di 30s
- Infrastruttura leggera e diffusa
- Batterie piccole e leggere
- Ricarica completa immediata
- Per linee ad elevato livello di servizio
- Miglior scelta per il TRM (assi di forza)

Fonte: Hitachi ABB Power Grids

E.TPL overview

e le batterie?

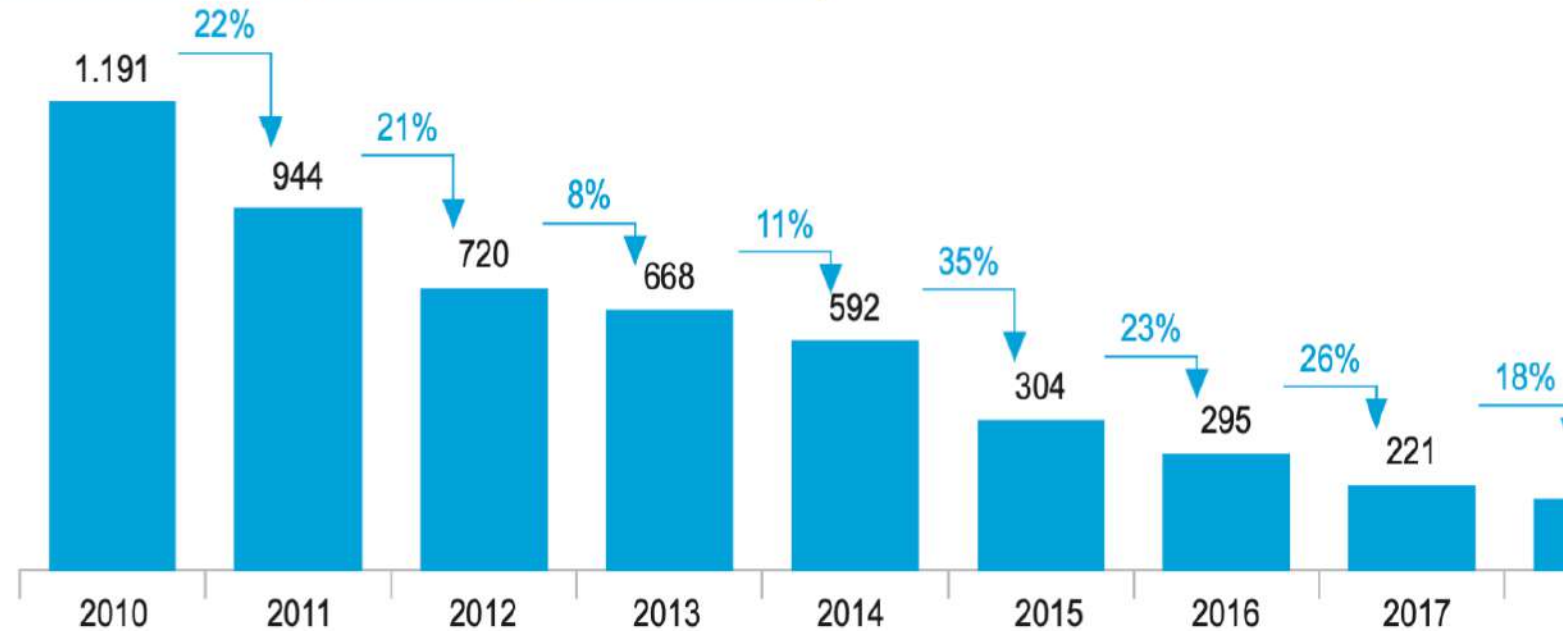
...questione di tecnologia

- Litio-Ferro-Fosfato (LFP) → ciclo vita elevato / bassa densità
- Litio-Nickel-Cobalto (NCA) → ciclo vita più breve / maggiore densità
- Nickel-Manganese-Cobalto (NMC) → «compromesso»

...questione di vita utile (7 anni)

