

Sistemi di conversione ed accumulo dell'energia per la mobilità elettrica ed ibrida

Clemente Capasso

*Istituto Motori – National Research Council of Italy,
Via Marconi 4, Naples 80125, Italy*

Istituto Motori – National Research Council of Italy

The Istituto Motori is one of the largest research Institutes of the CNR. The 22 laboratories are organised in test cells for propulsion and energy conversion systems, distributed on an area greater than 4000 m².



Staff:

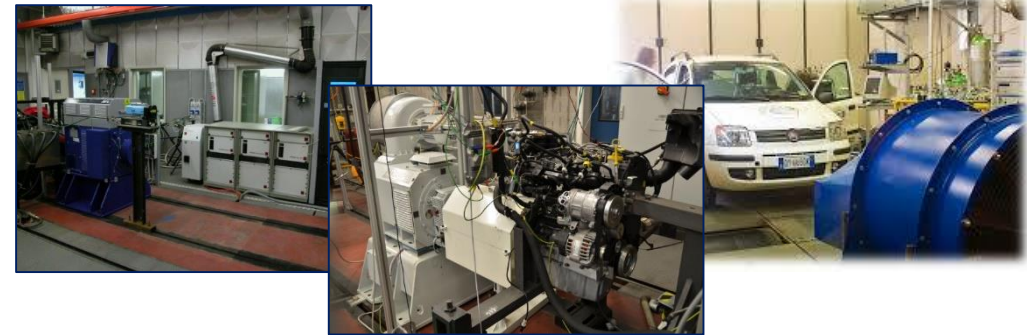
- 45 Researchers and Technologists
- 25 Technicians and Administrative Employees

Director: Dr. Gerardo Valentino



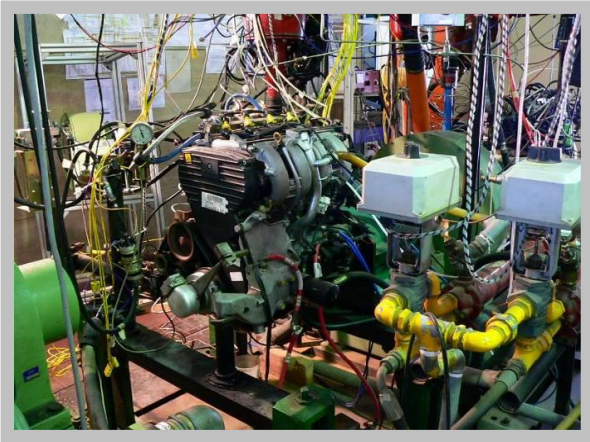
Main Research Fields:

- Integrated methodologies for propulsion and energy systems
- Methodologies and technologies for sustainable transport
- Advanced systems for thermal engines optimization
- Advanced technologies and systems for efficient energy conversion with low environmental impact
- Storage and conversion systems for the electric/hybrid mobility



SVILUPPO TECNOLOGICO PER MOTORI ECOSOSTENIBILI

Il **gas naturale** è il principale vettore energetico per veicoli ecosostenibili



L'iniezione diretta di gas naturale e miscele con H₂ in camera di combustione di un motore light duty è effettuata per il miglioramento di prestazioni ed emissioni gassose e particellari.

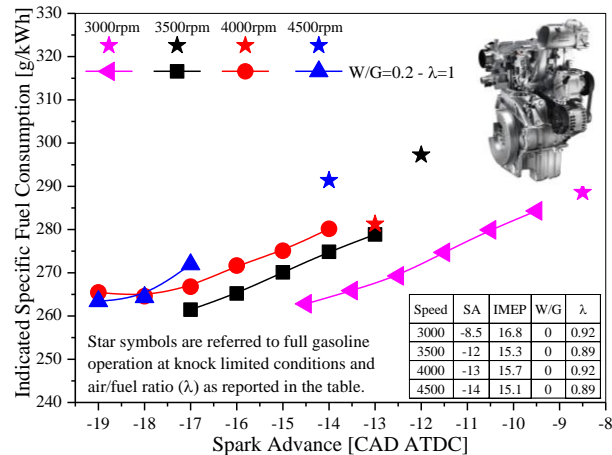
L'ottimizzazione della **combustione** mediante ricerca di base ed applicata è requisito fondamentale per la riduzione delle emissioni ed il miglioramento dell'efficienza



Analisi dell'iniezione nel motore

Analisi della combustione

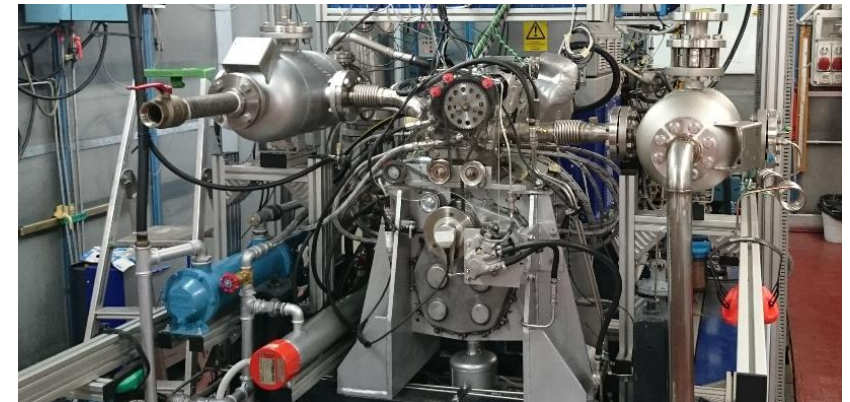
Miglioramento dell'efficienza termica nei motori a benzina turbocompressi ad elevate prestazioni: **Iniezione di acqua**



L'iniezione d'acqua impiegata su un motore bicilindrico automotive ha conseguito una riduzione di consumo specifico fino al 12%, a carichi medio/alti e in un ampio intervallo di regime motore.

L'aumento della densità di potenza nei **motori ad alte prestazioni** permette la riduzione delle emissioni di CO₂ attraverso l'aumento dell'efficienza e la riduzione di peso del motore.

Motore da ricerca in sperimentazione per lo sviluppo di motori diesel con densità di potenza maggiori di 100 kW/l



PROPULSORI ALTERNATIVI ED IMPATTO AMBIENTALE DEI VEICOLI

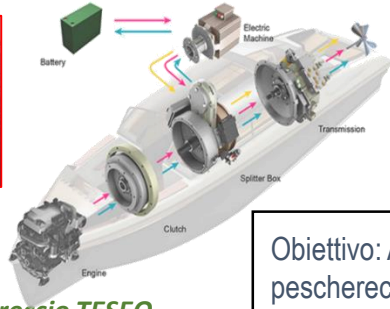
Propulsione ibrida per applicazioni marine



Sicilia Navtec
 Istituto Tecnologico Sicilia Trasporti Navali

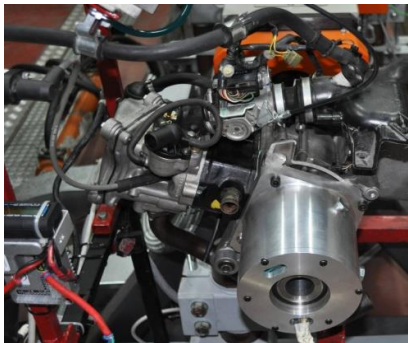
Caratteristiche Principali Peschereccio TESEO

LFT	17.44 m
Larghezza/ Altezza	7.62 m / 2.70 m
Motorizzazione Termica/ Elettrica	2 x 198 kW Diesel/ 2 x 50 kW
Pacchi batteria	2 x 19 kWh 66 Ah
Sistema fotovoltaico calpestabile	1.80 kWp



Obiettivo: Applicazione ad un peschereccio reale di Tecnologie ad alta Efficienza per la Sostenibilità Energetica e ambientale On-board

Sistema di generazione a bordo da 10 kW a ridotto costo ed impatto ambientale per veicoli elettrici



Obiettivo: Realizzazione di un **Range Extender** basato su motore termico ad alta efficienza e ridotte emissioni per la ricarica in continuo di veicoli elettrici (minori dimensioni e costi batterie)

Valutazione delle performance emissive e dei consumi dei veicoli in uso reale



Sistema di misura delle emissioni gassose e particellari imbarcabile (PEMS)

Obiettivo: Identificazione dei percorsi stradali e monitoraggio dello stile di guida per una guida a basse emissioni e consumi
(Progetto PON DriveIN2, DRIVER Monitoring: Technologies, Methodologies and IN-vehicle INnovative systems for a safe and eco-compatible driving)

Prove effettuate su strada in ambito urbano ed in ambienti controllati (sale prova attrezzate con banchi a rulli e piste)



Definizione dei percorsi

	CO ₂ (g/s)	CO (mg/s)	NO (mg/s)	Consumo (g/s)
Benzina	0.84	1.82	1.14	0.27
CNG	0.60	1.17	0.96	0.23

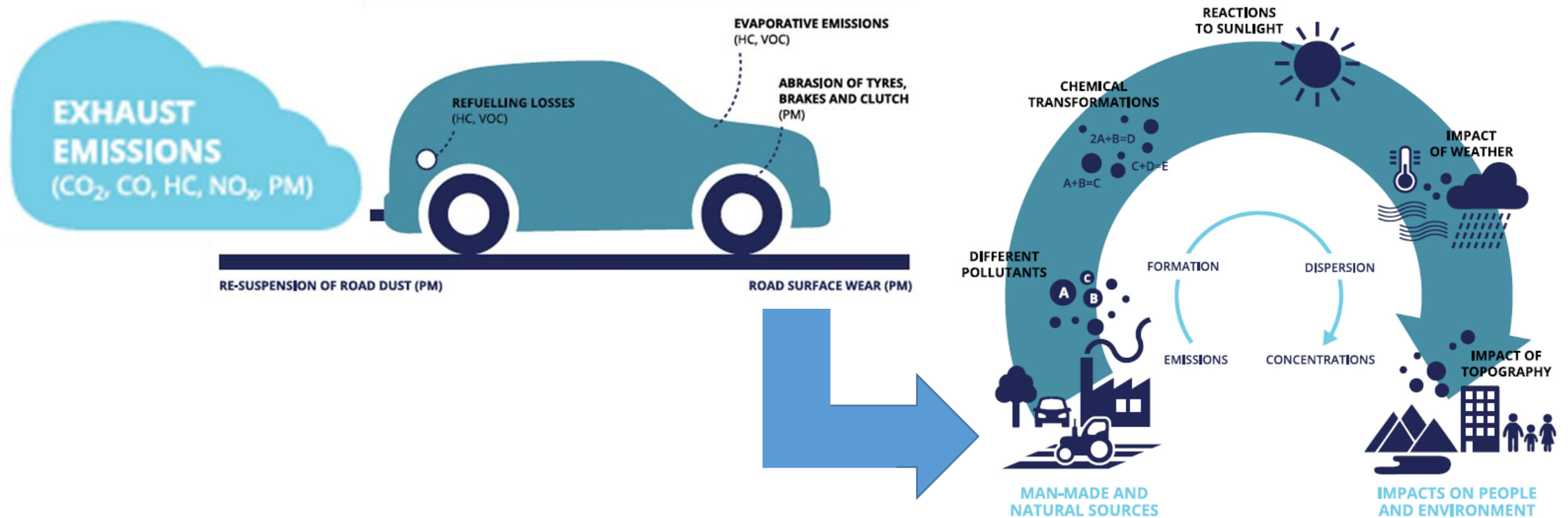
Emissioni e consumo medi ottenuti sullo stesso percorso con la stessa vettura alimentata alternativamente a benzina e a gas naturale (CNG)

Trasporto su strada: Problematica delle emissioni

Road transport contributes about 15% of the EU's total emissions of carbon dioxide.

More than 30 % of NO_x emissions in the EU come from road transport.

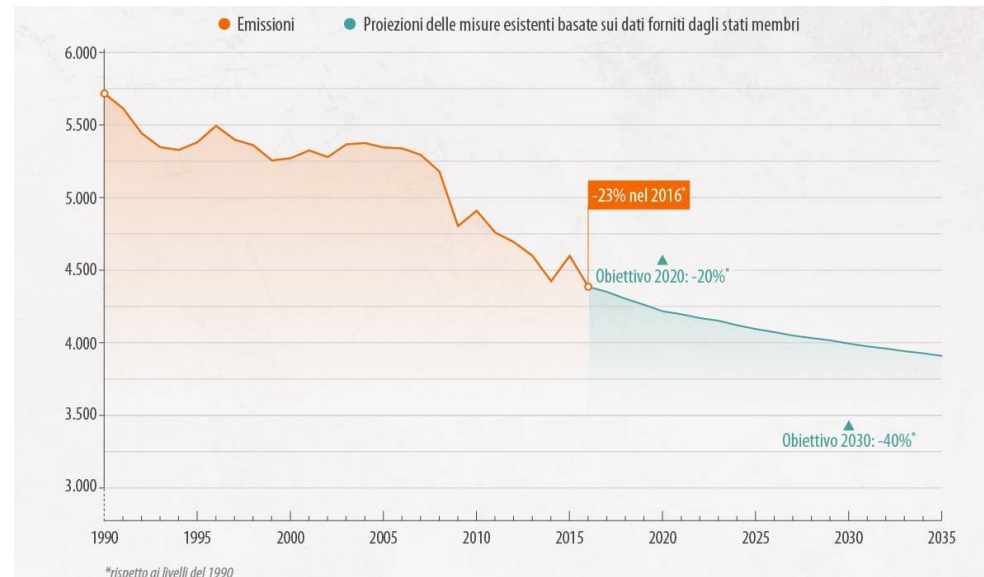
Around 12 % of the EU's primary $\text{PM}_{2.5}$ emissions come from road transport.



Sistemi di conversione ed accumulo dell'energia per la mobilità elettrica ed ibrida

Ridurre le emissioni di anidride carbonica: obiettivi e azioni dell'UE

- L'Unione europea è il **terzo produttore di gas serra** dopo la Cina e gli Stati Uniti. Il **settore dell'energia** è responsabile per il 78% delle emissioni di CO₂.
- Nel 2015 l'Unione europea si impegna, con la firma dell'**Accordo di Parigi**, a ridurre le emissioni di gas serra nell'UE, rispetto ai valori del 1990, del **40%** entro il 2030 e del **90%** entro il 2050.
- Per tagliare le emissioni di centrali elettriche e delle industrie, l'Unione europea ha messo in pratica il primo mercato delle emissioni **ETS** (Emissions Trading System).



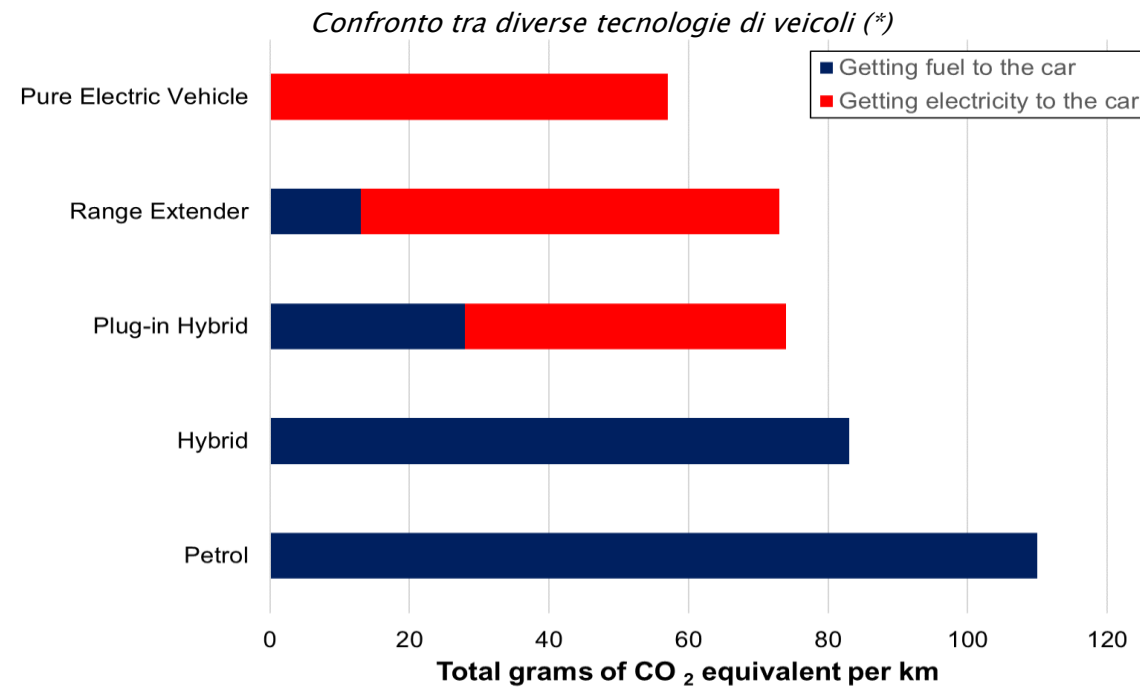
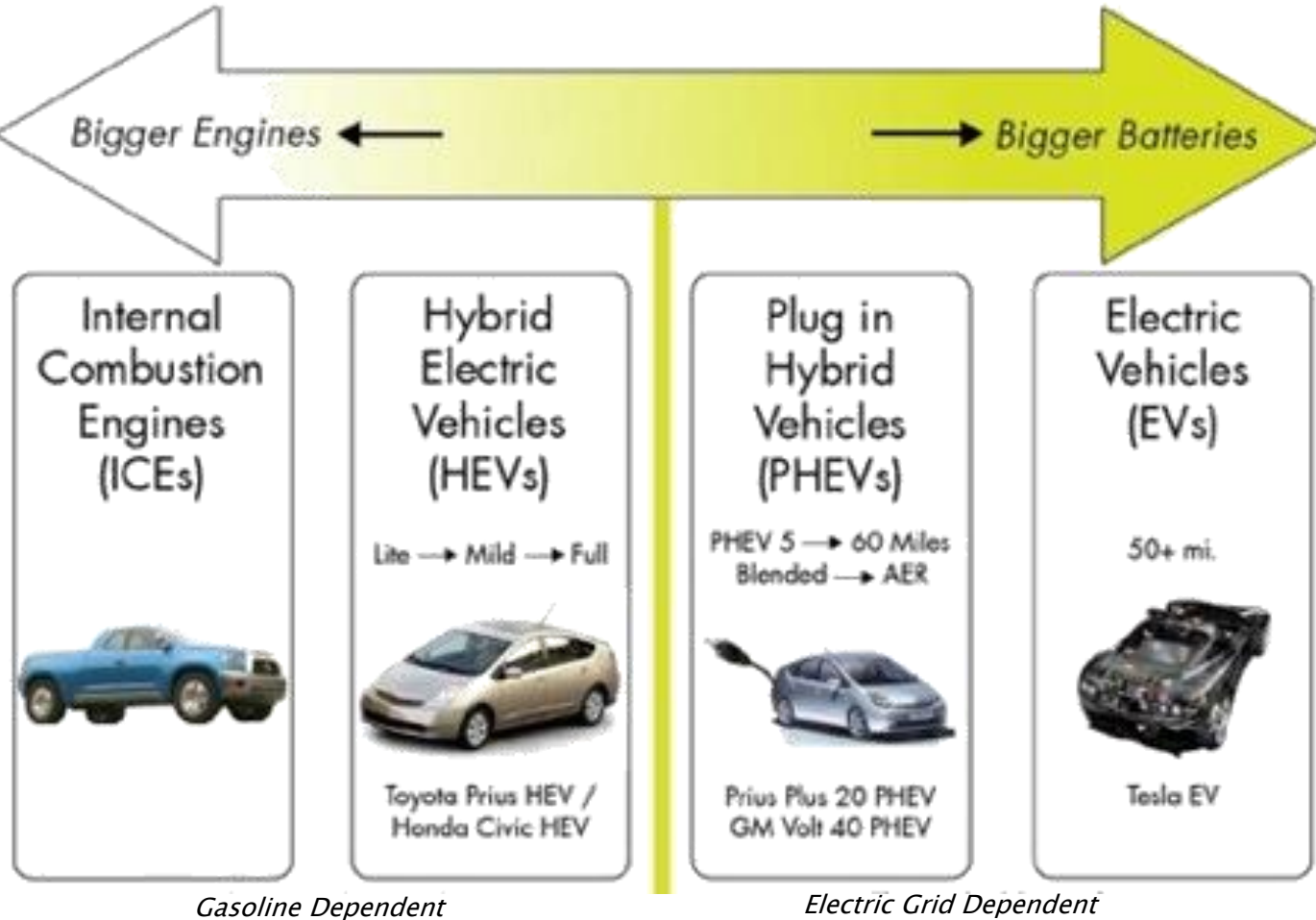
Emissioni di CO₂ e obiettivi UE: Focus su passenger cars

EU Climate Action - Road transport: Reducing CO₂ emissions from vehicles

- Il livello medio di emissioni dei nuovi veicoli venduti nel 2017 è di **118.5 g/km**. Tale valore è di gran lunga inferiore al target di **130 g/km** che era stato previsto per il 2015.
- Dal 2021, il livello medio di emissioni da raggiungere è di **95 g/km** di CO₂
- Ciò si traduce in un consumo medio di carburante pari a **4.1 l/100 km** per veicoli a benzina ed a **3.6 l/100 km** per veicoli diesel

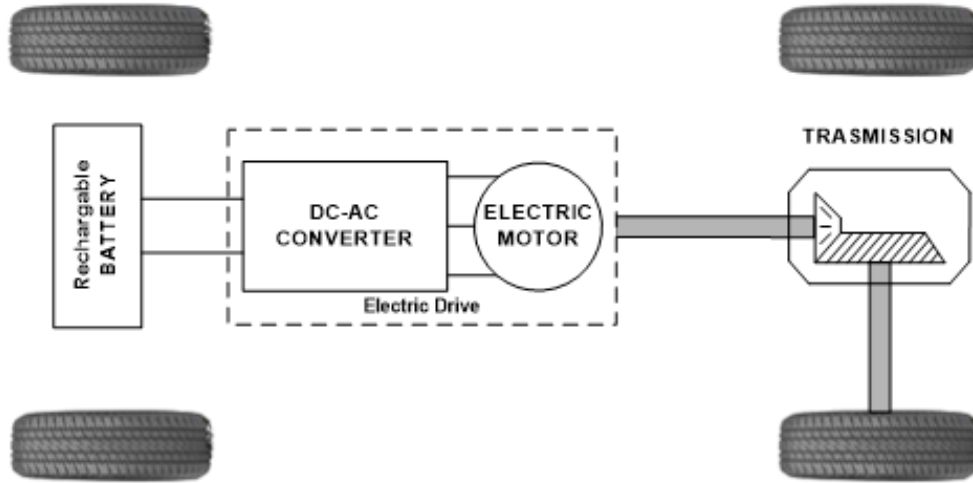
Per alcune categorie di veicoli, l'impiego di sistemi di propulsione **elettrici o ibridi** potrebbe rappresentare, allo stato attuale della tecnologia, una possibile soluzione.