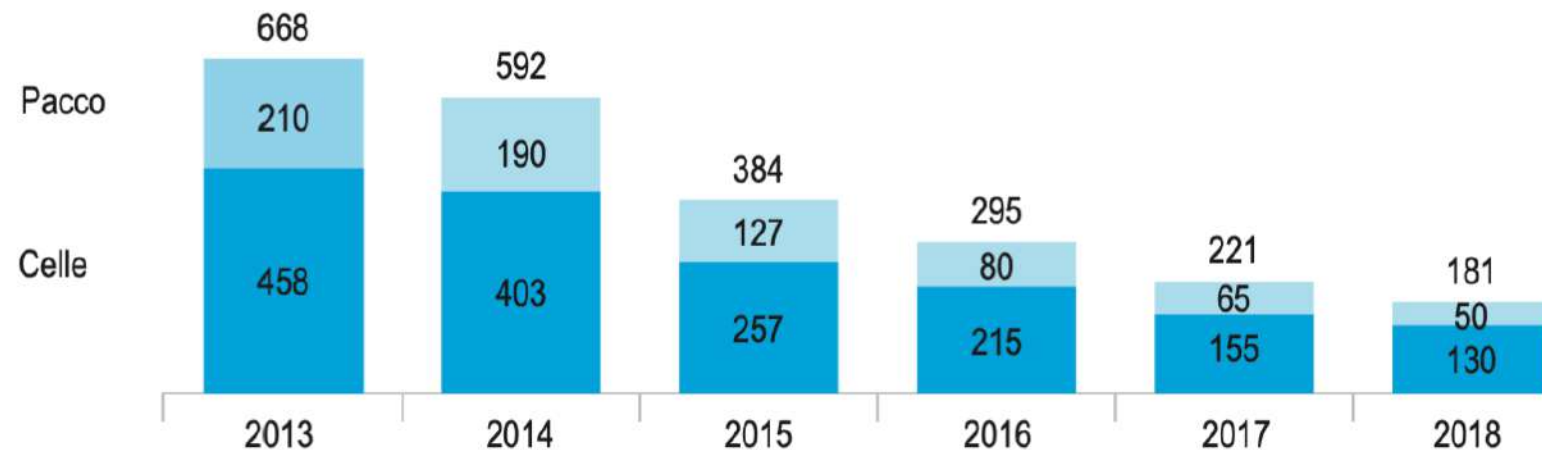
Evoluzione pacco batterie

L'evoluzione del prezzo dei pacchi batteria



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

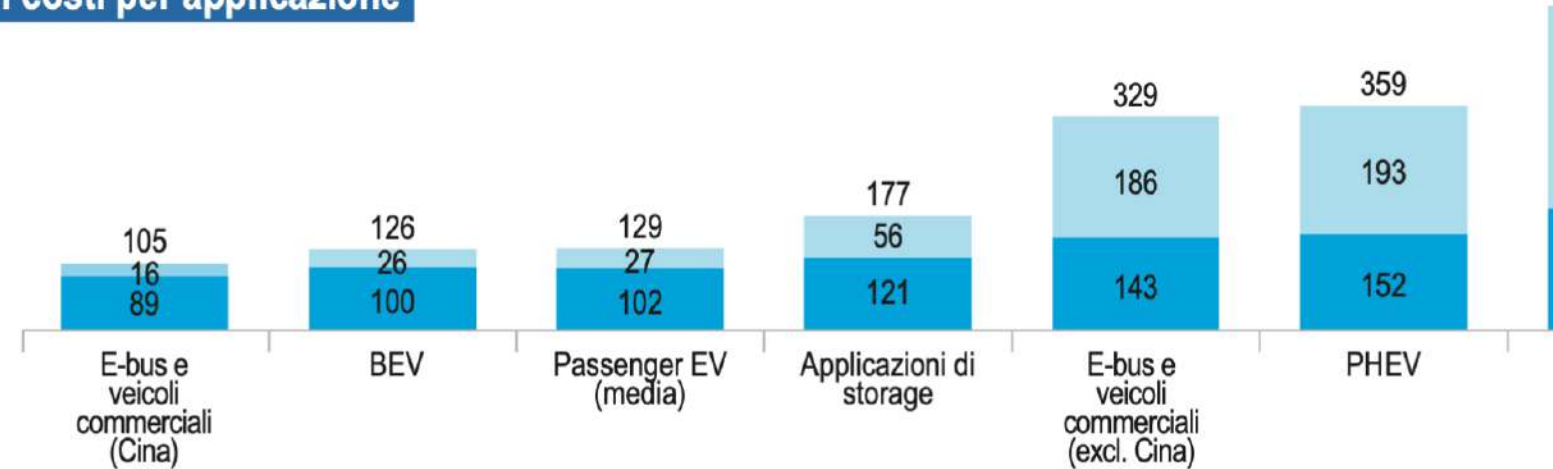
Il costo del pacco e quello delle celle



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

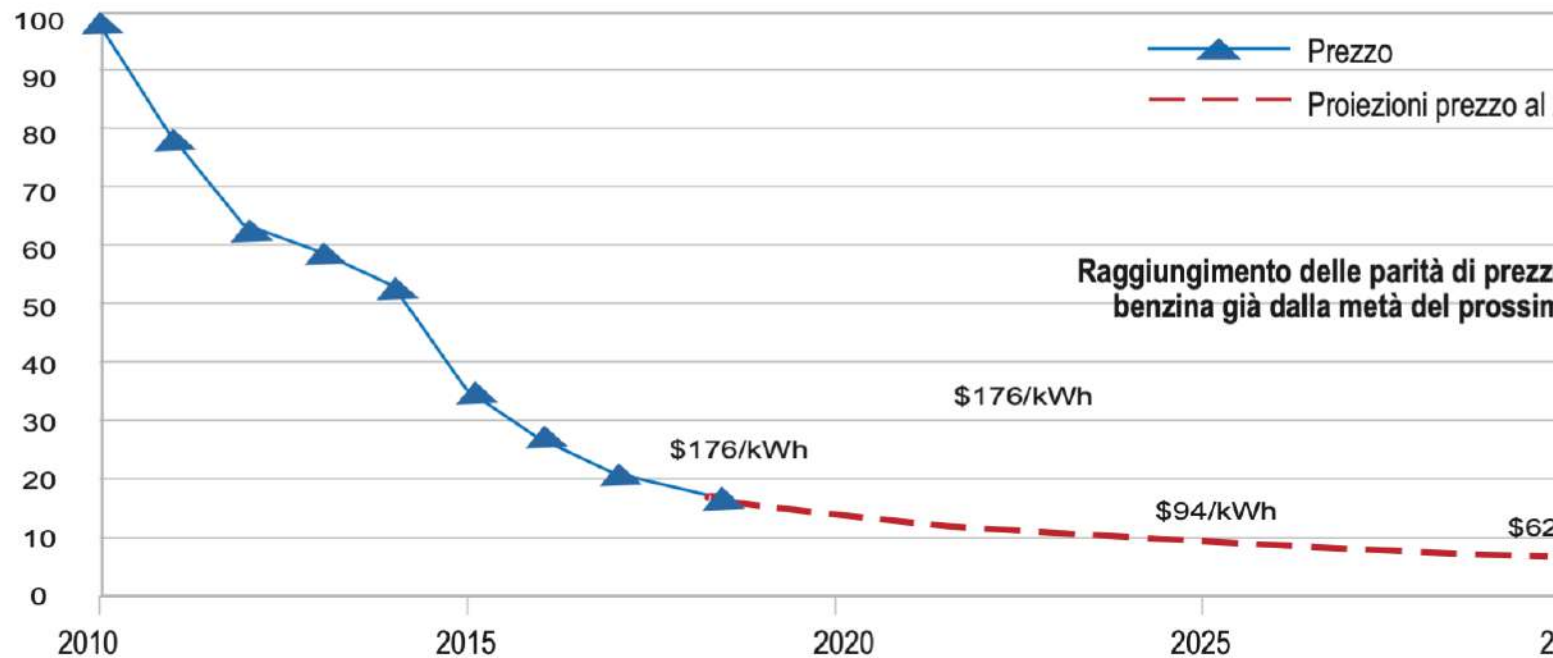
Costi ed evoluzione

I costi per applicazione



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

L'evoluzione del prezzo dei pacchi batteria



Fonte: Bloomberg New Energy Finance

E.TPL overview

Il Total Cost of Ownership dei bus elettrici, per via della ridotta manutenzione necessaria e del più basso costo dell'elettricità rispetto al gasolio, è inferiore a quello dei bus diesel. Tuttavia, i BEB richiedono una nuova infrastruttura di ricarica