Veicoli elettrici ed ibridi

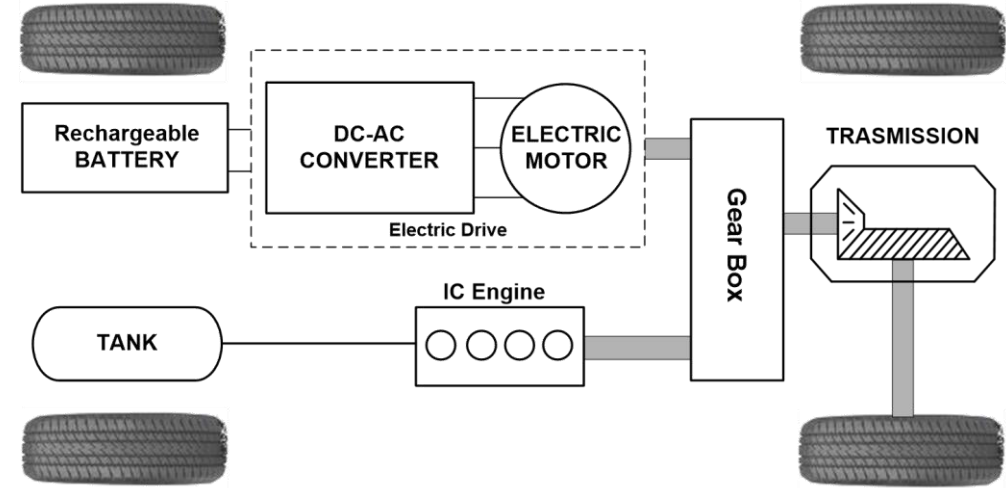


(*)Source: JRC Technichal Report: well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the european context Summary of WTW Energy and GHG balances.

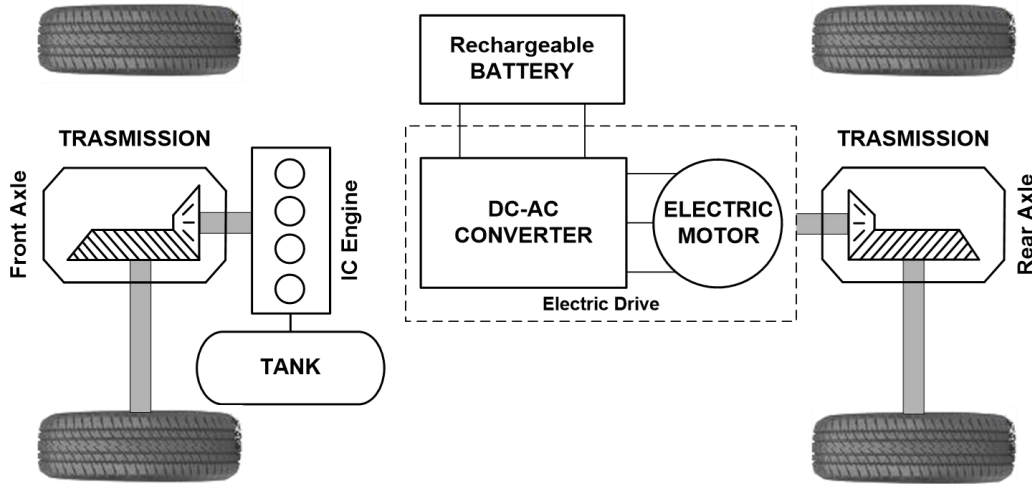
Veicoli elettrici/ibridi: Principali configurazioni



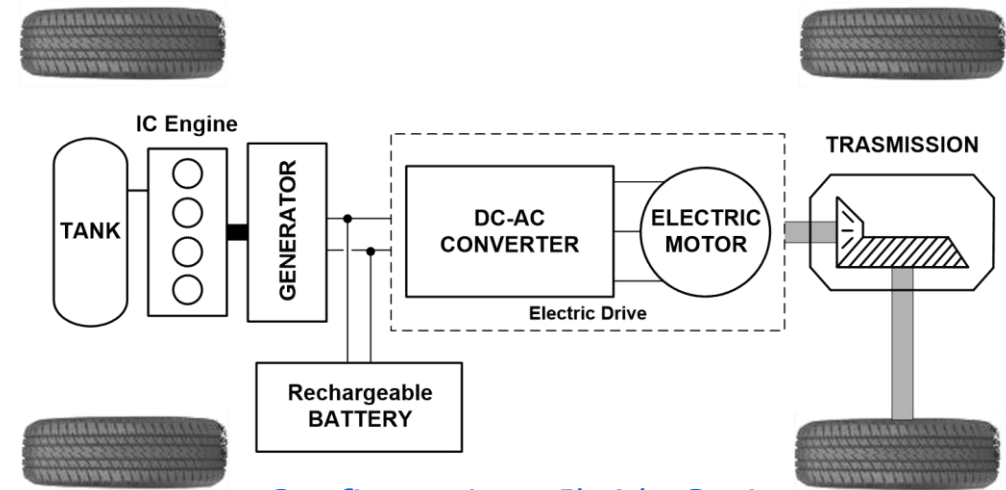
Configurazione Full-electric



Configurazione Ibrida Parallela



Configurazione Ibrida Split



Configurazione Ibrida Serie

The world is ready for Electric Mobility!

Auto Manufacturers:

R.it | Repubblica **MOTORI**
Volkswagen, oltre 10 nuovi modelli elettrici entro il 2018 e più di 30 entro il 2025

24 ORE **MOTORI24**
Renault, metà della produzione sarà elettrica entro il 2022

R.it | Repubblica **MOTORI**
Destination Charging, offensiva Tesla

INDUSTRIA E FINANZA

Gruppo FCA

Financial Times: "Addio ai diesel dal 2022"

24 ORE **MOTORI24** | Ford accelera sulle auto ibride ed elettriche: 11 miliardi di investimenti...
L'ANNUNCIO ALLA VIGILIA DEL SALONE DI DETROIT
Ford accelera sulle auto ibride ed elettriche: 11 miliardi di investimenti entro il 2020

Governments:

QUATTORRUOTE
NEWS | AUTO | UTILITÀ | BUSINESS
Norvegia
"Stop alle vendite di endotermiche entro il 2025"

CORRIERE DELLA SERA / ATTUALITÀ
Francia, solo auto elettriche dal 2040

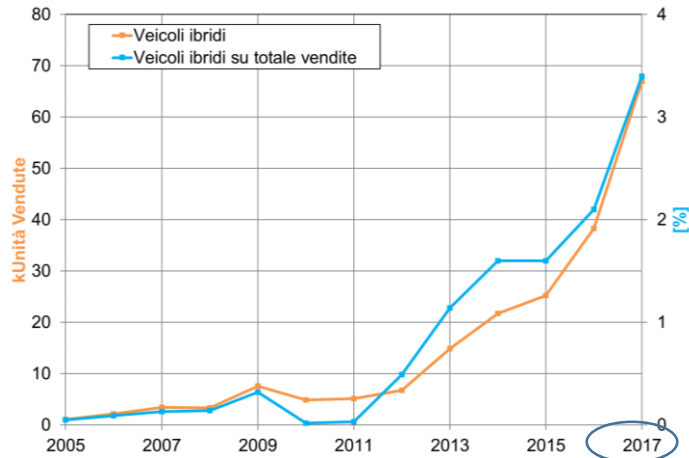
24 ORE **FINANZA & MERCATI**
Il piano di Parigi: in città solo auto elettriche dal 2030

R.it | **ECONOMIA & Finanza** con Bloomberg®
India in verde: dal 2030 solo auto elettriche

Sistemi di conversione ed accumulo dell'energia per la mobilità elettrica ed ibrida

Mercato Italiano Veicoli Elettrici ed Ibridi

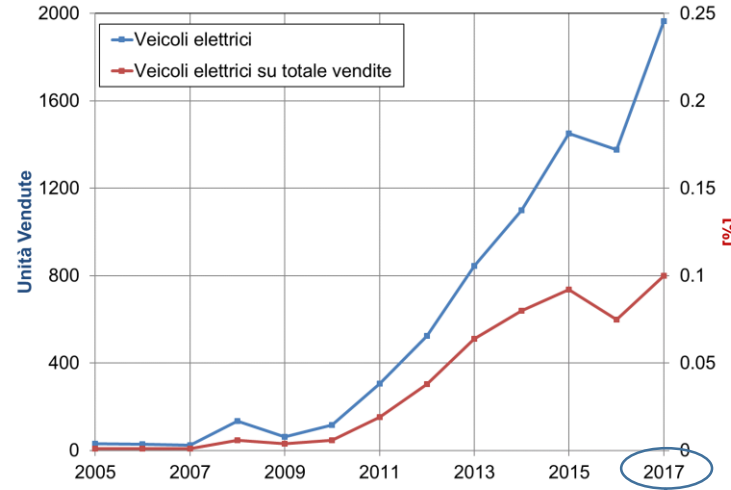
Immatricolazioni Veicoli Ibridi in Italia^(*)



↑
68000

↑
3.4 %

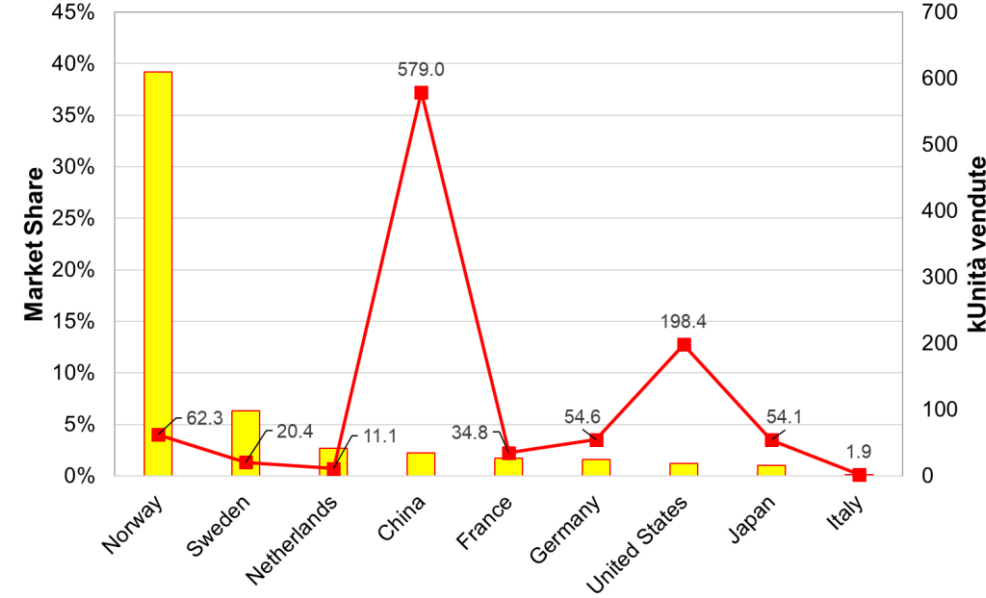
Immatricolazioni Veicoli Elettrici in Italia^(*)



↑
1970

↑
0.1 %

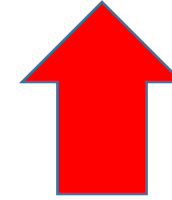
Confronto con altre nazioni



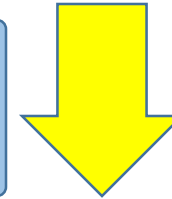
^(*) Dati UNRAE

EV Market Deployment Issues

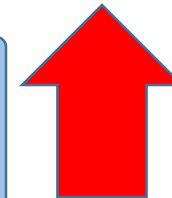
 **Battery Pack Cost** 



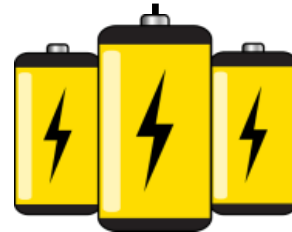
 **EV Driving Range** 



 **EV Charging Times** 



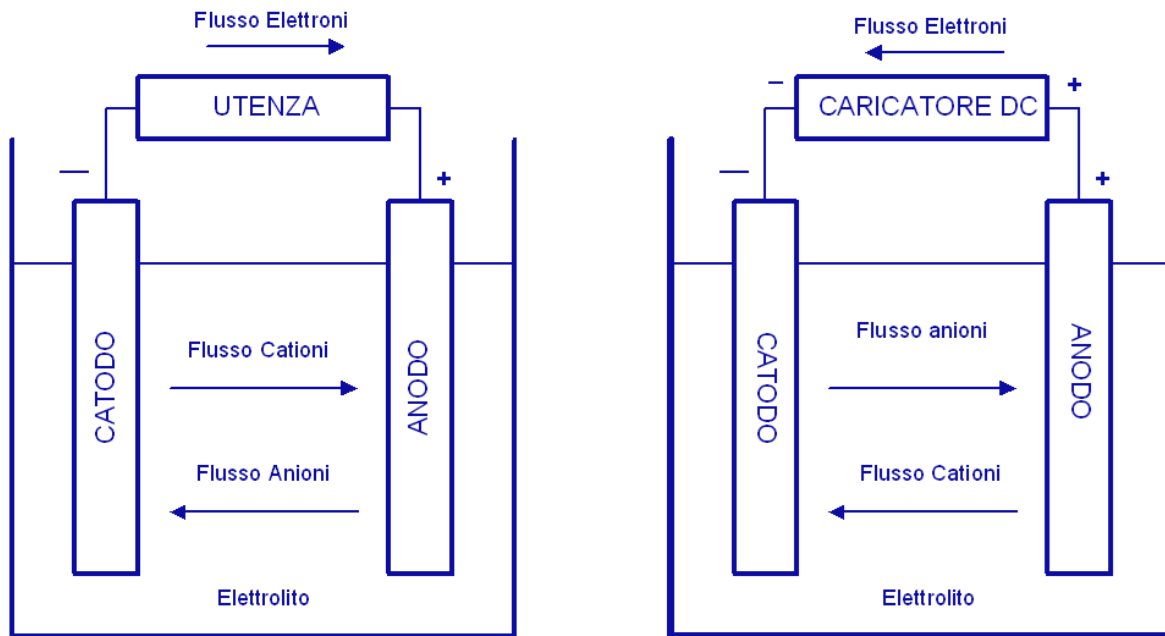
Sistemi di Accumulo elettrochimico dell'energia elettrica



Sistemi di Accumulo: principali definizioni

Il termine **elemento o cella** (in inglese *cell*) indica un singolo accumulatore, costituito da un elettrodo positivo ed uno negativo, mentre per **pacco batteria** si intende un insieme di elementi collegati generalmente in serie o in parallelo.

Una cella comprende tre componenti di base, che partecipano alle reazioni di carica e scarica, mostrati schematicamente in figura.



- **Anodo** o Elettrodo Positivo
- **Catodo**, o Elettrodo Negativo
- **Elettrolito**

Funzionamento in scarica: l'elettrodo positivo si **riduce**, il negativo si **ossida** e si verifica uno spostamento di elettroni dal negativo al positivo, attraverso il carico, e di ioni-positivi verso il catodo ed ioni-negativi verso l'anodo, attraverso l'elettrolito.

Funzionamento in carica: i moti si invertono e gli elettrodi recuperano gradualmente il loro stato di ossidazione iniziale.

Schema del singolo elemento di accumulo durante le fasi di carica e scarica

Sistemi di Accumulo: principali definizioni

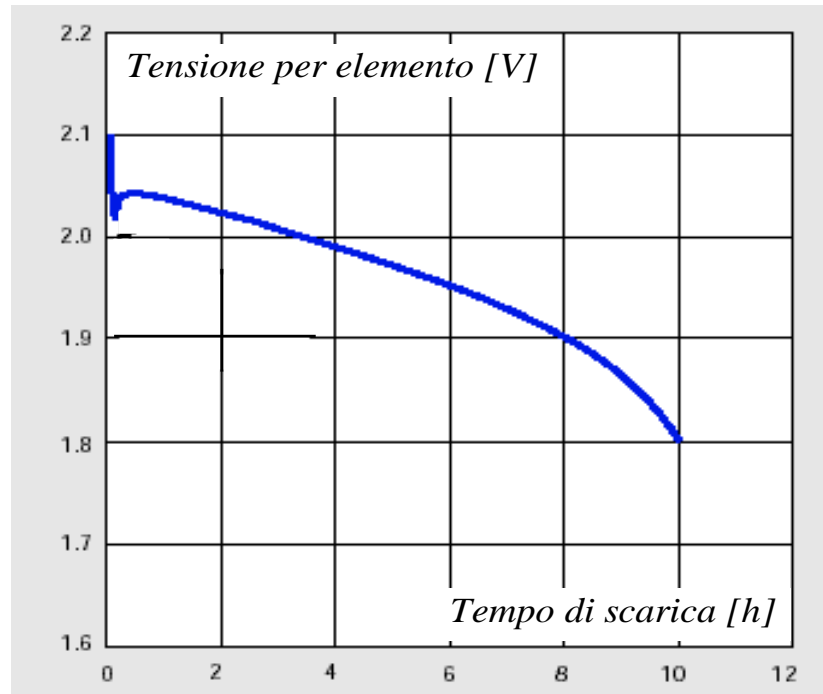
In base alle tecnologie ed ai processi costruttivi le celle di accumulo possono assumere diverse forme geometriche:

- **a bottone**
- **cilindrico**
- **prismatico**
- **piatto**

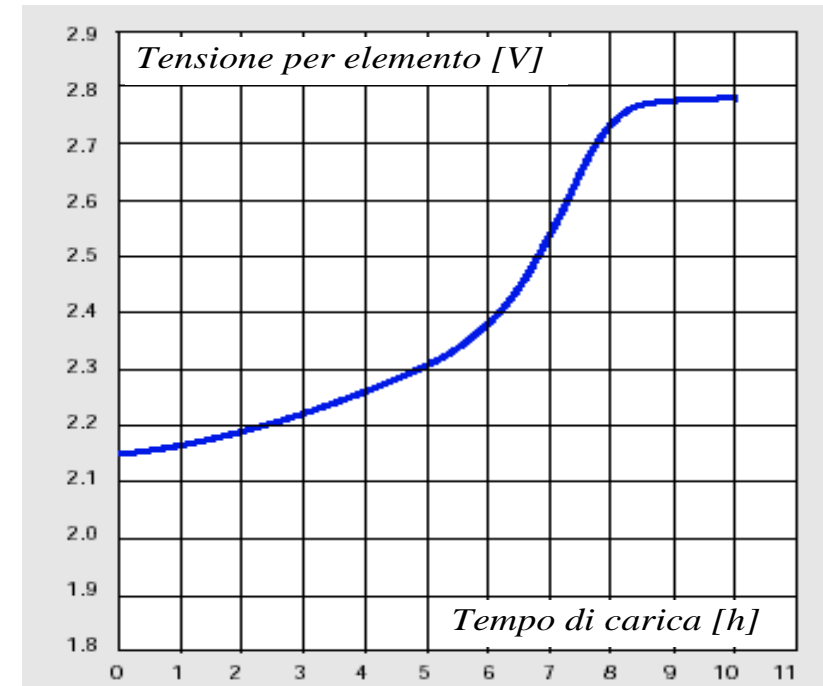


Caratteristiche di funzionamento: Tensione

In pratica una cella di accumulo è caratterizzata da curve di tensione in carica e scarica, che si possono considerare abbastanza ripetitive a parità di condizioni al contorno.



Curva di tensione in scarica per cella al Pb

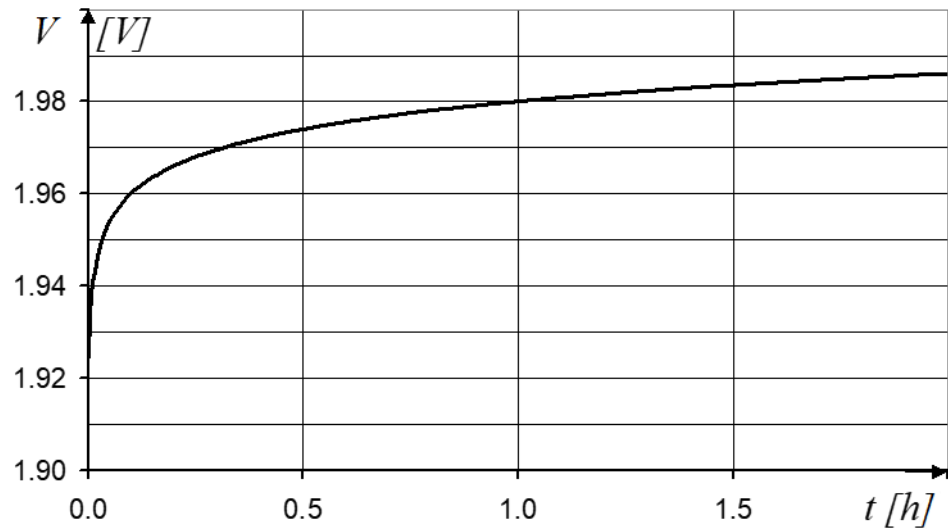


Curva di tensione in carica per cella al Pb

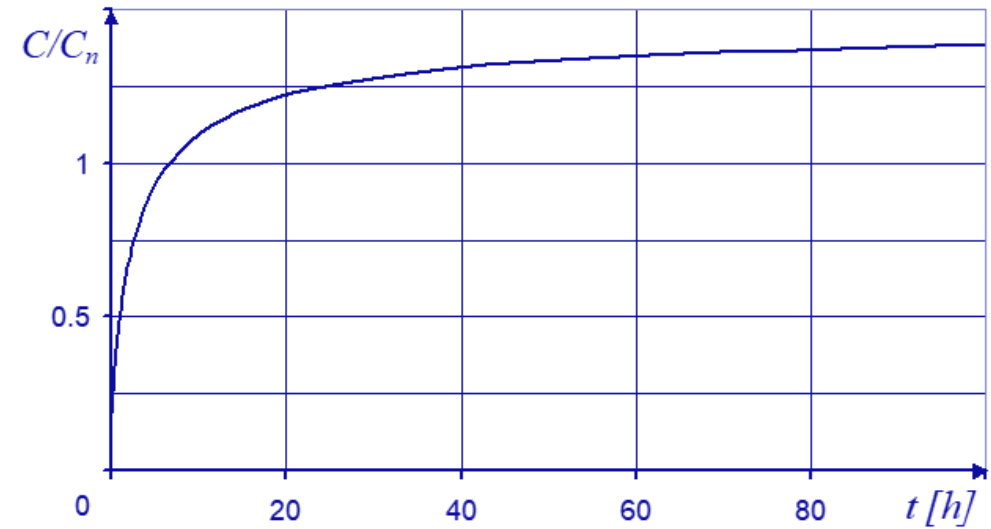
Sistemi di Accumulo: principali parametri operativi

Tensione di circuito aperto (OCV): differenza di potenziale tra i due elettrodi, in assenza di flusso di elettroni.

Capacità [Ah]: la quantità di carica che una cella può erogare quando sottoposta ad una scarica completa.