Un sistema di ricarica efficiente riduce i costi di esercizio di un bus elettrico. Inoltre le infrastrutture, una volta installate, hanno costi di manutenzione notevolmente inferiori e una vita operativa più lunga rispetto agli autobus

E.TPL overview

Vantaggi e svantaggi?

- inquinamento atmosferico se.....
- inquinamento acustico se.....
- costi di manutenzione più bassi
- costi di «carburante» più bassi
- total cost più bassi
- opportunità BUS-to-GRID
- Second-life delle batterie

Progettazione di una rete TPL elettrica

step 1. Definizione obiettivi e target da raggiungere

step 2. Caratterizzare tipologia di servizi da offrire all'utenza

- Partire da servizi storici, caratterizzazione plano-altimetrica, preliminare classificazione delle direttrici per tipologia di possibile alimentazione (anche più di una) e tipologia di possibili sistemi di ricarica
- ..oppure definire direttrici con relativa caratterizzazione plano altimetrica, definizione frequenze/orari

step 3. Analisi e caratterizzazione della «rete elettrica» e zonizzazione della «potenza erogabile»

step 4. Progettazione delle tipologie e posizionamento delle tecnologie dei mezzi e delle infrastrutture di ricarica coerenti con il servizio da offrire (percorrenze, frequenze e flussi domanda)

step 5. Stima dei costi e Scelta del modello di finanziamento, verifica di sostenibilità finanziaria (7/10 anni)

step 6. Definizione delle strategie di esercizio e di ricarica

step 7. Acquisto dell'infrastruttura di ricarica e acquisto dei mezzi

step 6.

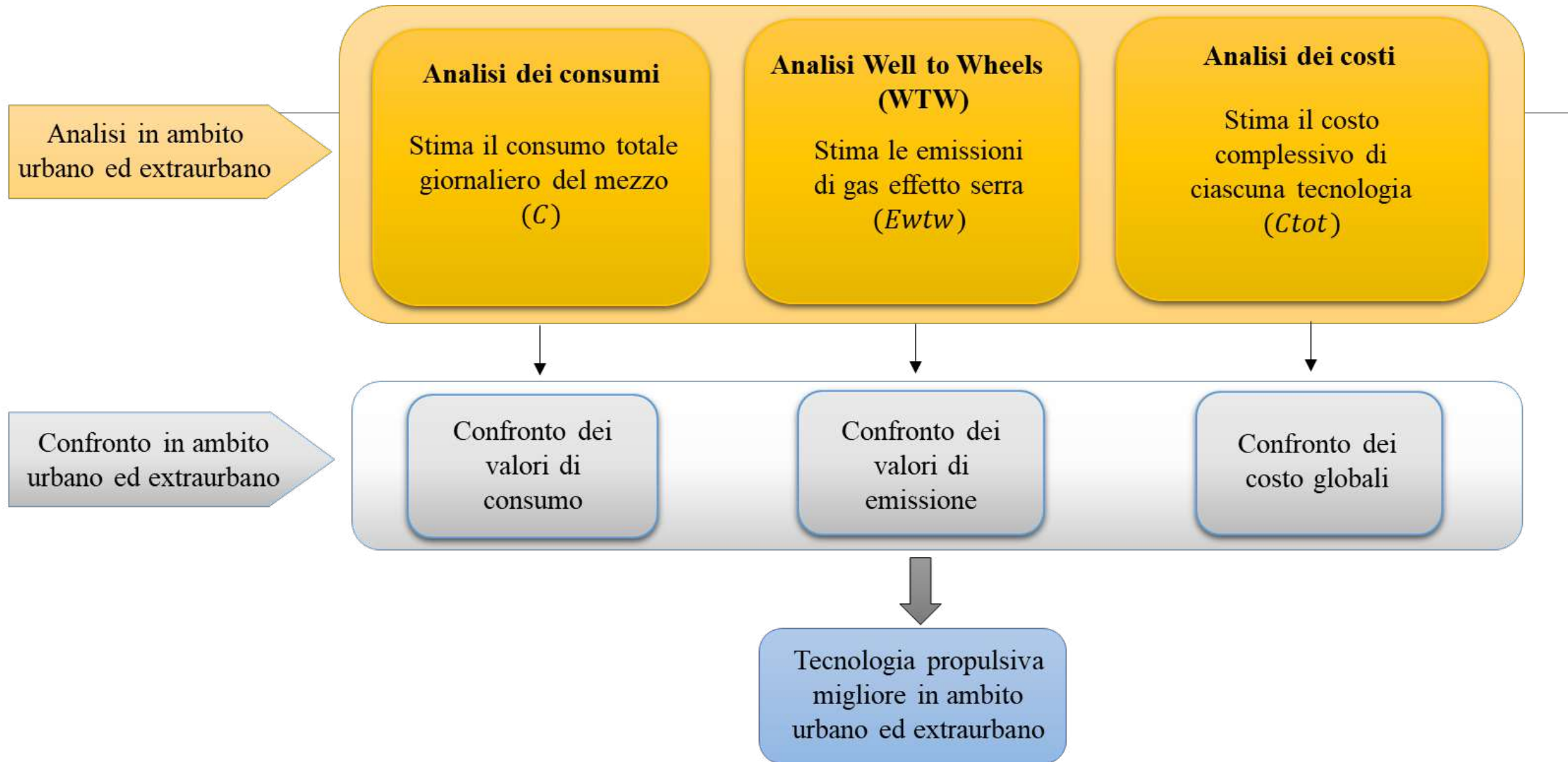
Formazione autisti, personale deposito e adibiti alla gestione della nuova rete di servizi