Recupero della tensione a circuito aperto dopo una scarica per una cella di accumulo al piombo



Caratteristica tempo capacità per una cella di accumulo al piombo

Sistemi di Accumulo: principali parametri operativi

Energia [Wh]: quantità di energia prodotta/accumulata durante una carica/scarica completa. ➡ $E_s = \int_0^{T_s} v i dt$

Energia specifica (densità di energia): Energia accumulata riferita all'unità di peso (Wh/kg) o all'unità di volume (Wh/l)

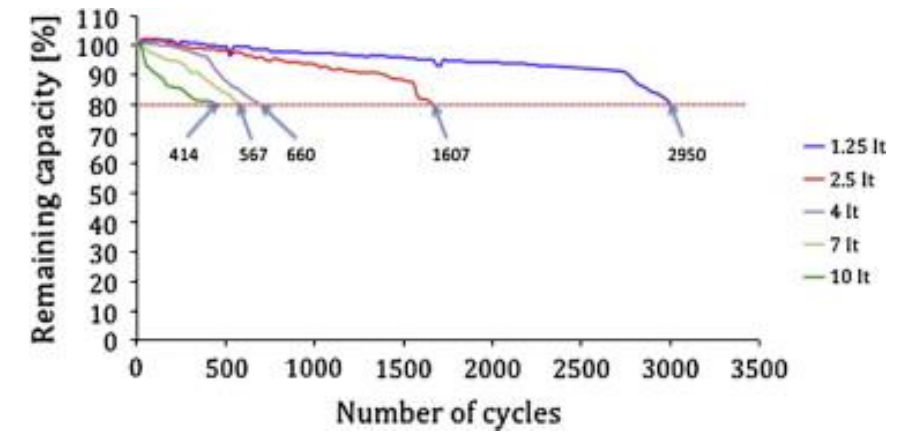
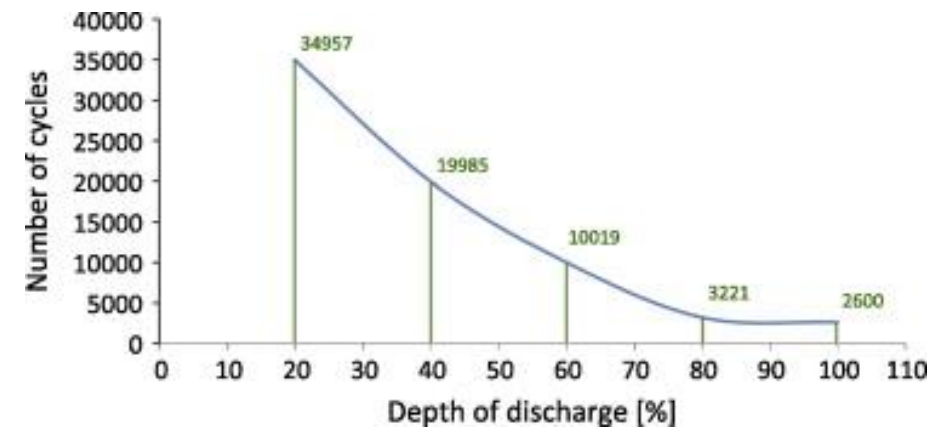
Potenza specifica (densità di potenza): potenza massima di carica/scarica riferita all'unità di peso (W/kg) o all'unità di volume (W/l).

Stato di carica (SOC): Sommatoria algebrica o integrazione degli amperora scaricati/caricati nel tempo a partire da uno stato iniziale al tempo t_0 , che normalmente si assume corrispondente ad accumulatore perfettamente carico. ➡ $SoC = \int_{t_0}^t i dt$

Lo stato di carica si può esprimere in **Ah** o in **%**, con riferimento al valore di capacità della cella di accumulo.

Charging/discharging rate: Velocità di carica/scarica espressa come rapporto tra corrente di carica/scarica e capacità nominale.

Vita utile : numero di cicli di carica/scarica supportati dalla cella di accumulo prima di una consistente riduzione delle prestazioni in termini di capacità. Il numero di cicli di carica scarica è dipendente da diversi fattori, tra cui profondità di scarica (Depth of Discharge) e charging/discharging rate.



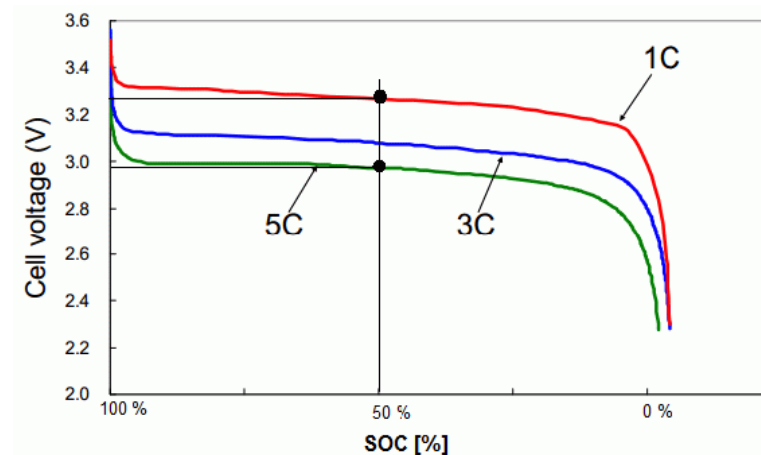
Es: Datasheet Batterie

Type	Part number	Nominal voltage	Power 15' 1.6 VpC 25°C W	Capacity C 10 1.8 VpC 25°C Ah	Length ⁽¹⁾ x Width ⁽¹⁾ x Height ⁽¹⁾ mm	Weight approx. kg	Internal resistance m Ω	Short-circuit current A	Terminal
P12V570	NAPW120570HP0MA	12	570	21	168 177 126	9.5	10.0	900	Male M6
P12V600	NAPW120600HP0MA	12	600	24	168 127 174	9.5	9.5	950	Male M6
P12V875	NAPW120875HP0MA	12	875	41	198 168 175	14.5	7.0	1350	Male M6
P12V1220	NAPW121220HP0MA	12	1220	51	234 169 190	19.5	6.2	1750	Male M8
P12V1575	NAPW121575HP0MA	12	1575	61	272 166 190	24.0	5.5	2200	Male M8
P12V2130	NAPW122130HP0MA	12	2130	86	359 172 226	33.0	4.0	2600	Male M8
P6V1700	NAPW061700HP0MA	6	1700	122	272 166 190	25.0	1.5	3200	Male M8
P6V2030	NAPW062030HP0MA	6	2030	178	359 171 226	32.5	1.2	4200	Male M8


(1): +/- 1mm



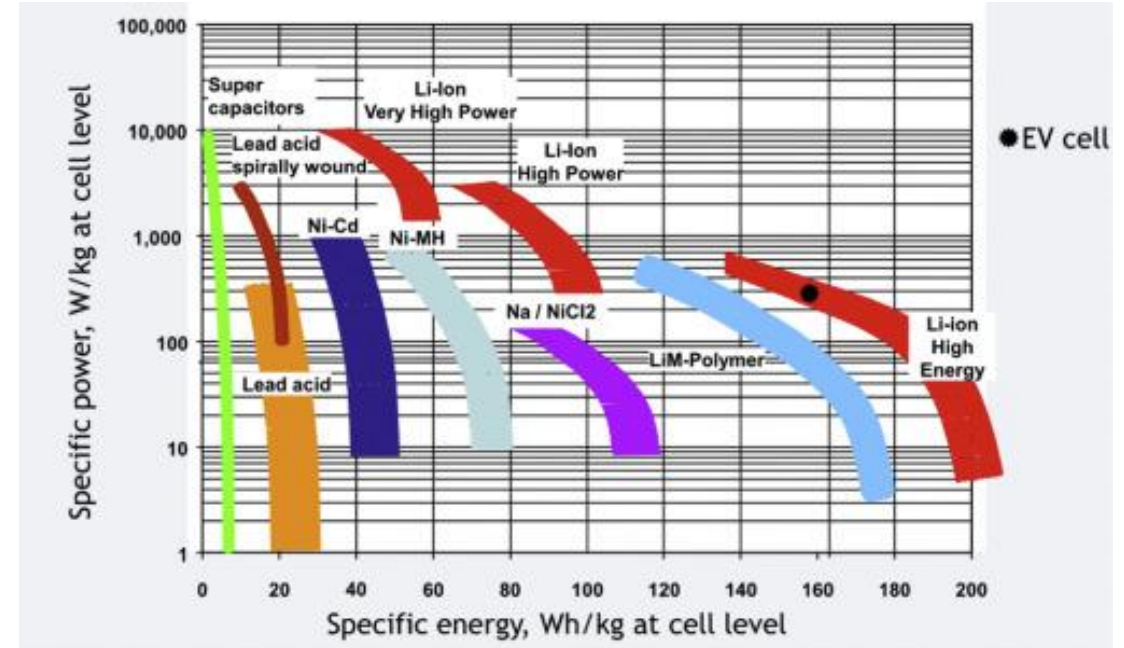
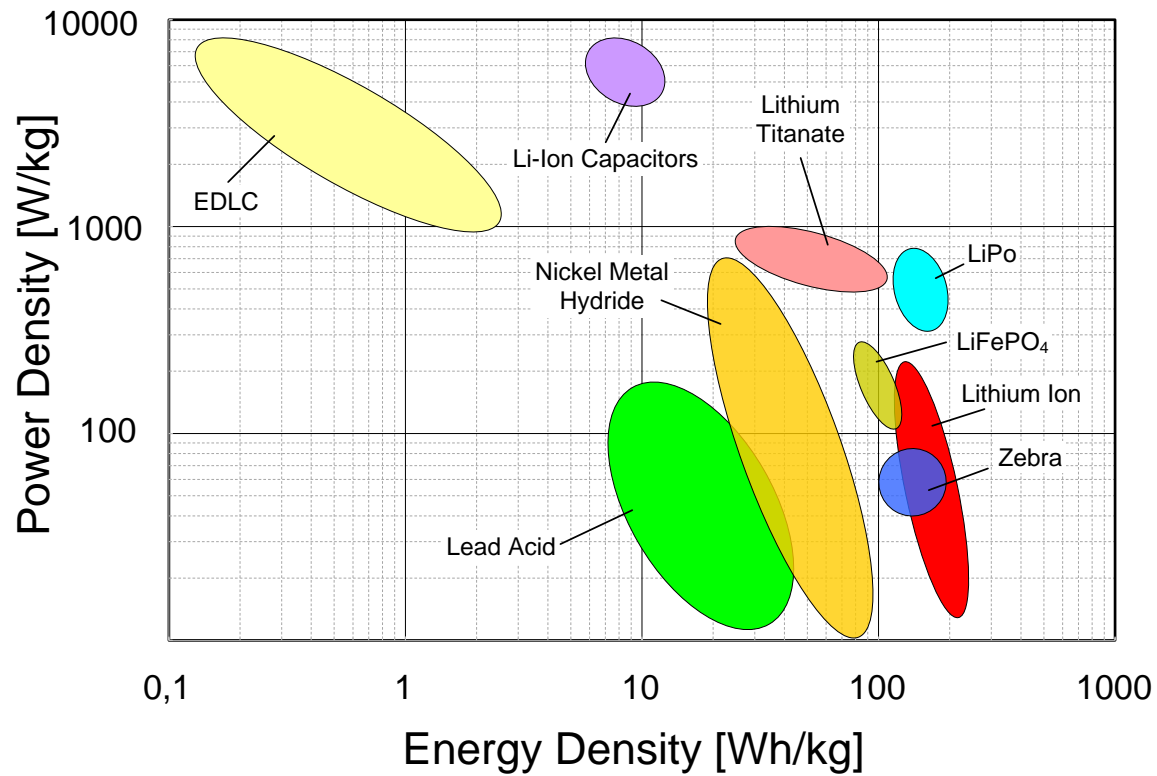
Model name	LFP040AHA	Older product marking TS-LFP40AHA, TS-LYP40AHA
Nominal voltage	3.2 V	Operating voltage under load is 3.0 V
Capacity	40 AH	+/- 5%
Operating voltage	max 4.0V - min 2.8V	At 80% DOD
Deep discharge voltage	2.5 V	The cells is damaged if voltage drops bellow this level
Maximal charge voltage	4.0 V	The cells is damaged if voltage exceeds this level
Optimal discharge current	< 20 A	0.5 C
Maximal discharge current	< 120 A	3 C, continuous for max 15 minutes from full charge
Max peak discharge current	< 800 A	20 C, maximal 5 seconds in 1 minute
Optimal charge current	< 20 A	0.5 C
Maximal charge current	< 120 A	< 3 C with battery temperature monitoring
Maximal continuous operating temperature	80 °C	The battery temperature should not increase this level during charge and discharge
Dimensions	116x46x183 mm	Millimeters (tolerance +/- 2 mm)
Weight	1.6 kg	Kilograms (tolerance +/- 150g)



Caratteristiche richieste per la trazione elettrica














- 
- **Energia specifica:** da questo parametro dipende la quantità di energia che è possibile immagazzinare a bordo per unità di peso/volume e quindi l'autonomia del veicolo.
 - **Maximum Charging Rate:** un elevato valore di charging rate consente di ricaricare il pacco batteria del veicolo in tempi ridotti.
 - **Durata:** la vita utile del pacco batteria deve essere la più lunga possibile, compatibilmente con i vari tipi di prestazioni richieste.
 - **Sicurezza:** Per l'impiego a bordo deve essere garantita la sicurezza prevedendo opportune protezioni contro condizioni di funzionamento pericolose per l'operatore e per il pacco batteria.
 - **Costo:** Il costo dei sistemi di accumulo ad elevata densità di energia è ancora elevato a causa della scarsa diffusione su larga scala della mobilità elettrica ed alle difficoltà di approvvigionamento del litio ed altri metalli (es. Cobalto)
 - **Impatto ambientale:** in molti paesi i processi di riciclo del litio non sono ancora ad uno stadio avanzato, anche se sono stati sviluppati alcuni progetti pilota sul riutilizzo delle batterie per trazione come **second life batteries**.

Caratteristiche richieste per la trazione elettrica



Principali Tecnologie di Accumulo Elettrochimico

Tecnologie Tradizionali:

Piombo Rated cell voltage = 2,00 V operational voltage= 1,60 V – 2,40 V   Sicurezza, Costo (0.08 € Wh), Potenza Specifica  Energia Specifica (max 50 Wh/kg) Densità di Energia (max 70 Wh/l) Vita utile (circa 800 cicli) Charging rate (max 0.2 C) Effetto Memoria Autoscarica	LiFePO₄ Rated cell voltage= 3,20 V Operational voltage= 2,5 V - 3,65 V   Sicurezza, Costo (0.3 €/Wh), Vita utile (~ 3000 cicli) Energia Specifica (max 150 Wh/kg)  Charging rate (optimal 0.5 C) Densità di energia (max 250 Wh/l)	Litio ioni – polimeri (Nickel - Mn – Co) Rated cell voltage= 3,65 V Operational voltage= 3,00 V – 4,20 V    Vita utile (~3000 cicli carica/scarica) Energia Specifica (fino a 230 Wh/kg) Charging Rate (max 3 C)  Sicurezza, Costo (fino a 0.7 €/Wh)	Batterie ZEBRA Sodio-Cloruro di Nichel Rated cell voltage= 2,50 V Operational voltage= 1,20 V – 2,70 V   Funzionamento Indipendente dalla temperatura ambiente, Energia Specifica (fino a 170 Wh/kg), costo (0.3€/Wh), Impatto Ambientale  Gestione Temperatura batteria, Charging Rate (max 0,2 C)
--	---	--	--

Tecnologie Innovative:

Lithium Titanate Oxid (LTO)  Rated cell voltage = 2,30 V operational voltage= 1,50 V – 2,80 V  Sicurezza, Costo (0.5 € Wh), Charging Rate (Fino a 10 C), Vita utile (fino a 30.000 cicli)  Energia Specifica (max 70 Wh/kg) Densità di Energia (max 60 Wh/l)	Litio-Zolfo  Energia Specifica fino a 500 Wh/kg raggiunta in progetto pilota  Ridotta vita utile (max 500)	batterie metallo (es. alluminio) - aria  Energia Specifica Teorica fino a 1 kWh/kg  Disponibili solo applicazioni prototipali di pochi Wh Ridotta vita utile (max 50-100)
---	---	---

Focus su Tecnologie di Accumulo al litio

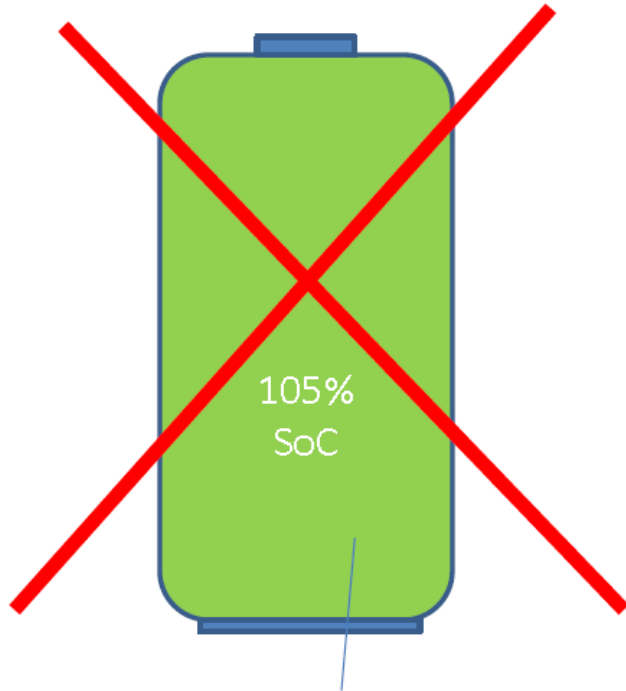
Technology	Advantages	Disadvantages
Lithium Cobalt Oxide (LiCoO₂)	Power and energy density	Safety, cost
Nickel Cobalt and Aluminium (NCA)	Power and energy density, calendar and cycle life	Safety
Nickel Manganese Cobalt (NMC)	Power and energy density, Cycle and calendar life	Safety
Lithium Polymer (LiMnO₄)	Power density	Calendar life
Lithium ion phosphate (LiFePO₄)	Safety	Energy density, calendar life

What is Battery Management

The collection of features and functions that enable the safe and reliable operation of battery cells or packs

- All battery types require some degree of management to get the best out of them
- The larger the pack, the greater the need for management
- Lithium Ion batteries are relatively expensive and do not tolerate abuse – management is essential
- Lithium Ion batteries are inherently unsafe unless properly managed

Over Charging/Discharging



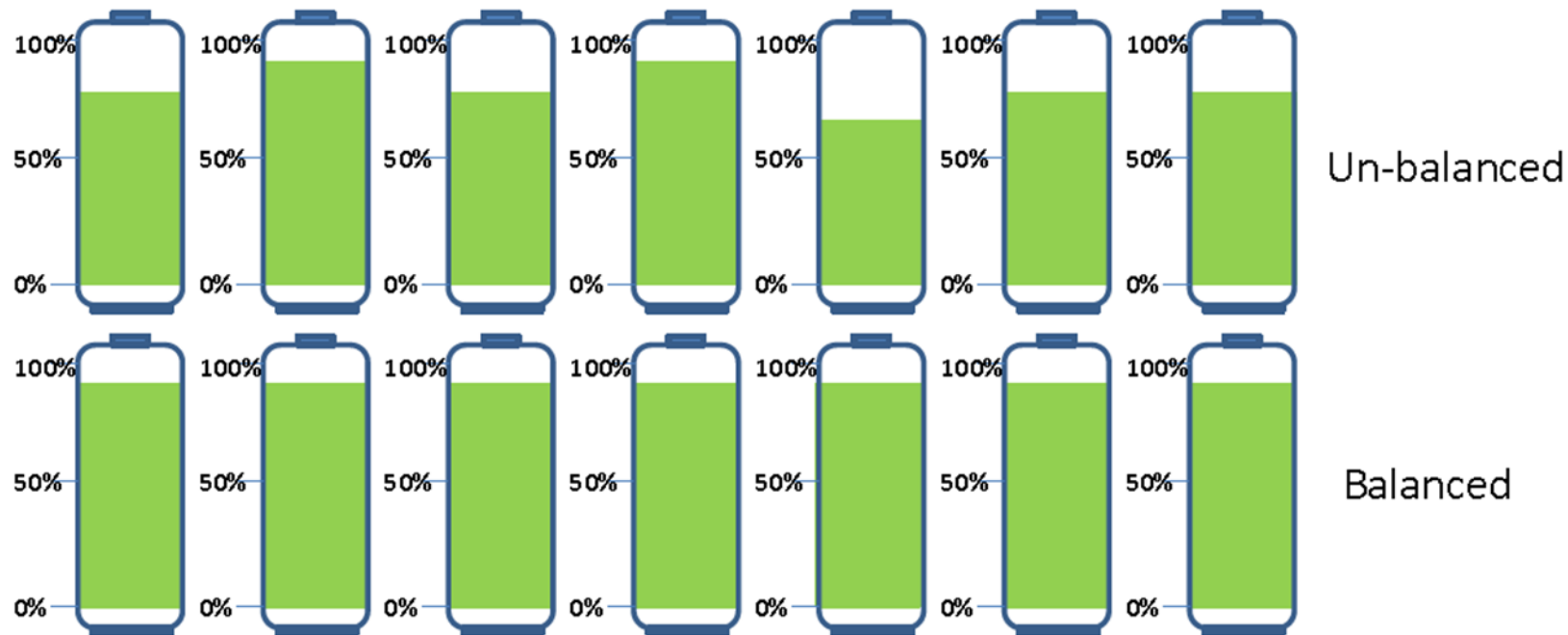
Overcharging cell
Hazardous!



Discharging cell until empty
damages cells and reduces life time

Cell Balancing

The process of equalising the SoC of all of the cells across the battery pack. Saves individual cells from being overcharged during charging and over discharged during operation. Fully balanced pack maximises capacity

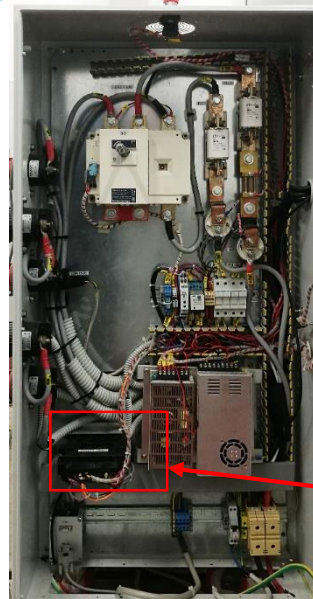


CNR Istituto Motori: Es. Sistema di accumulo LiFePO₄

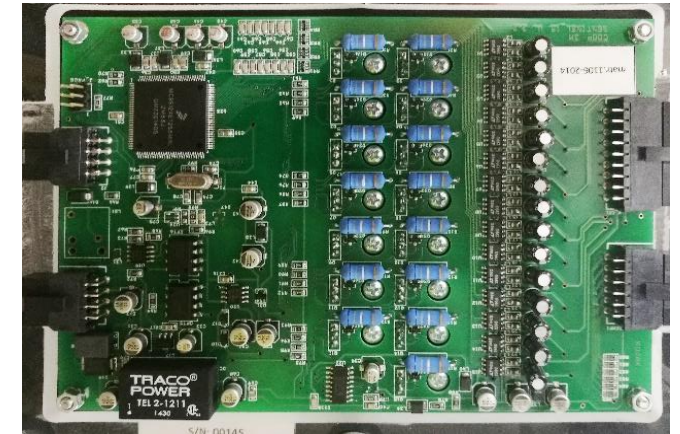


Pacco Batteria LiFePO₄

Number of Cells	90
Nominal Capacity C ₁₀	90 Ah
Battery Pack Nominal Voltage	288 V
Max Charging Current	135 A (1.5 C)

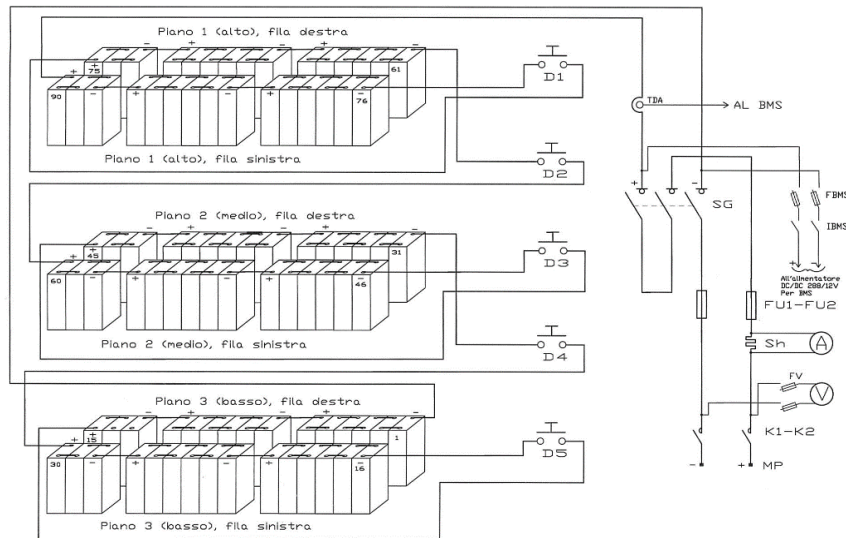


BMS Unità Master

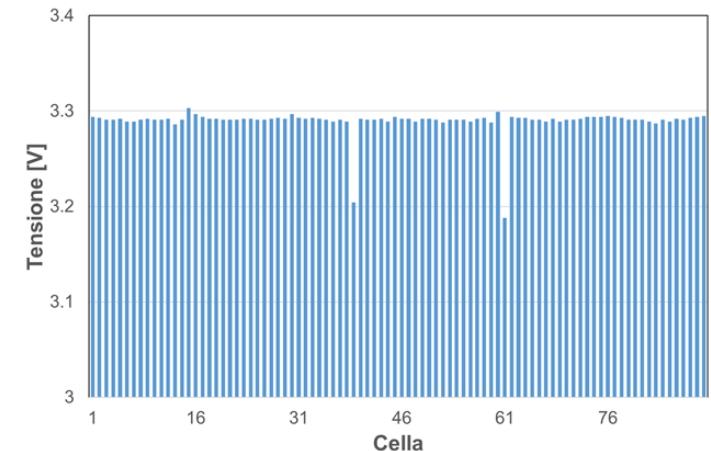


N. 6 Unità Slave

Interno quadro Elettrico



Schema elettrico di collegamento



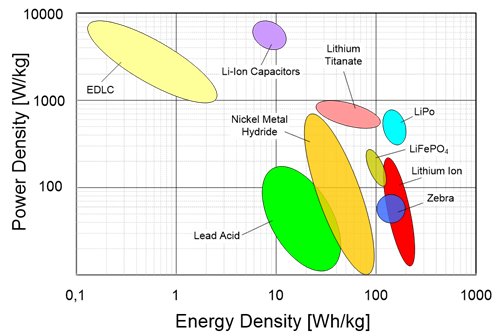
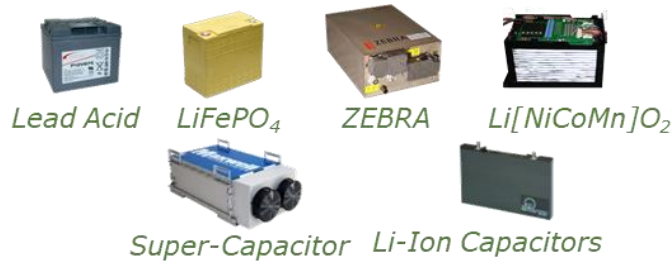
Acquisizione Tensione di Singola cella

Research activities in Istituto Motori on storage systems for sustainable mobility

- Experimental analysis of electric storage systems in both stationary and dynamic operating conditions.
- Performance evaluation and comparison of various storage system technologies for on-board and stationary applications.
- Development of advanced Battery Management Systems (BMS).
- Controlled temperature and relative humidity tests.
- Storage systems Life Cycle Assessment (LCA).
- Advanced modelling of energy storage systems.

European Project Vision – xEV coordinated by AVL

Examples of storage systems technologies tested in IM Laboratories



Main Laboratory Facilities



Energy Storage Life cycle Tester

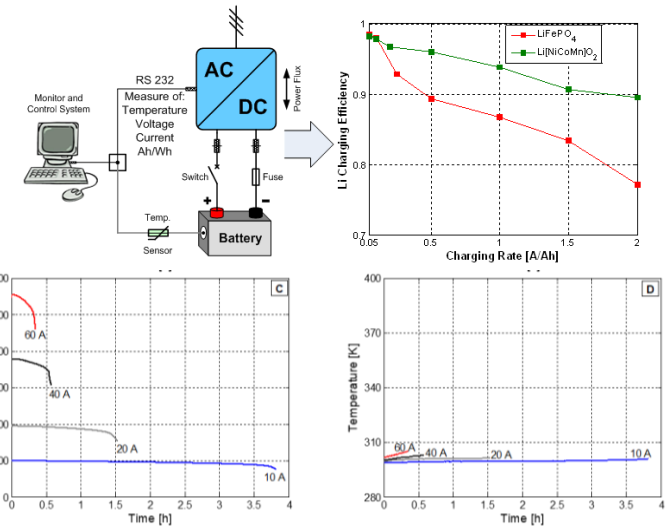
AC Input	400 V AC
Max Output Voltage	18 V DC
Max Output Current	100 A
Output ripple	7 % Irms
Transition time From CH to DISCH	900 ms
Efficiency	0.91
Power Factor	0,78
Cooling	Forced Air
Protection degree	IP 21



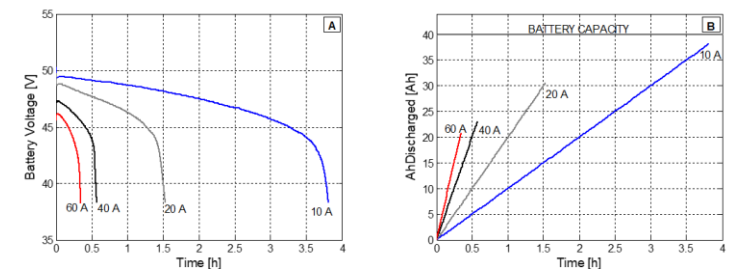
Climate Chamber for energy storage units

Temperature range: -40 °C + 180 °C
 Volume: 150 L
 Heat up rate: 3 °C/min
 Cool down rate: 1.7 °C/min
 Relative humidity range: 10 % - 98 %

Example of Experimental Results on Lithium batteries



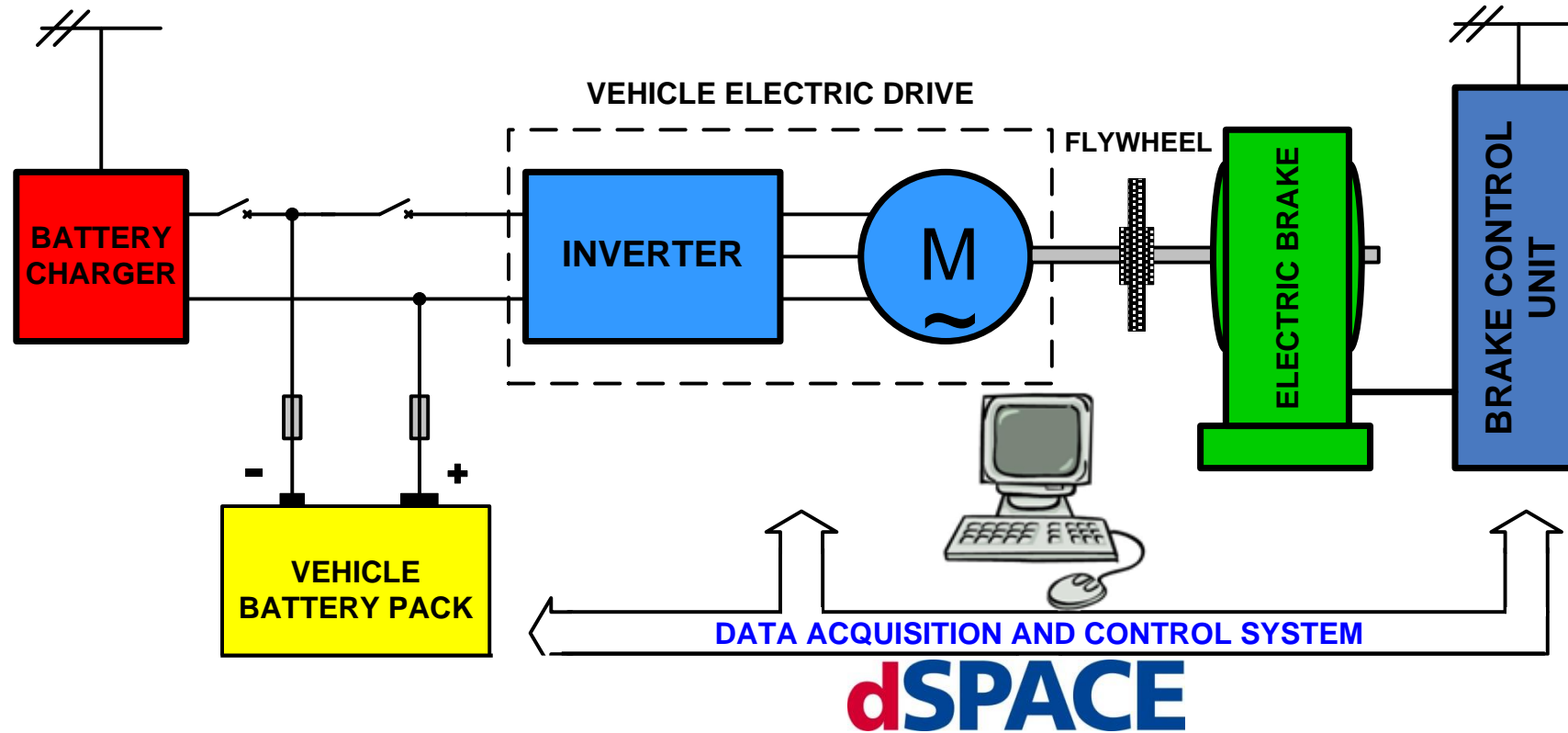
Actual Battery Capacity Evaluation



Sistemi di conversione ed accumulo dell'energia per la mobilità elettrica ed ibrida

Dynamic Laboratory Test-Bench for Electric drive

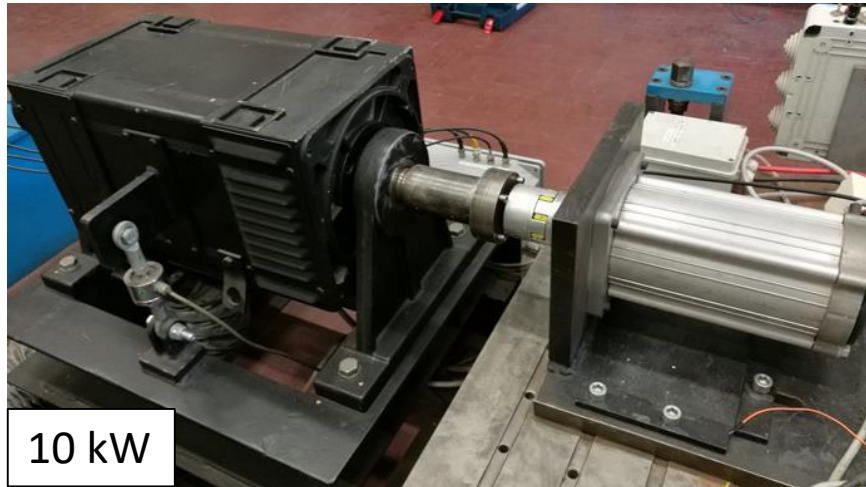
Main Scheme of the laboratory test Bench for batteries under dynamic conditions



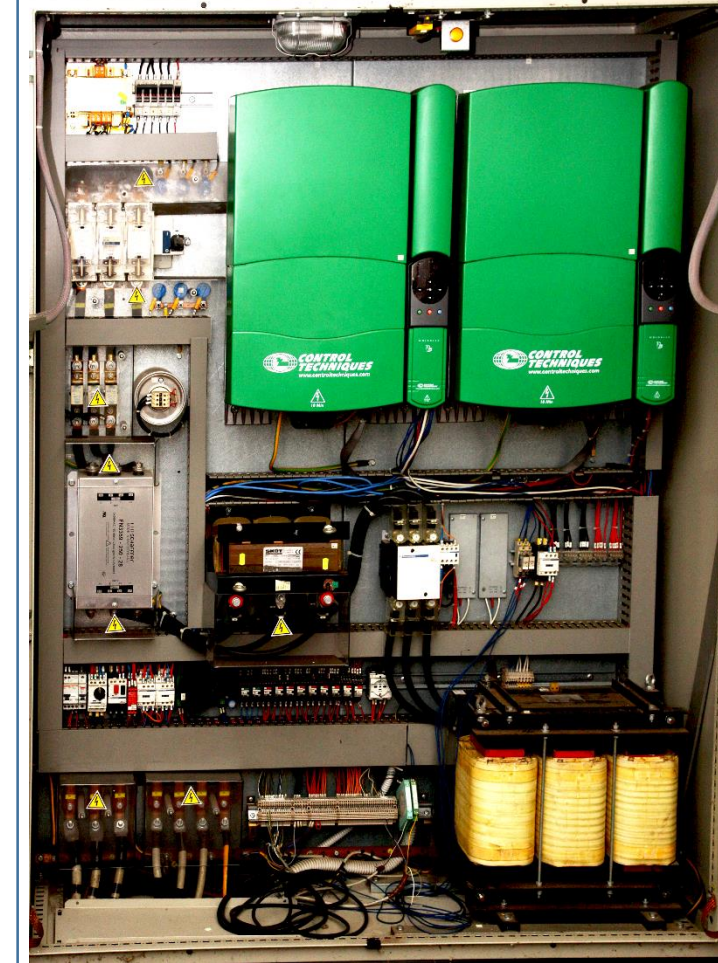
Sistemi di conversione ed accumulo dell'energia per la mobilità elettrica ed ibrida

Laboratory Test Benches for Electric Drive up to 230 kW

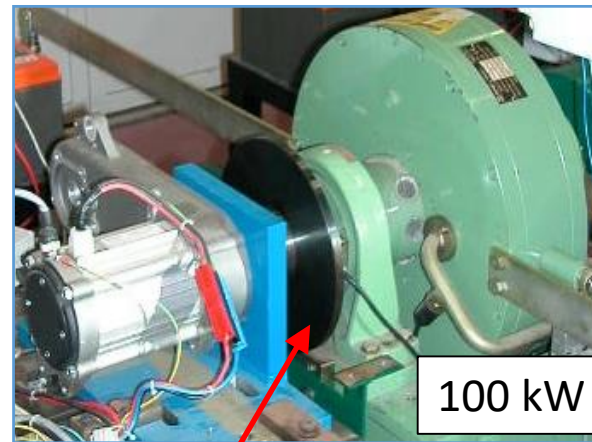
4-quadrant Dynamic Brakes



Dynamic Brake Control System



Eddy Current Brakes



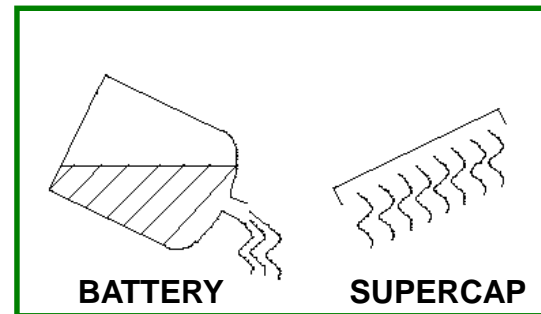
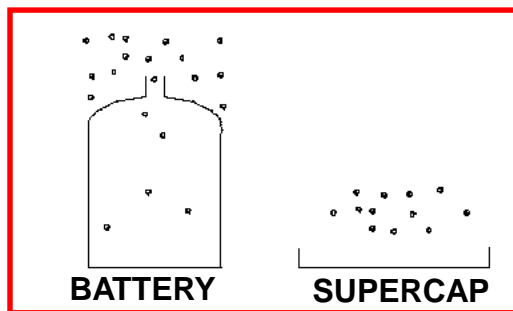
Flywheel for the simulation of vehicle inertia

Electric Double Layer Capacitors (EDLCs)

What are Ultra-Capacitors?

Energy Density vs. Power Density

The characteristics of energy-storage and power-storage systems can be compared based on an analogy between water and electricity.

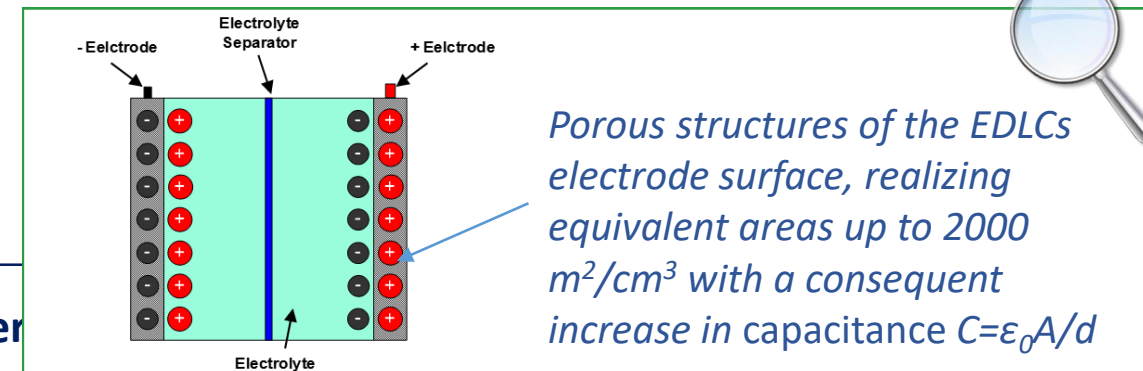
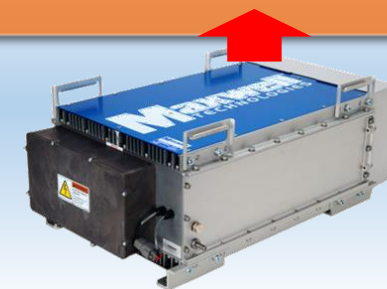


CHARGE



- Densità di Potenza
- Densità di energia superiore in confronto ai condensatori classici
- Vita Utile (>500.000 cicli di carica scarica)

Rated Capacitance [F]	63
Max Equivalent Series Resistance (in DC) initial [mΩ]	18
Rated Voltage [V]	125
Maximum Voltage [V]	136
Max Continuous Current @ ΔT = 15 K[A]	140
Max Continuous Current @ ΔT = 40 K [A]	240
Max Peak Current [A]	1900
Maximum Series Voltage [V]	1500
Operative Temperature [K]	263 ÷ 340
Cooling System	Air

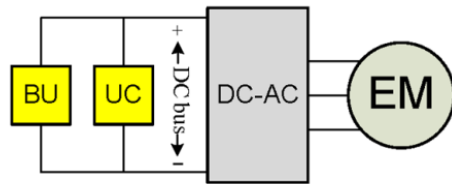


Hybrid Energy Storage Systems (HESS)

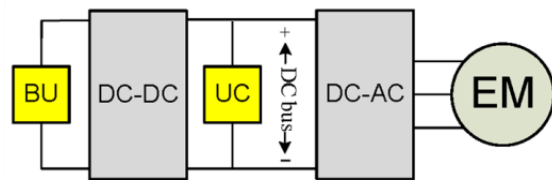
Battery Packs with High Energy Density



Ultra-Capacitors with High Power Density and long lifecycle

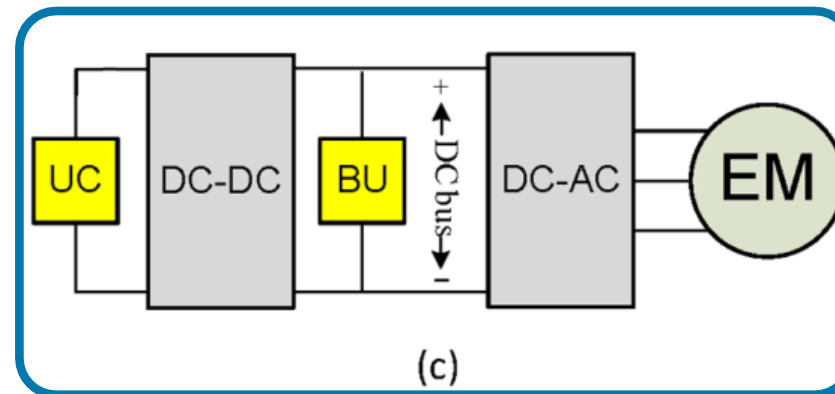


(a)

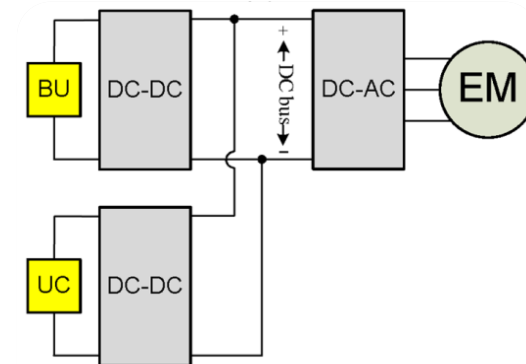


(b)

Power Architectures for Storage Units Integration

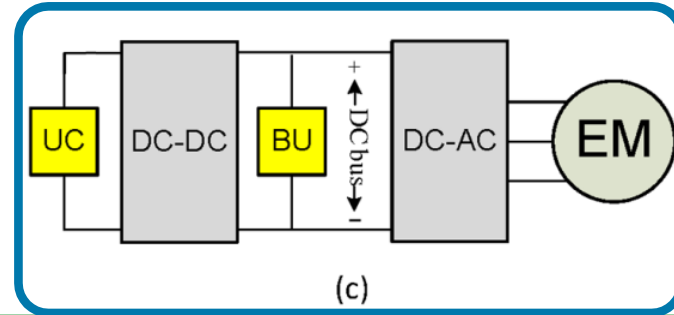


(c)

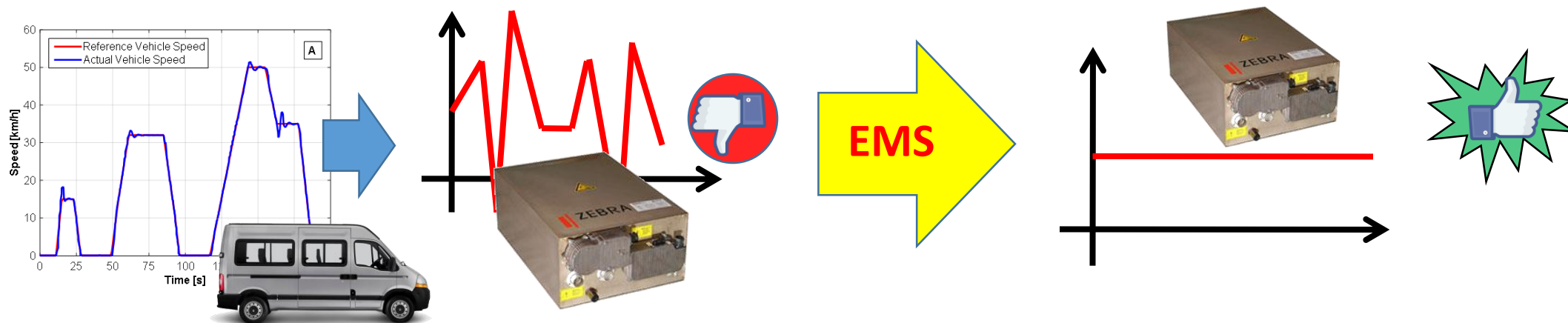


(d)