step 7. esercizio

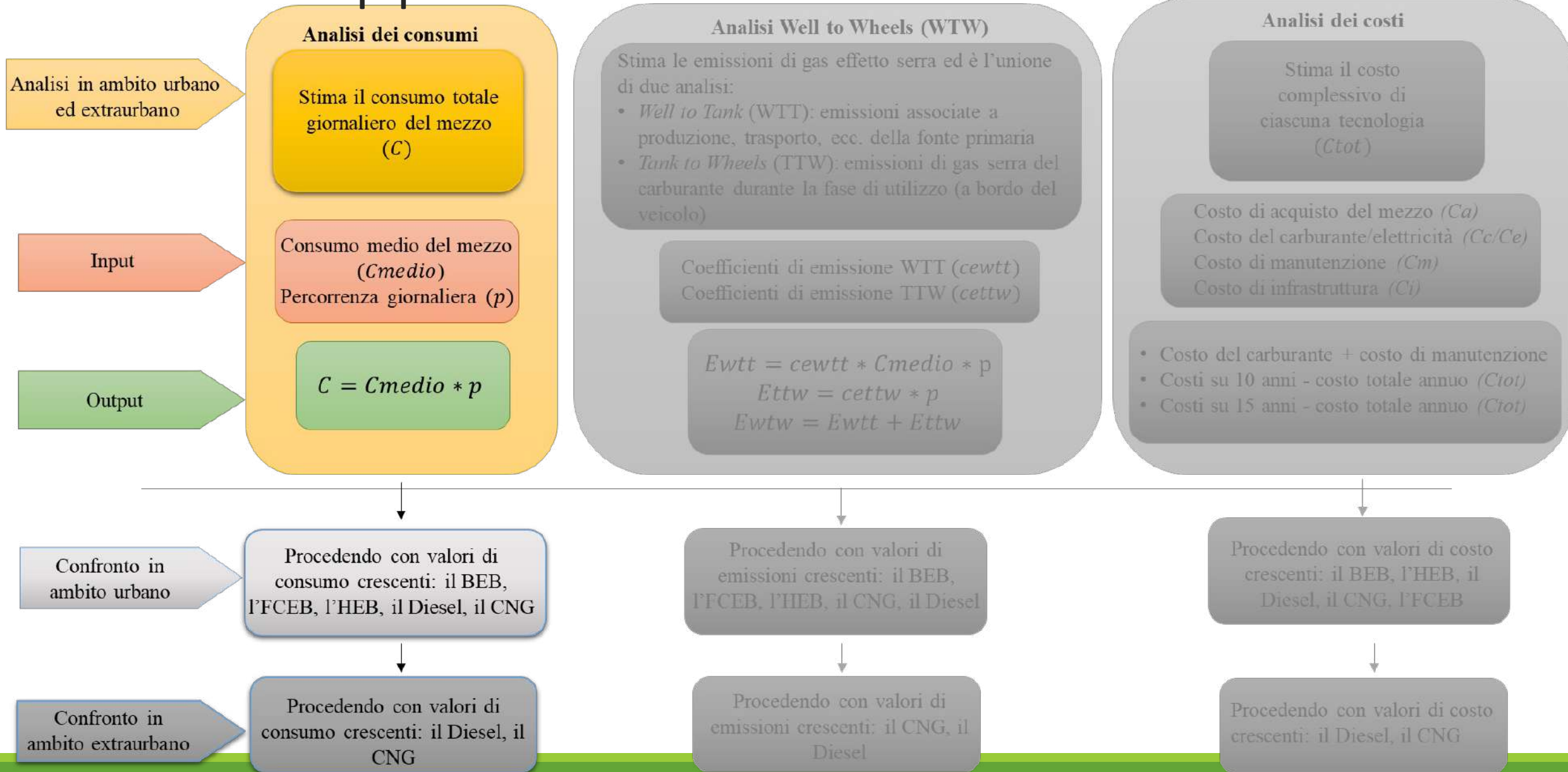
Molti stakeholders
da coinvolgere

Analisi a supporto

Analisi a supporto



Analisi a supporto



Analisi a supporto

Analisi in ambito urbano ed extraurbano

Input

Output

Analisi dei consumi

Stima il consumo totale giornaliero del mezzo (C)

Consumo medio del mezzo (C_{medio})
Percorrenza giornaliera (p)

$C = C_{medio} * p$

Analisi Well to Wheels (WTW)

Stima le emissioni di gas effetto serra ed è l'unione di due analisi:

- *Well to Tank* (WTT): emissioni associate a produzione, trasporto, ecc. della fonte primaria
- *Tank to Wheels* (TTW): emissioni di gas serra del carburante durante la fase di utilizzo (a bordo del veicolo)

Coefficienti di emissione WTT (c_{ewtt})
Coefficienti di emissione TTW (c_{ettw})

$E_{wtt} = c_{ewtt} * C_{medio} * p$
 $E_{ttw} = c_{ettw} * p$
 $E_{wtw} = E_{wtt} + E_{ttw}$

Analisi dei costi

Stima il costo complessivo di ciascuna tecnologia (C_{tot})

Costo di acquisto del mezzo (C_a)
Costo del carburante/elettricità (C_c/C_e)
Costo di manutenzione (C_m)
Costo di infrastruttura (C_i)

- Costo del carburante + costo di manutenzione
- Costi su 10 anni - costo totale annuo (C_{tot})
- Costi su 15 anni - costo totale annuo (C_{tot})