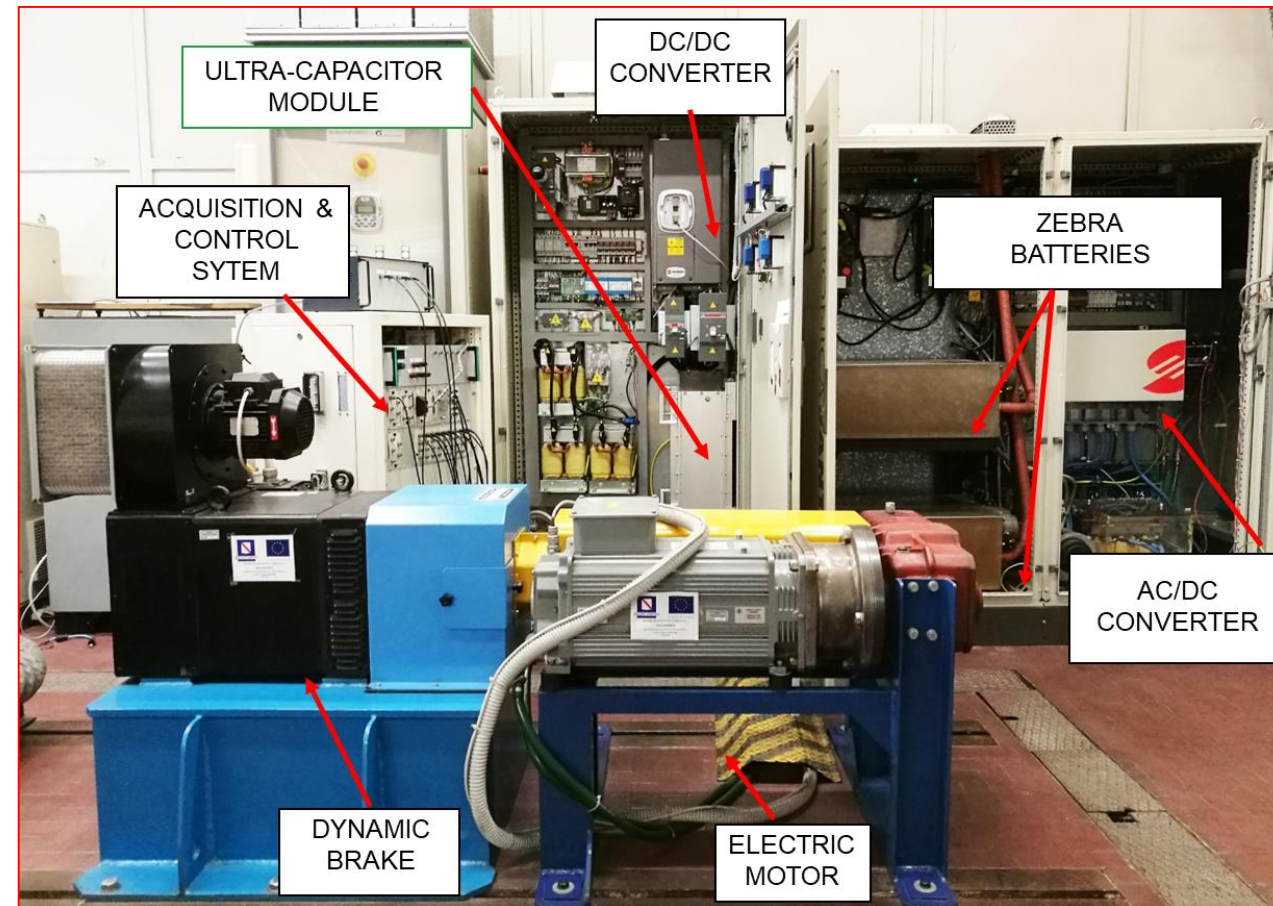
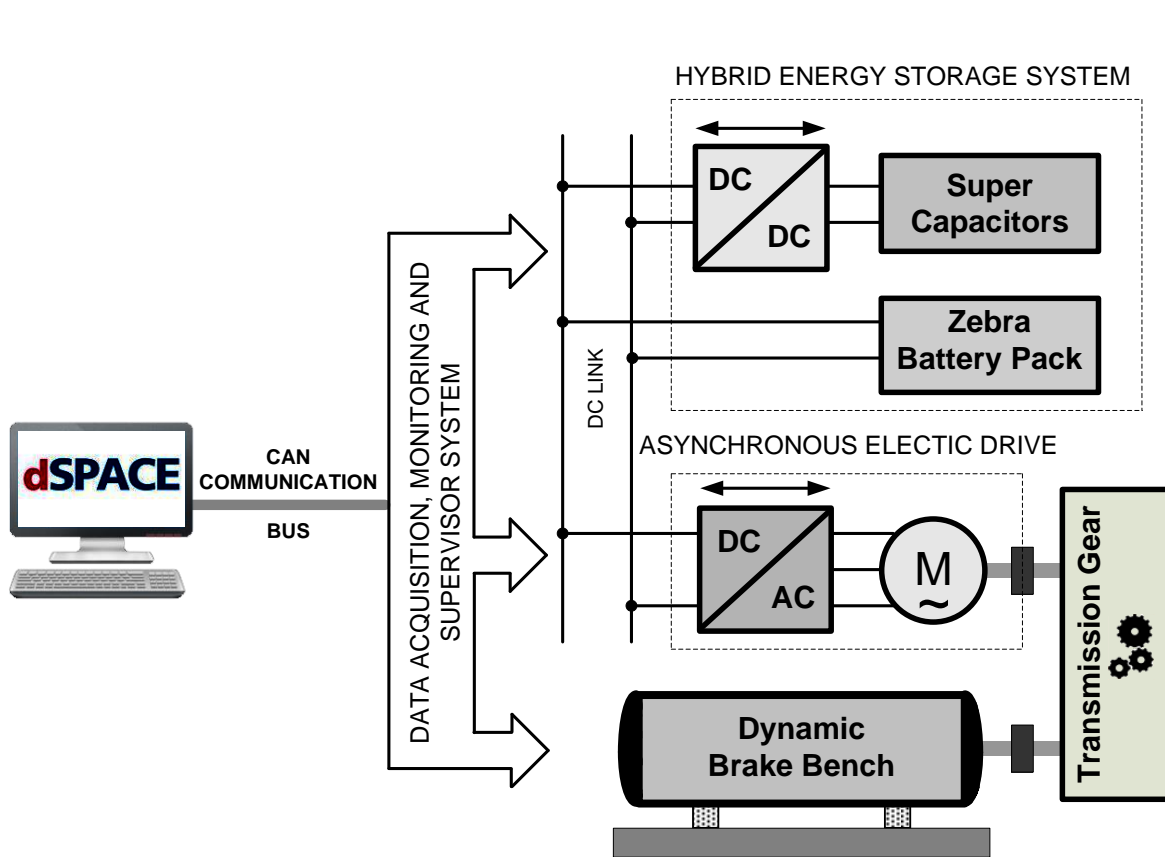
Energy Management Strategies (EMS)



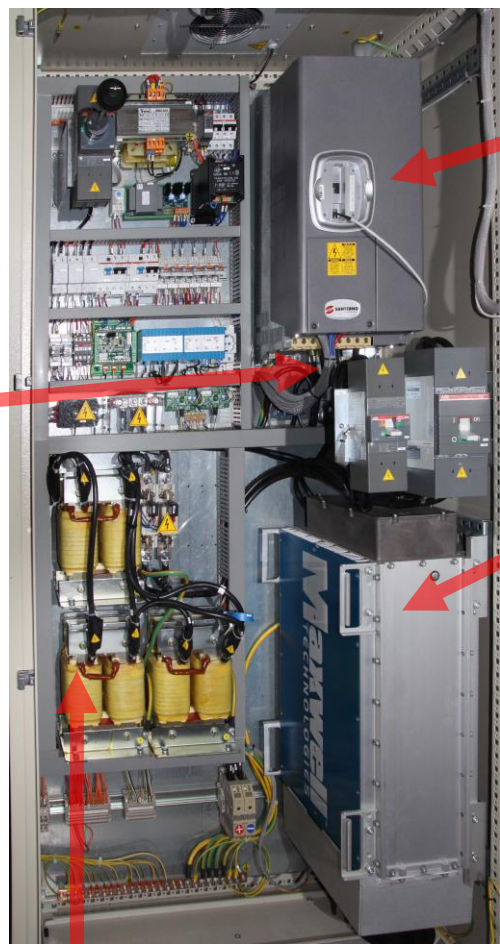
Main Objective of EMS: Reduction of battery pack charging/discharging peak current through the use of ultra-capacitors in order to increase the expected battery lifetime



Scheme and Picture of the Laboratory Dynamic Test-Bench



DC/DC Bidirectional Power Converter

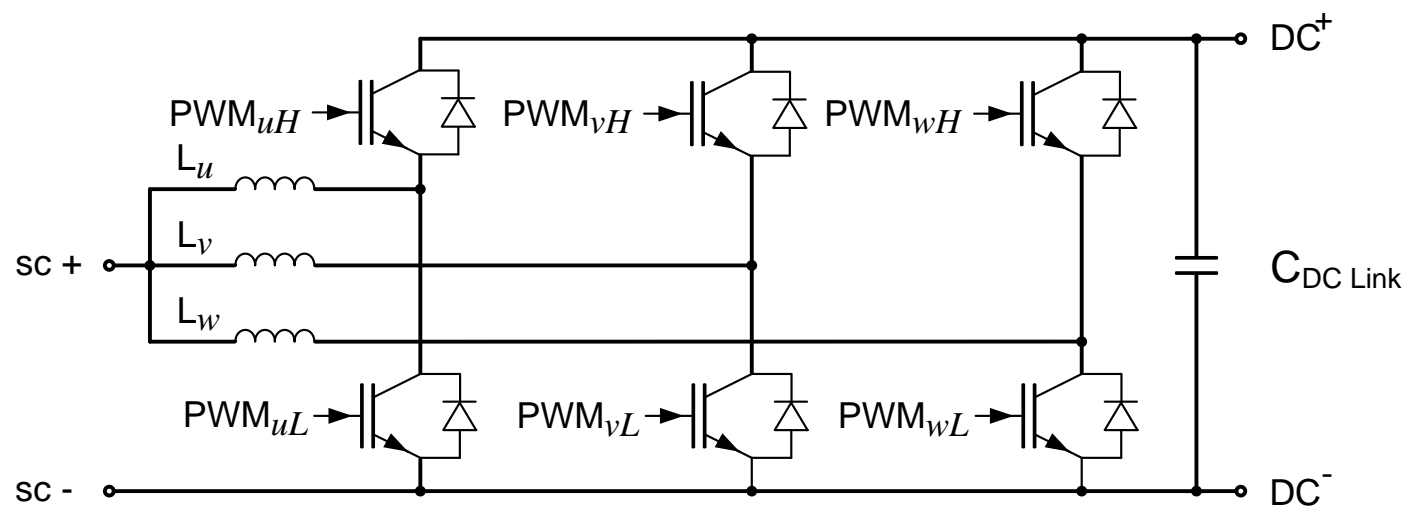


100 kW DC/DC Bidirectional Power Converter

Circuit Breakers

Ultra-Capacitors Module

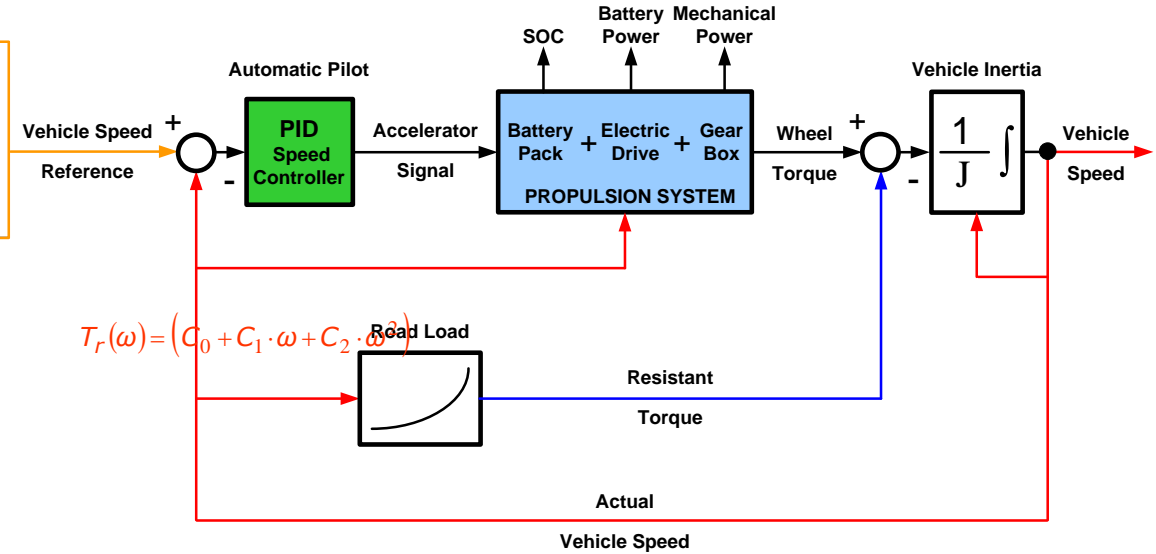
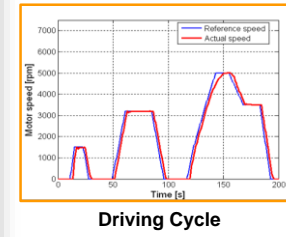
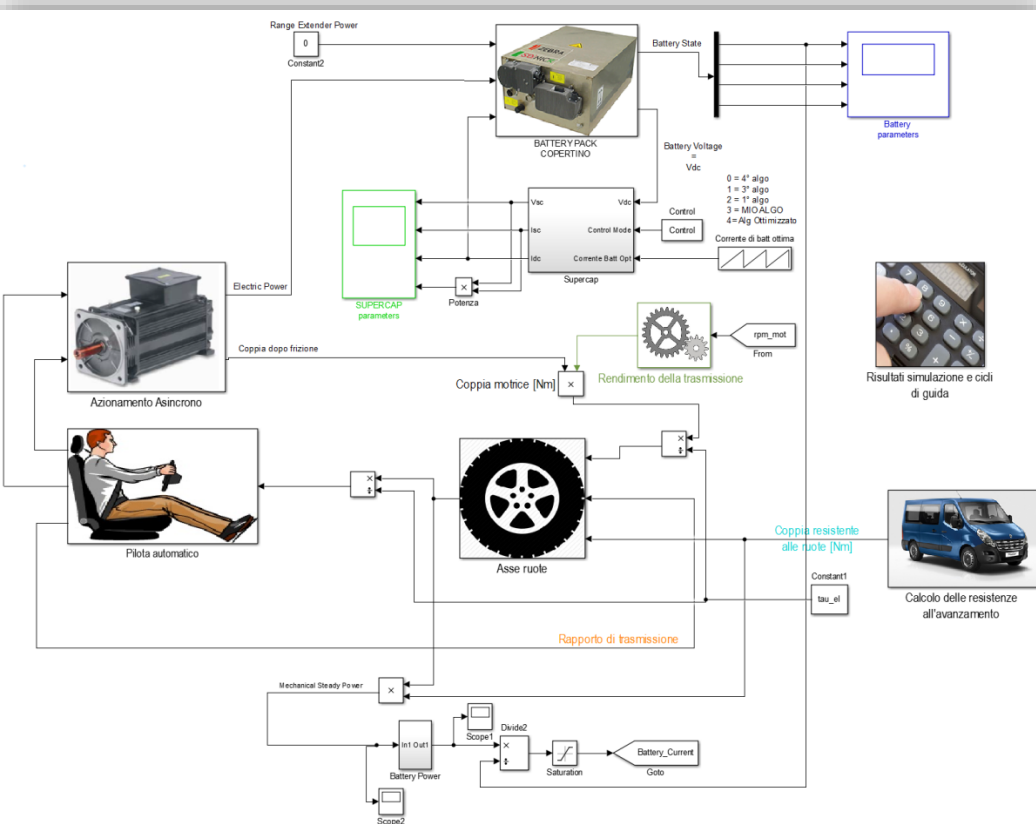
Power Converter Inductances



Min Voltage/DC Link-side [V]	333
Max Voltage/ DC Link -side [V]	828
Rated current/ DC Link -side [A]	150
Rated current/SC-side [A]	286
Max current/SC-side [A]	328
Switching frequency [kHz]	2.5 ÷ 5

Simulink Model of Electric Vehicle

- Speed and torque control scheme

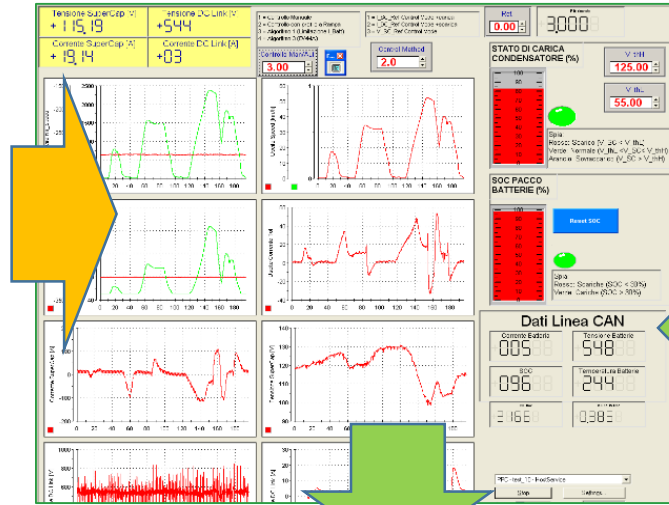


Laboratory implementation of EMS

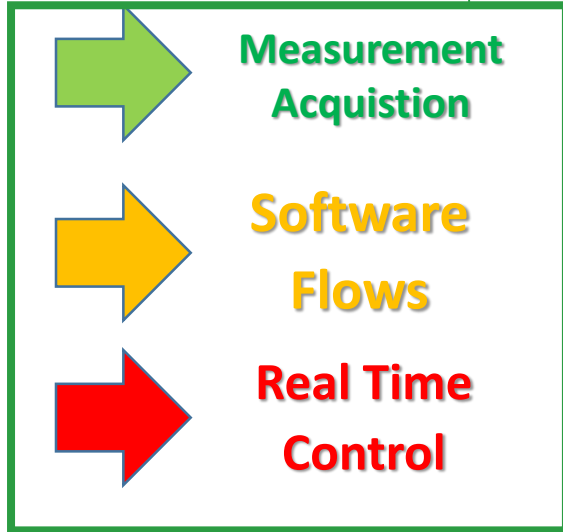
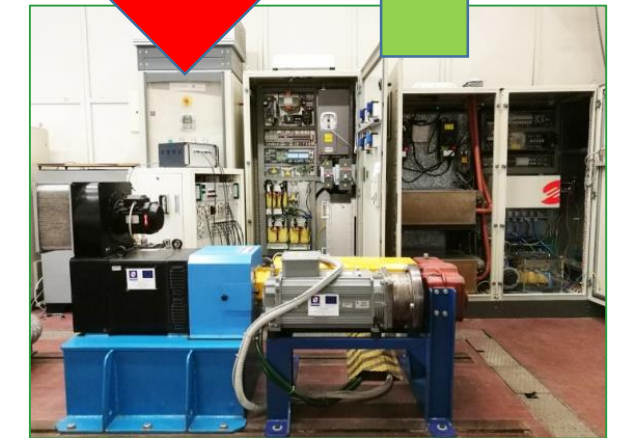
Simulink Model Built in
“.ppc” format



dSPACE
Control Desk



dSPACE
Hardware



Data acquisition
“.mat”

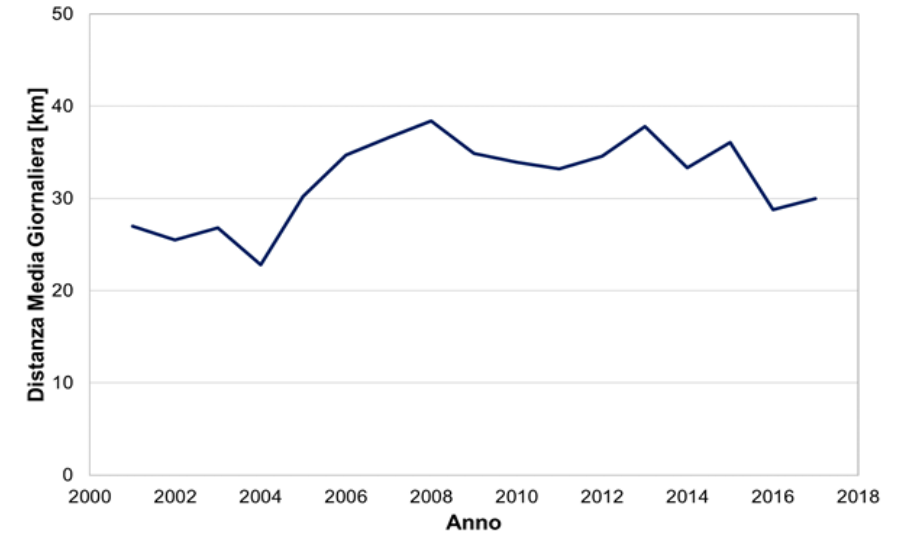
Sistemi di conversione ed accumulo dell'energia per la mobilità elettrica ed ibrida

The background of the slide features a blurred image of an electric vehicle charging station. A black charging cable is coiled on the right side, and a blue charging nozzle is visible on the left. The overall scene is brightly lit, suggesting an outdoor or well-lit indoor environment. The text is overlaid in the center of the image.

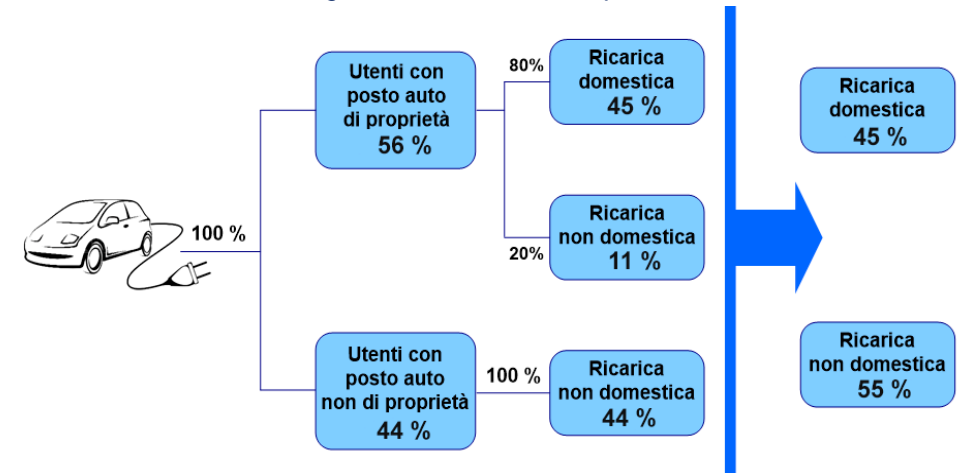
**Infrastruttura di Ricarica per
veicoli elettrici ed ibridi plug-in**

Infrastruttura di ricarica in Italia: Analisi dei Fabbisogni

Vehicle Segment	Brand	Model	Model Year	Battery Energy Content (kWh)	Range (km)
Small	Smart	Fortwo	2014	17,6	160
	Toyota	iQ EV	2012	12	85
	Fiat	500e	2015	24	135
	Citroen	C-Zero	2014	14,5	150
	Peugeot	iOn	2014	14,5	150
	Mitsubishi	i-MiEV	2014	16	160
	VW	e-up!	2013	18,7	160
	Chevrolet	Spark Ev	2015	18,4	130
	Bollore	Bluecar	2015	30	250
	Mitsubishi	MinicabMiEV	2014	16	150
Average				18.2	153
Median				16.8	150
Medium-Large	BMW	i3	2014	22	190
	Renault	Zoe	2015	22	240
	Volvo	C30 Electric	2015	24	145
	VW	e-Golf	2016	24,2	190
	Nissan	Leaf (2016)	2014	30	250
	Honda	FIT EV	2012	20	130
	Renault	Fluence Z.E.	2015	22	185
	Ford	Focus EV	2015	23	162
	Kia	Soul Electric	2015	27	212
	Mercedes	B-class El.Dr.	2015	36	230
	BYD	e6	2015	61,4	205
	Nissan	e-NV200	2015	24	170
	Toyota	RAV 4 EV	2014	41,8	182
	Tesla	Model S	2015	75	480
	Tesla	Model X	2015	90	489
Average				36.2	231
Median				24.2	190



Andamento della distanza media giornaliera percorsa nei giorni feriali dal 2000 in poi.



Differenziazione tra infrastruttura di ricarica pubblica e privata per i veicoli a trazione elettrica.

Infrastruttura di Ricarica esistente in Italia

- 1150 punti di ricarica totali
- 50 punti di ricarica rapida DC

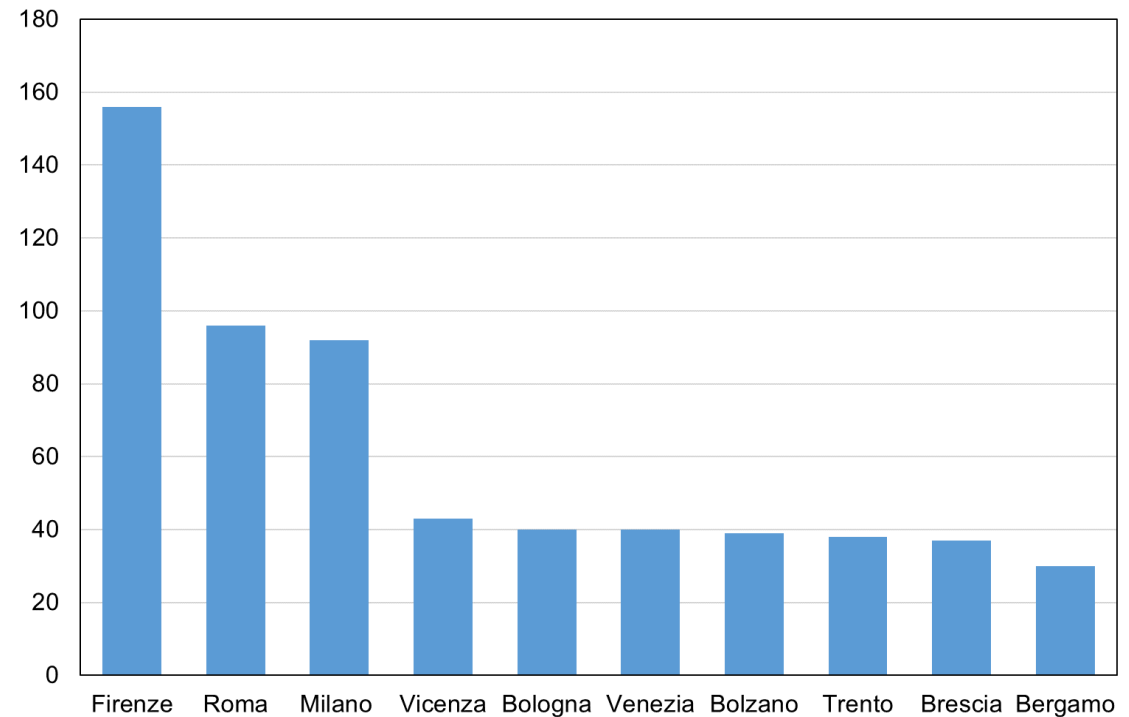


Source:

<https://www.colonnineelettriche.it/>

<https://www.eneldrive.it/>

- 10 Città con maggior numero di punti di ricarica



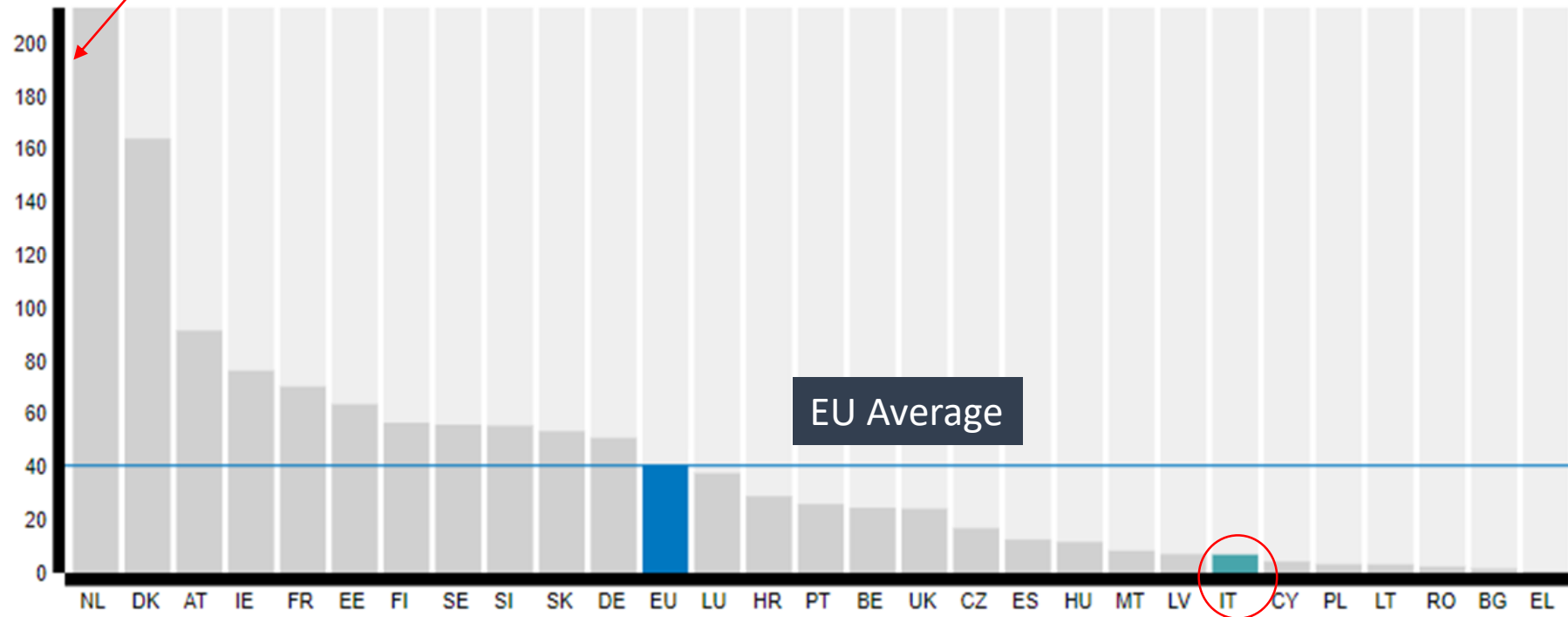
EU2020 - Progetto Replicate

Comune di Firenze, Comune di San Sebastian, ENEL,

CNR - IIT, CNR - IM

Confronto con la media Europea

Numero Punti di ricarica per ogni 100.000 abitanti



Source: European Commission – Mobility and Transport

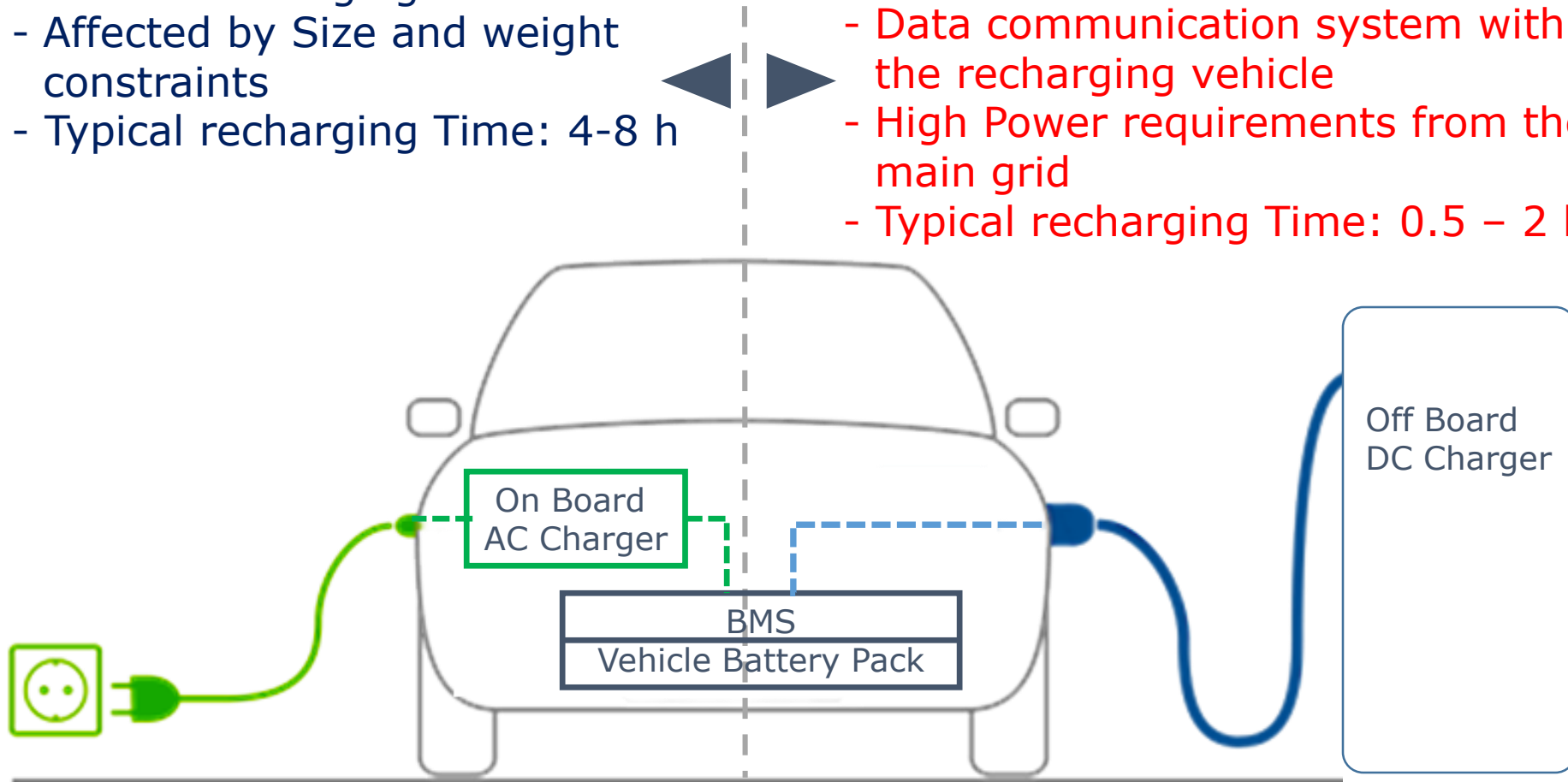
PEV Charging Devices

On Board AC Chargers:

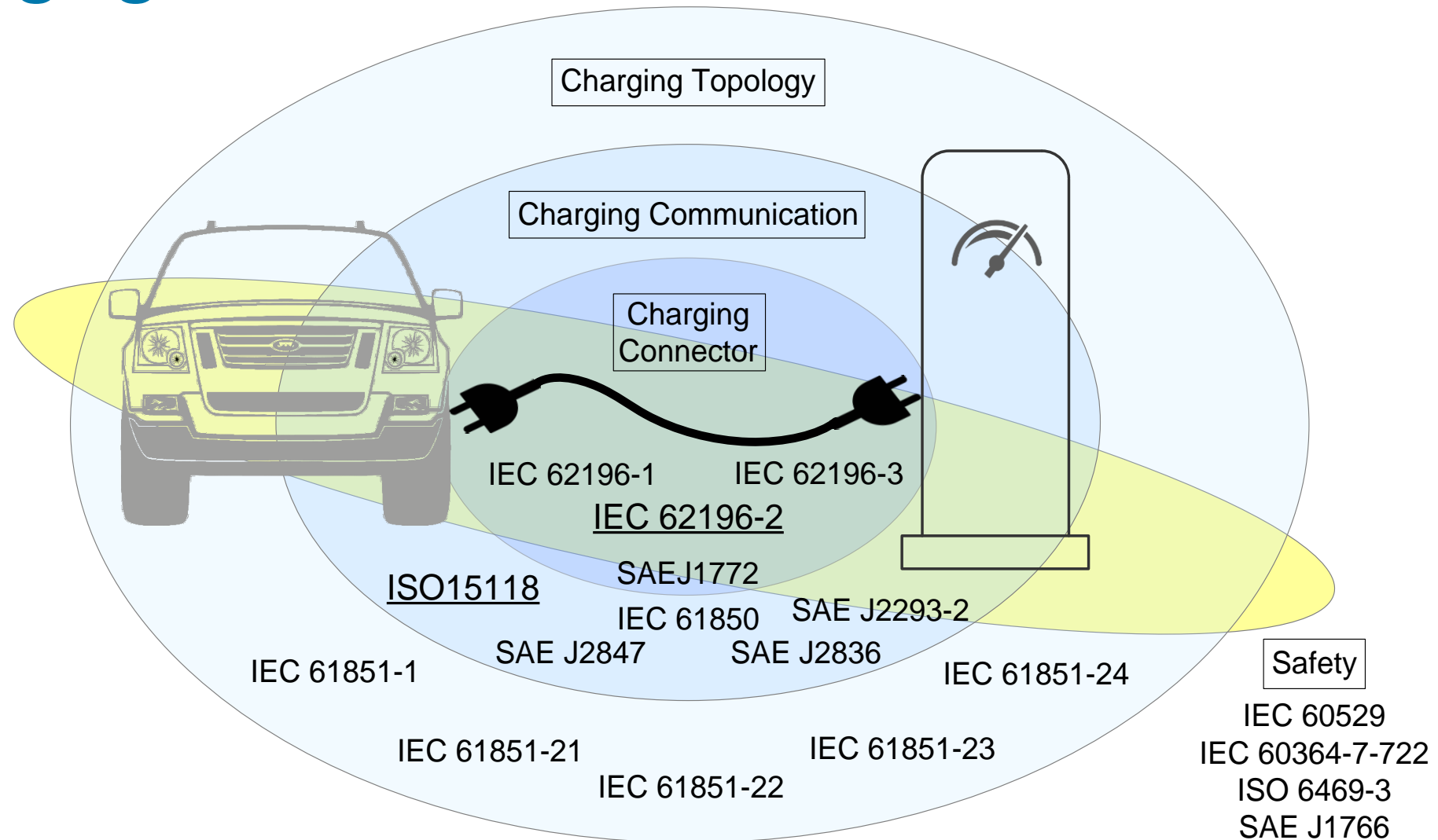
- Reduced Charging Power
- Affected by Size and weight constraints
- Typical recharging Time: 4-8 h

Off Board DC Chargers:

- V2G Management
- Data communication system with the recharging vehicle
- High Power requirements from the main grid
- Typical recharging Time: 0.5 – 2 h

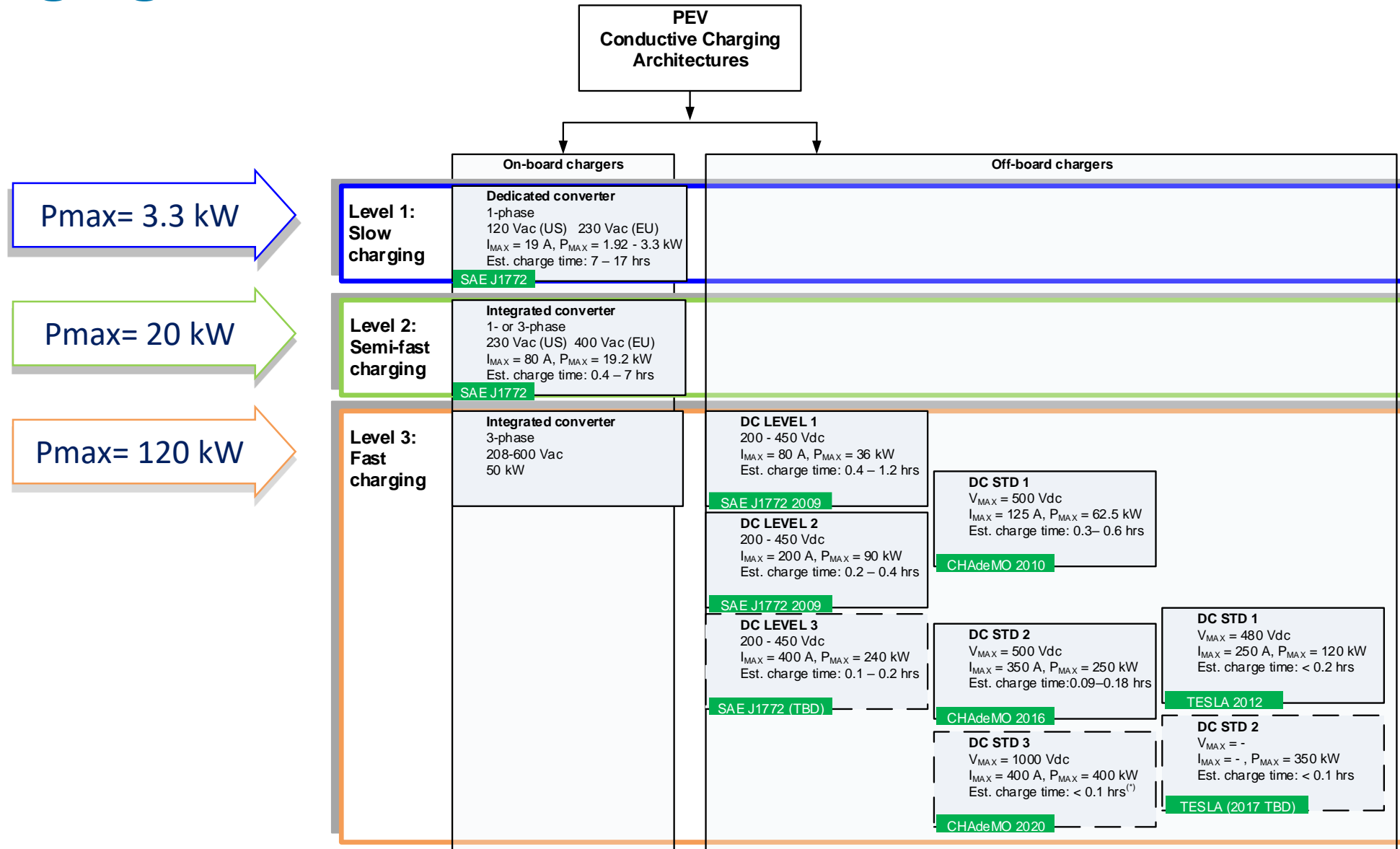


PEV Charging Standards



Source: L. Rubino, C. Capasso, O. Veneri "Review on plug-in electric vehicle charging architectures integrated with distributed energy sources for sustainable mobility" Applied Energy 2017

PEV Charging Standard: SAE + ChaDeMo + Tesla



Sistemi di conversione ed accumulo dell'energia per la mobilità elettrica ed ibrida

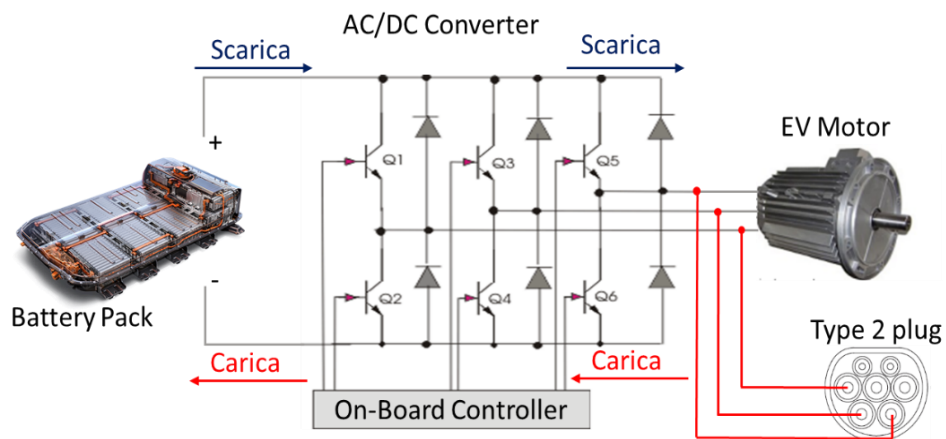
Standard di ricarica IEC 61851-1

Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4
Ricarica lenta con alimentazione monofase in AC a 230 V - 16 A (~3.7 kW)	Ricarica lenta con alimentazione monofase in AC a 230 V - 16 A (~3.7 kW)	Ricarica lenta con alimentazione monofase in AC a 230 V - 16 A; Ricarica mediamente rapida con alimentazione: <ul style="list-style-type: none"> - monofase AC 230 V - 32 A (~7 kW) - trifase AC 400 V - 16 A (~11 kW) - trifase AC 400 V - 32 A (~22 kW) - trifase AC 400 V 63 A (~43 kW) 	Ricarica ultra rapida in corrente continua fino a 400 V - 200 A DC (~80 kW)
Tempi di Ricarica: (6-8 h)	Tempi di Ricarica: (6-8 h);	Tempi di Ricarica: fino a 1 h;	Tempi di ricarica: fino a 15 min
Ricarica mediante una semplice presa domestica o industriale	Ricarica mediante cavo, connesso ad presa domestica o industriale, dotato di dispositivo Control Box PWM per garantire la sicurezza delle operazioni	Ricarica mediante l'impiego di connettori specifici e sistemi di sicurezza PWM.	Ricarica l'impiego di connettori specifici e sistemi di sicurezza con carica-batterie posizionato esternamente al veicolo.
Ammessa solamente in ambiente domestico privato	Ammessa in ambiente domestico e pubblico.	Ricarica ammessa in ambiente domestico e pubblico	Ricarica ammessa solamente in ambiente pubblico