Confronto in ambito urbano

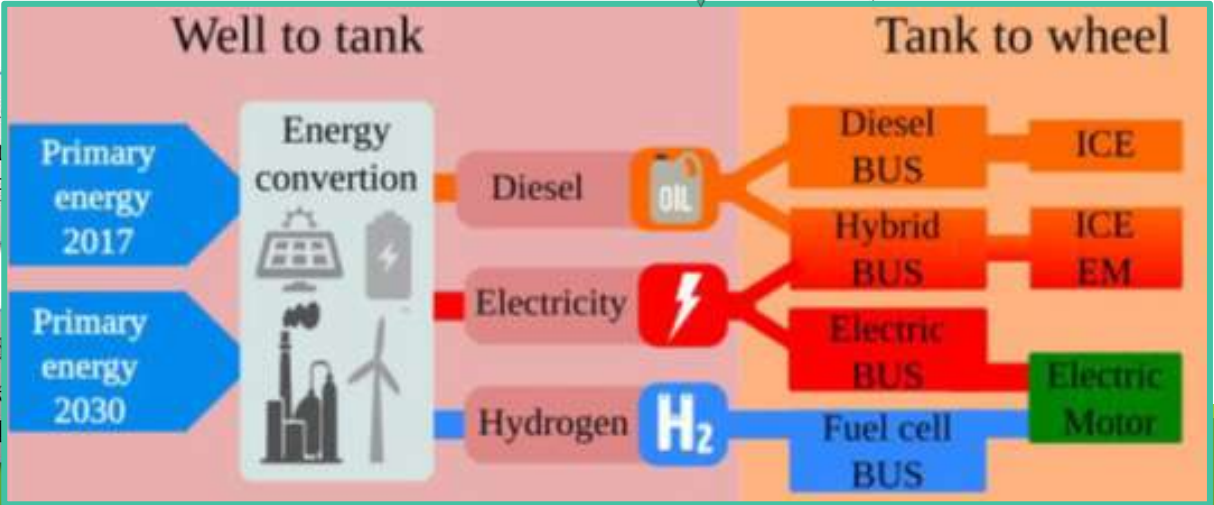
Procedendo con valori di consumo crescenti: il BEB, l'FCEB, l'HEB, il Diesel, il CNG

Confronto in ambito extraurbano

Procedendo con valori di consumo crescenti: il Diesel, il CNG

Procedendo con valori di emissioni crescenti: l'FCEB, l'HEB

Procedendo con valori di emissioni crescenti: il Diesel, il CNG



Analisi a supporto

Analisi in ambito urbano ed extraurbano

Input

Output

Confronto in ambito urbano

Confronto in ambito extraurbano

Analisi dei consumi

Stima il consumo totale giornaliero del mezzo (C)

Consumo medio del mezzo (C_{medio})
Percorrenza giornaliera (p)

$C = C_{medio} * p$

Procedendo con valori di consumo crescenti: il BEB, l'FCEB, l'HEB, il Diesel, il CNG

Procedendo con valori di consumo crescenti: il Diesel, il CNG

Analisi Well to Wheels (WTW)

Stima le emissioni di gas effetto serra ed è l'unione di due analisi:

- *Well to Tank* (WTT): emissioni associate a produzione, trasporto, ecc. della fonte primaria
- *Tank to Wheels* (TTW): emissioni di gas serra del carburante durante la fase di utilizzo (a bordo del veicolo)

Coefficienti di emissione WTT (c_{ewtt})
Coefficienti di emissione TTW (c_{ettw})

$E_{wtt} = c_{ewtt} * C_{medio} * p$
 $E_{ttw} = c_{ettw} * p$
 $E_{wtw} = E_{wtt} + E_{ttw}$

Procedendo con valori di emissioni crescenti: il BEB, l'FCEB, l'HEB, il CNG, il Diesel

Procedendo con valori di emissioni crescenti: il CNG, il Diesel

Analisi dei costi

Stima il costo complessivo di ciascuna tecnologia (C_{tot})

Costo di acquisto del mezzo (C_a)
Costo del carburante/elettricità (C_c/C_e)
Costo di manutenzione (C_m)
Costo di infrastruttura (C_i)
Costo sostituzione/usura batterie (C_s, C_u)
Costo bus sostitutivo (C_{bs})
Costo revamping

- Costo del carburante + costo di manutenzione
- Costi su 10 anni - costo totale annuo (C_{tot})
- Costi su 15 anni - costo totale annuo (C_{tot})

Procedendo con valori di costo crescenti: il BEB, l'HEB, il Diesel, il CNG, l'FCEB

Procedendo con valori di costo crescenti: il Diesel, il CNG



Grazie per l'attenzione.

PROF. STEFANO DE LUCA / PROF. CHIARA FIORI