Ricarica PEV: Modo 1 - 3



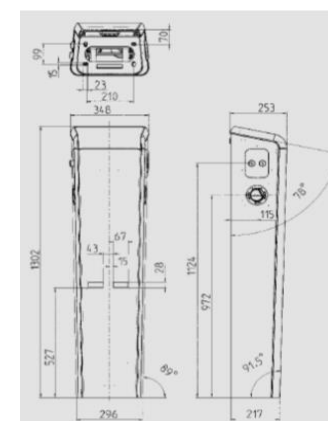
Modo 2: Equipaggiamento ricarica con connettore **tipo 3 A**



Sistema di ricarica per Modo 3 AC ad elevata potenza

Modo 3 Equipaggiamento per Ricarica

	SAE J1772-2009 (Tipo 1)	VDE-AR-E 2623-2-2 (Tipo 2)
Schema Presa		
Immagine del Connettore		
Immagine presa lato veicolo/stazione		
N. Contatti di potenza	3: Fase, Neutro, Massa	5: 3 Fasi, Neutro, Massa
N. Contatti di comunicazione	2: PP(prossimità), CP(Controllo Pilota)	2: PP(prossimità), CP(Controllo Pilota)
Potenza max di ricarica	7.4 kW (32 A monofase AC)	22 kW (32 A trifase AC)



es. Colonnine di ricarica modo 3 fino a 40 kW

Ricarica PEV modo 4

	System A CHAdeMO (Japan)	System B GB/T (PRC)	System C	
			COMBO1 (US)	COMBO2 (DE)
Connector				
Vehicle Inlet				
Communication Protocol	CAN		PLC	

Colonnine ricarica modo 4

TESLA Supercharger



Power: 120 kW DC
Standard: CCS

ABB Terra 51



Power: 50 kW DC
22 kW AC (mode 3)
Multi-standard

Siemens QC 45

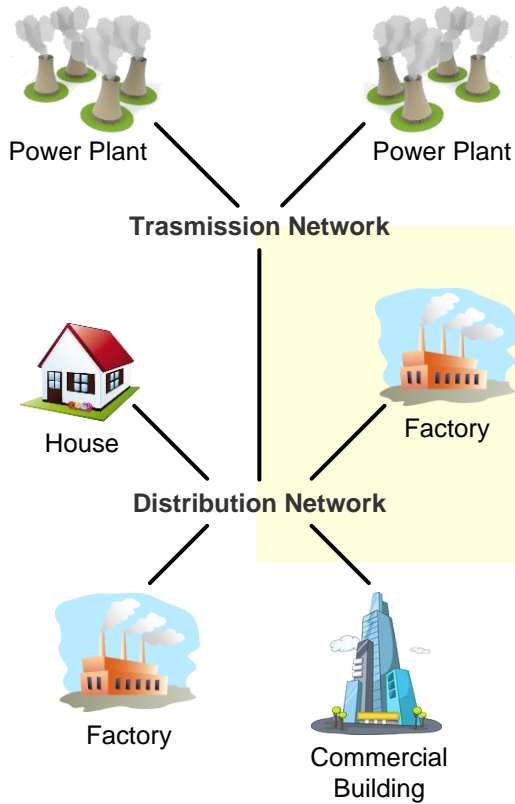


Power: 45 kW DC
22 kW AC (mode 3)
Multi-Standard

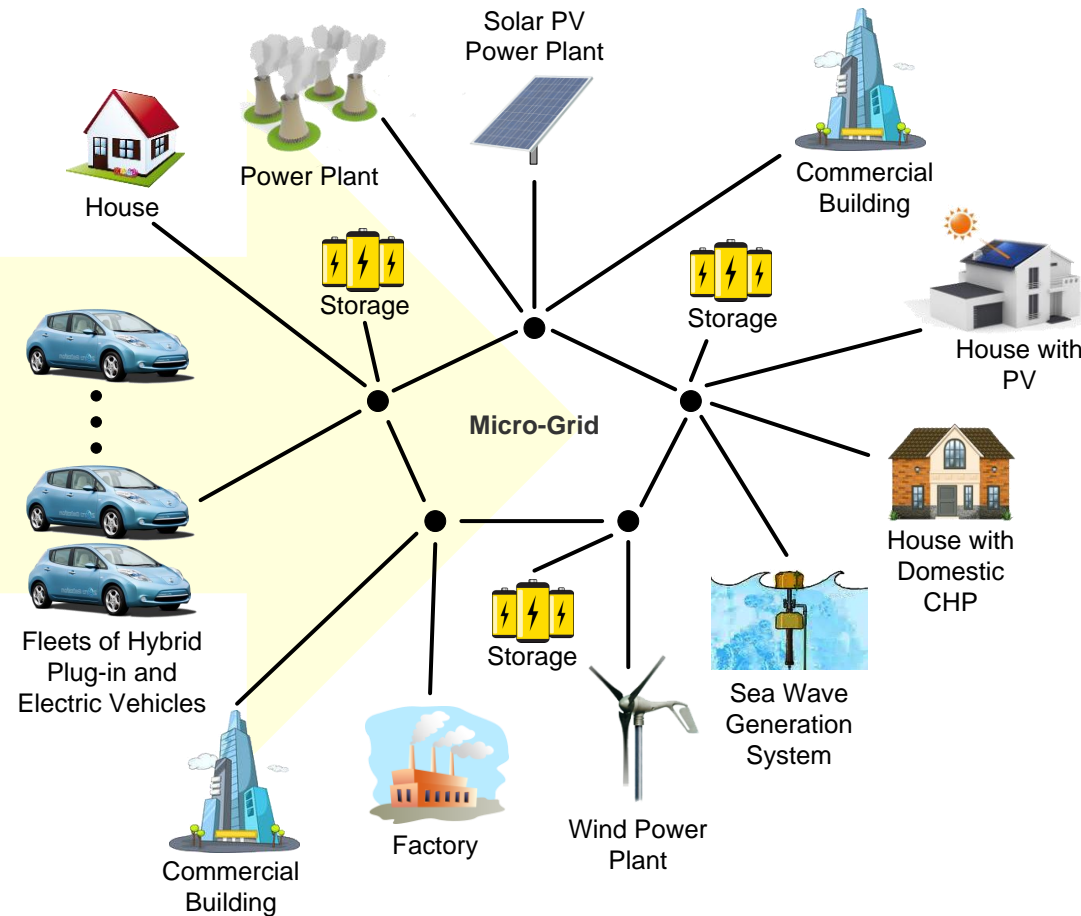
Sistemi di conversione ed accumulo dell'energia per la mobilità elettrica ed ibrida

Smart Grid - Integrazione dei PEV con la rete elettrica

Yesterday:
Centralized
Electric Network



Tomorrow:
Distributed
Electric Network

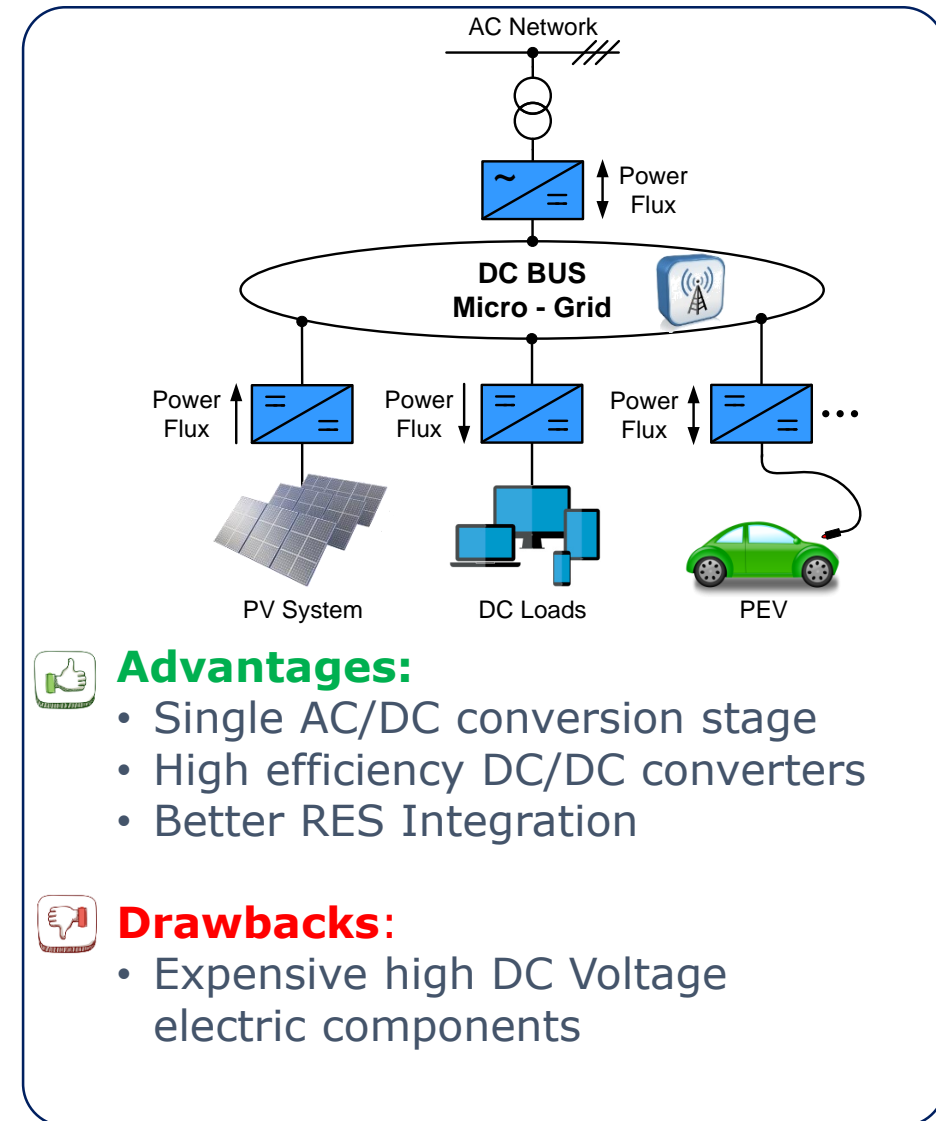
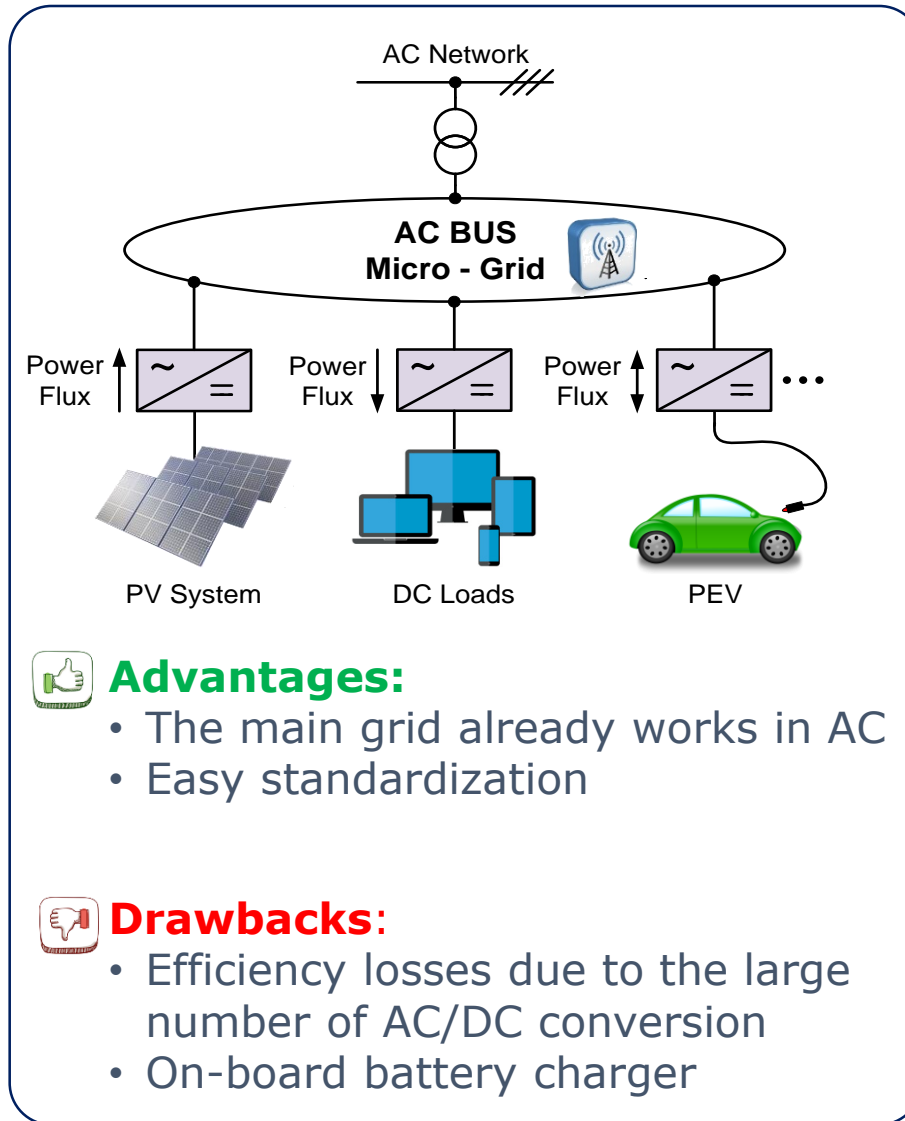


Principali Attori Energetici:

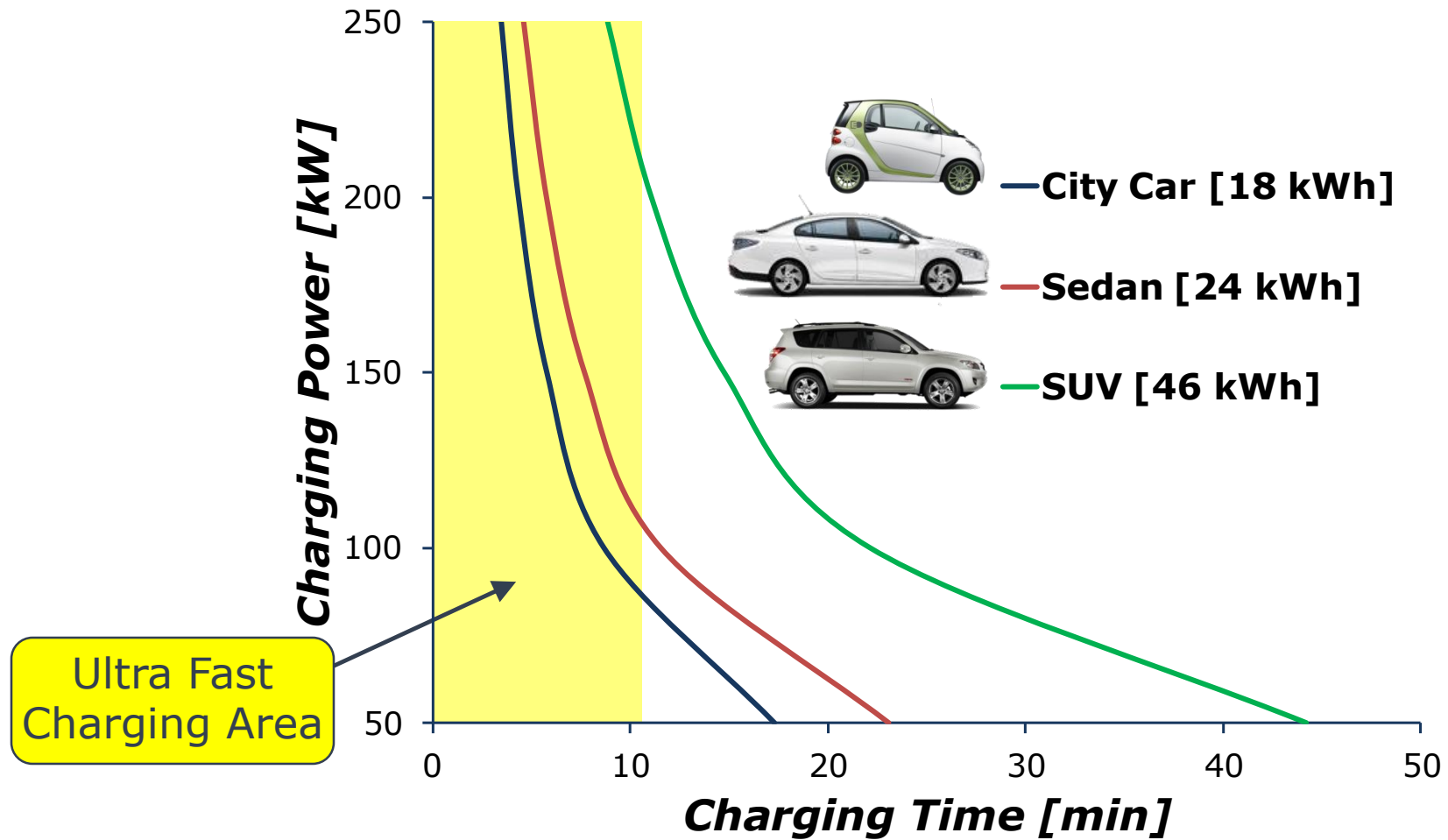
- Flotte di veicoli elettrici
- Sistemi di accumulo Stazionari
- Sistemi di generazione distribuiti da fonte rinnovabile

Sistemi di conversione ed accumulo dell'energia per la mobilità elettrica ed ibrida

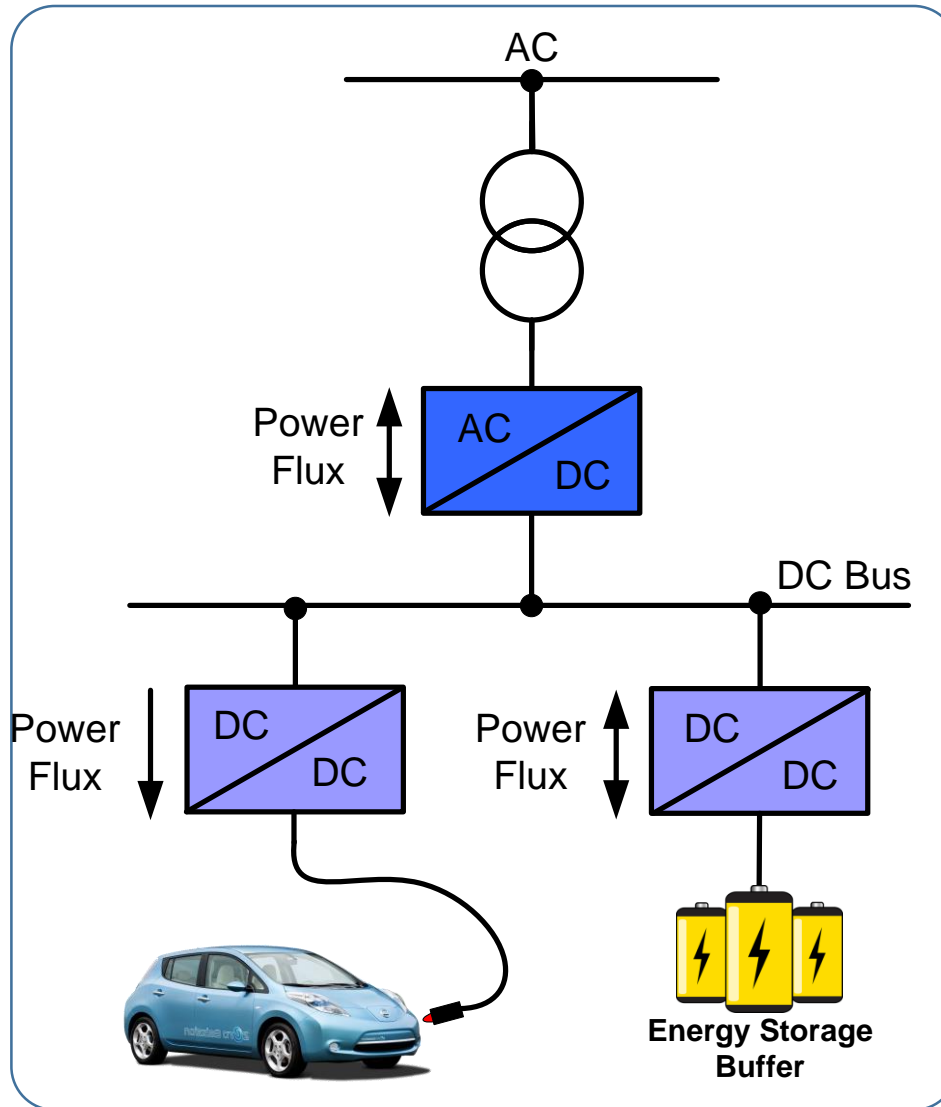
DC and AC Microgrids



Fast Charging Requirement



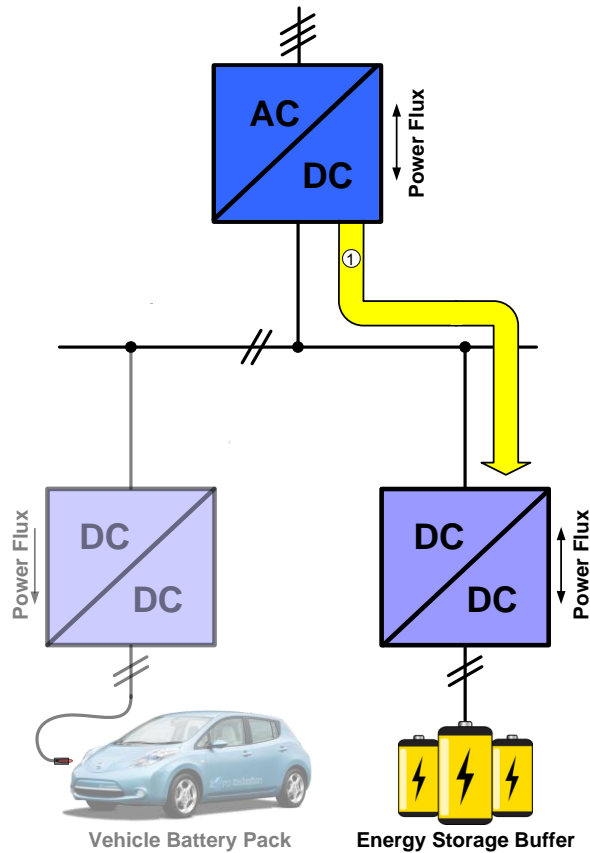
Buffer Architecture



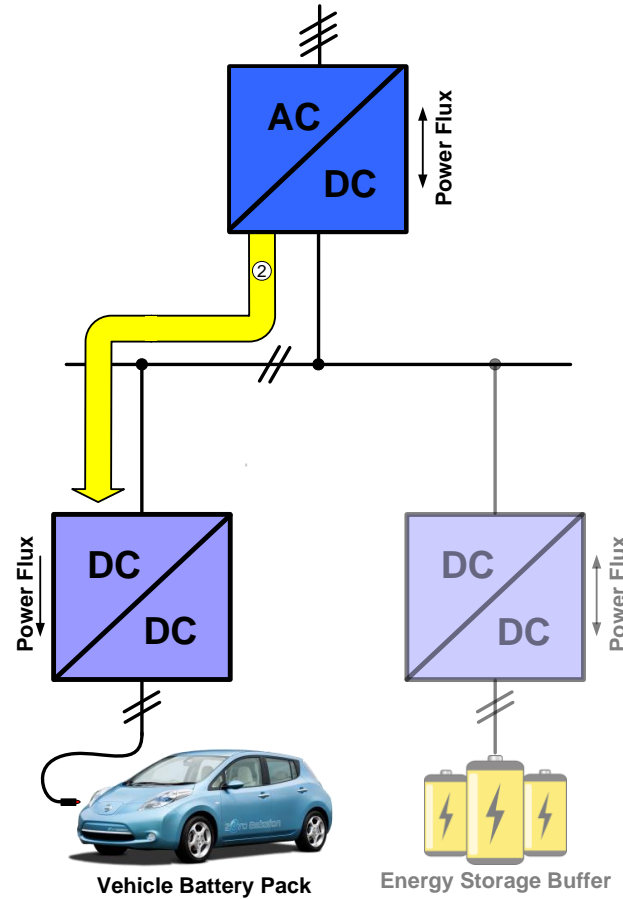
- The use of an energy storage system as power buffer can reduce the impact of the ultra-fast charging on the grid
- The grid tie converter can be downsized in terms of power

Buffer Architecture – How it Works

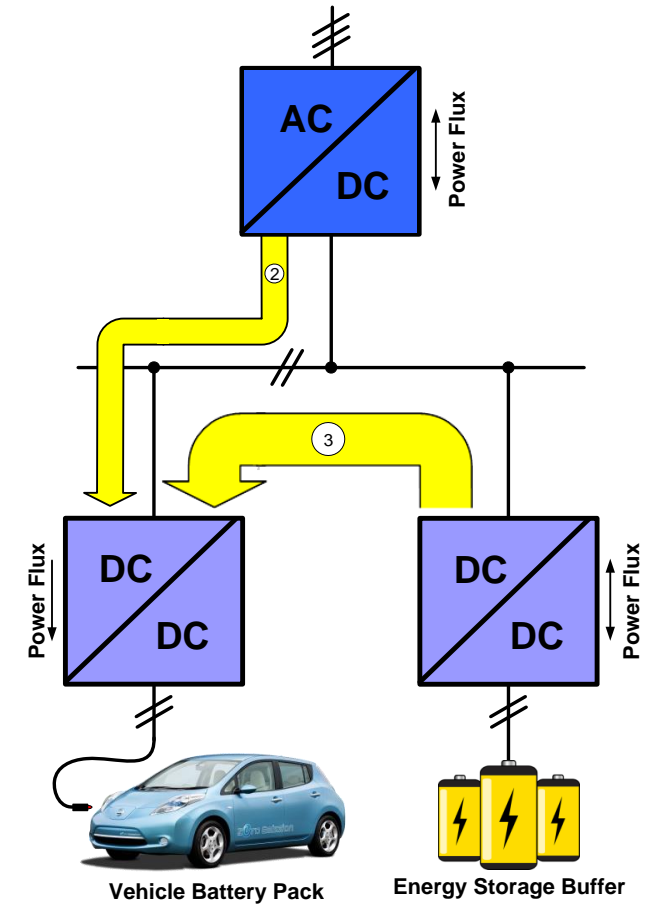
Low Power Buffering



Low Power EV Charging

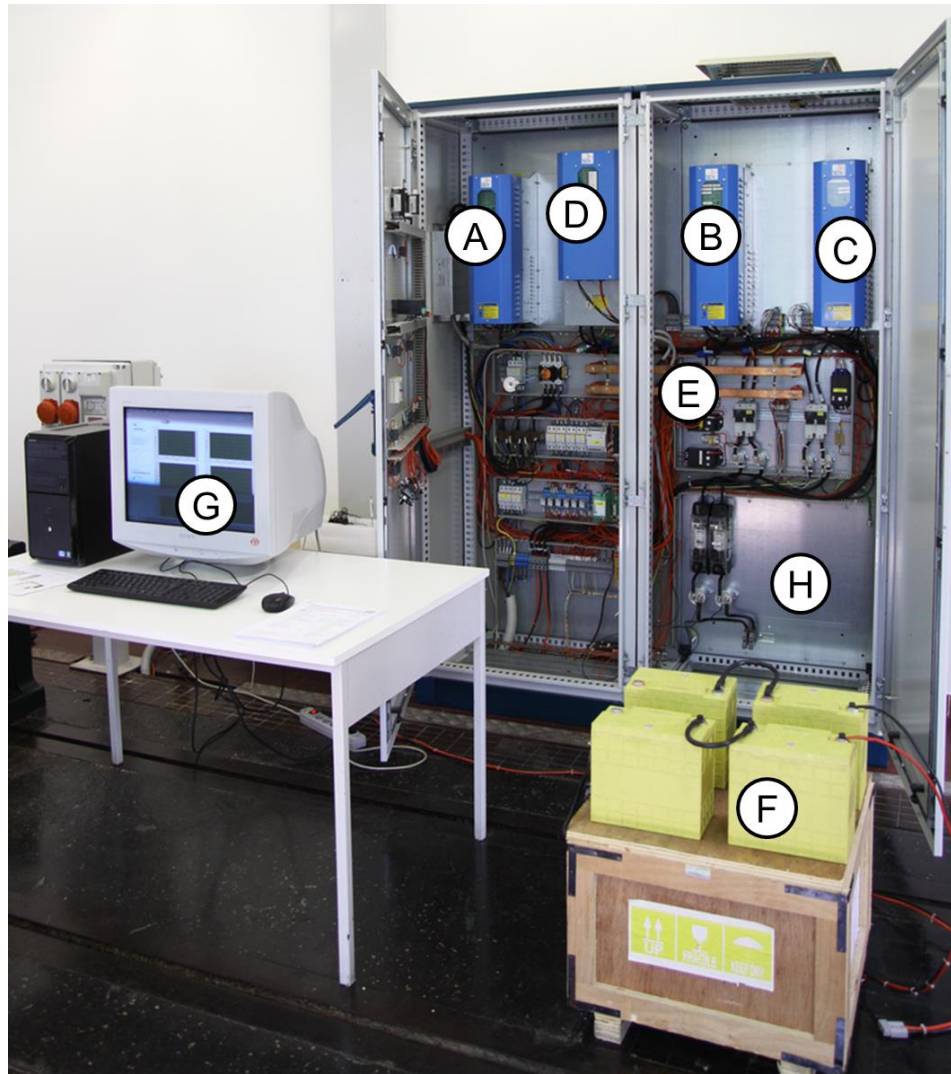


High Power Ultra-Fast EV Charging



Sistemi di conversione ed accumulo dell'energia per la mobilità elettrica ed ibrida

Istituto Motori: Prototype of DC Charging Station for PEV



A – AC/DC Bidirectional Converter

B– DC/DC Bidirectional Converter

C – DC/DC Unidirectional Converter

D – DC/DC Bidirectional Converter for RESs/ESs Integration

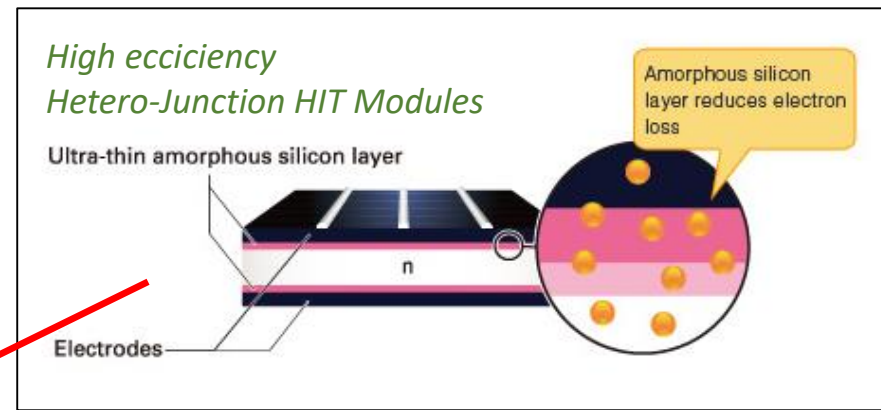
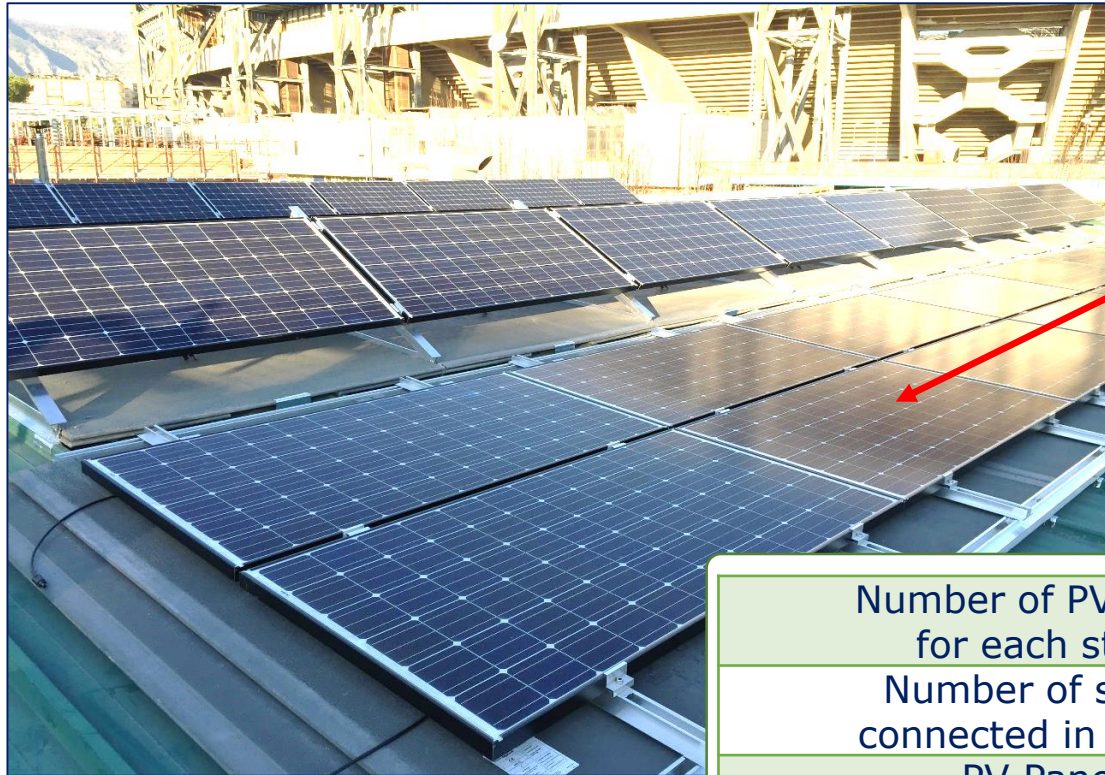
E – DC-Link

F – PEV Battery Pack On Charge

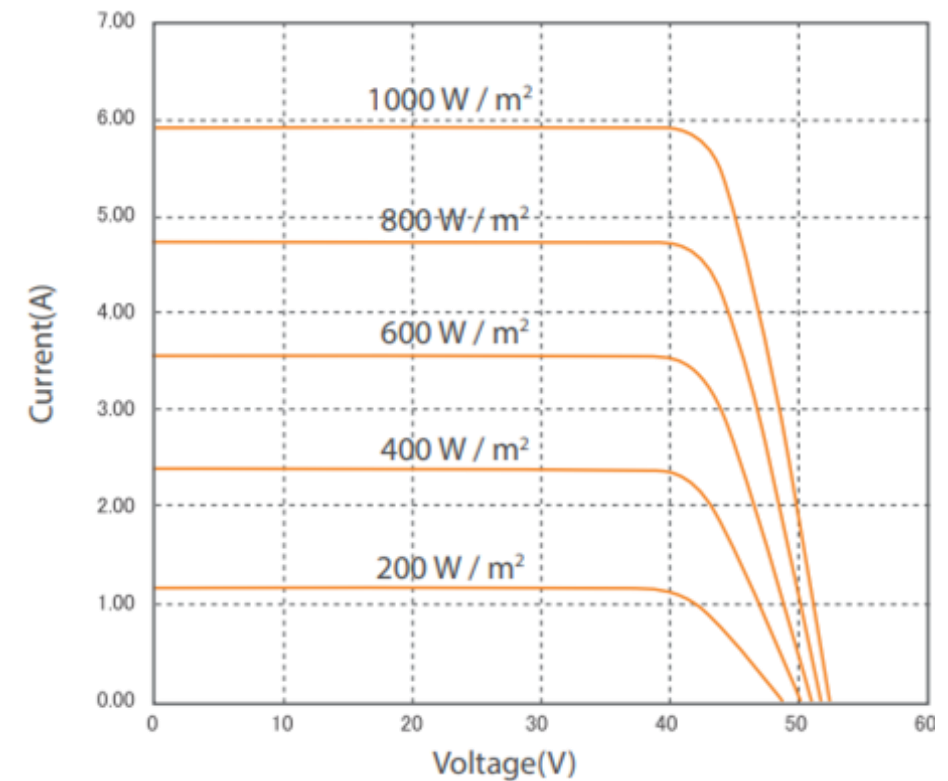
G – Monitoring PC

H – Additional Space for Future Extension

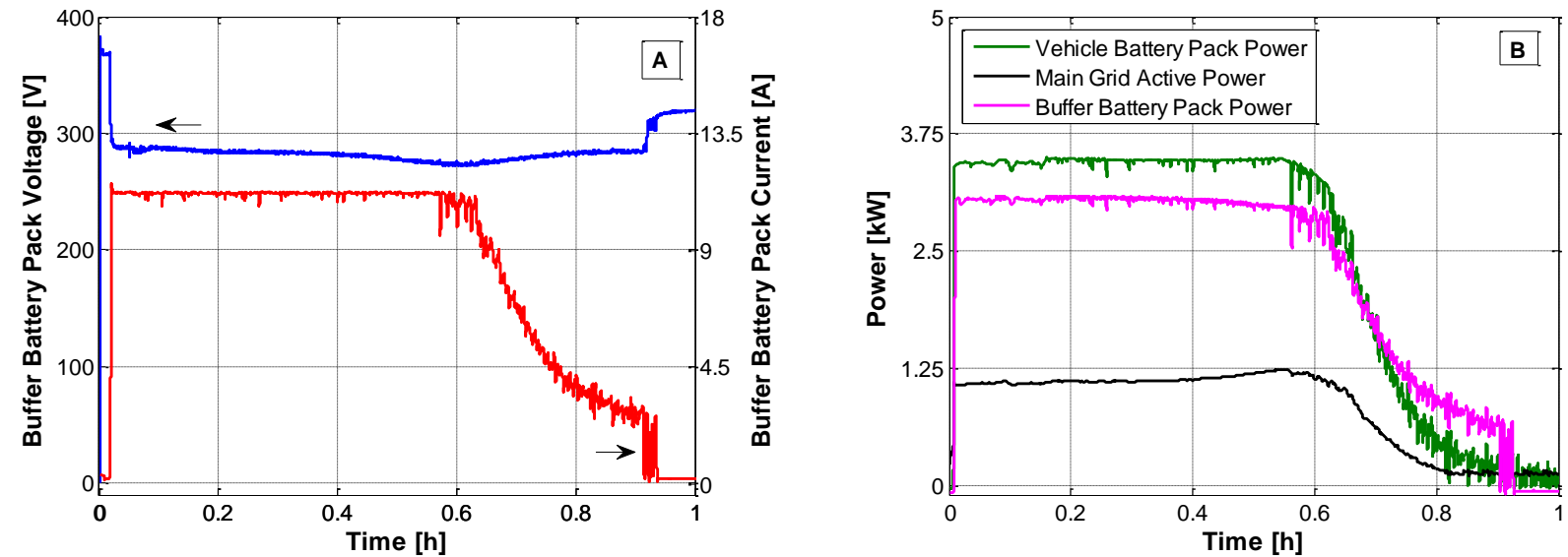
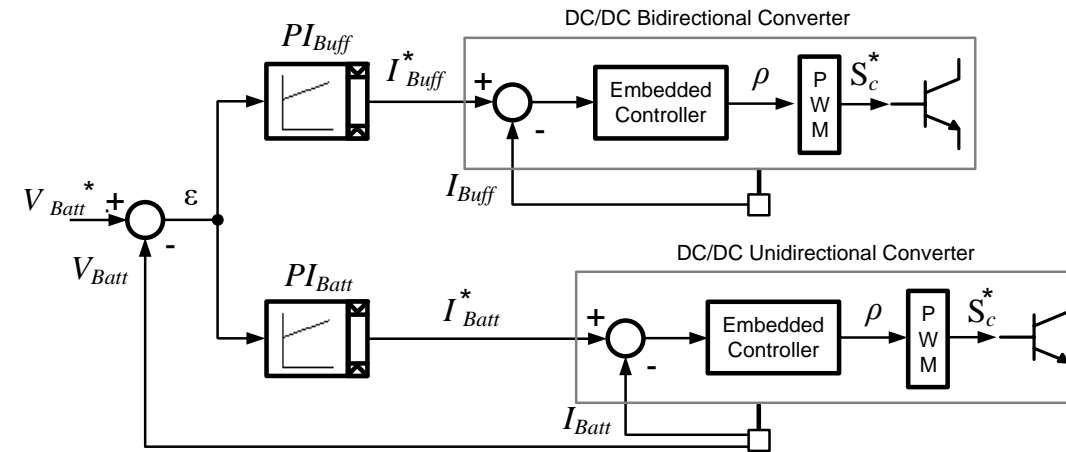
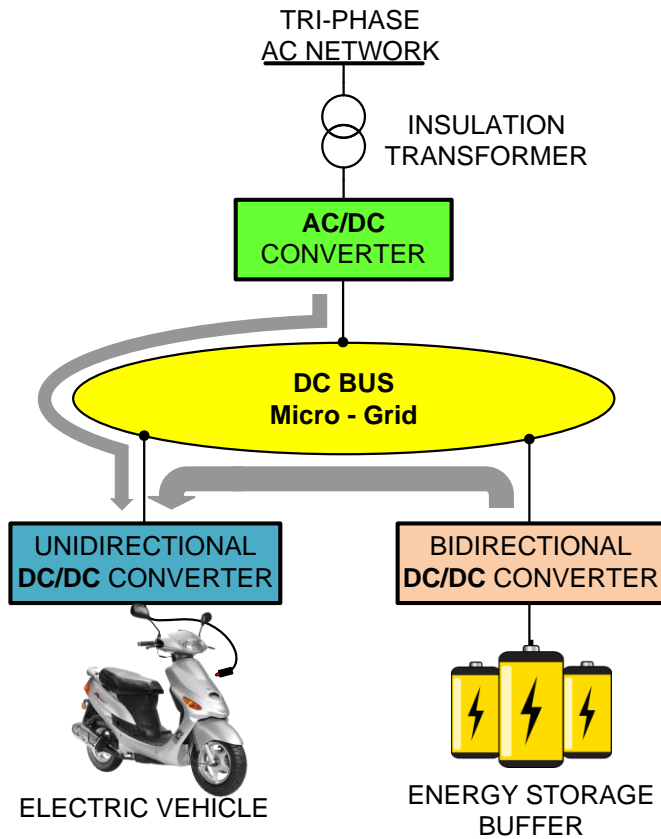
7.6 kWp PV Generation System



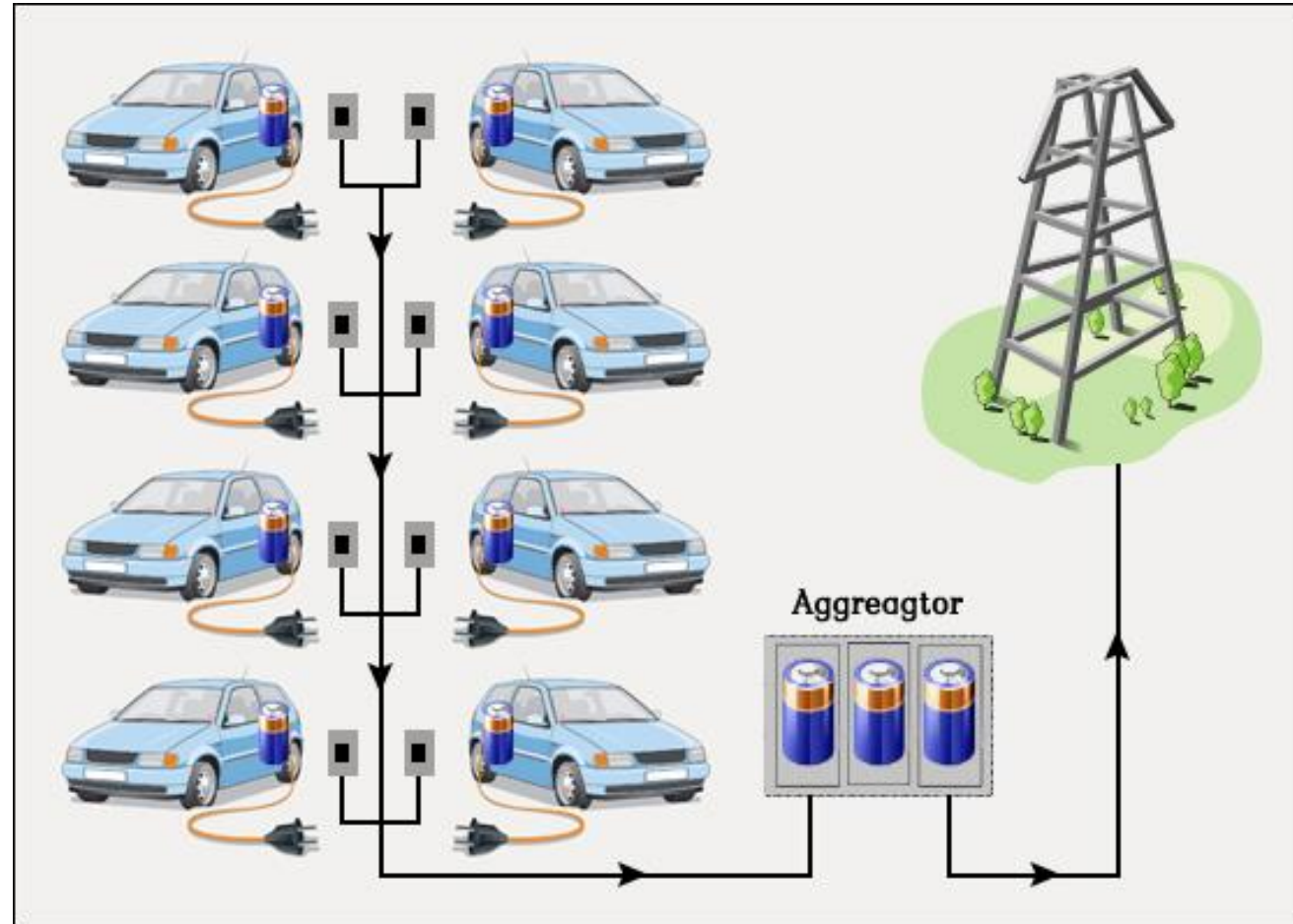
Number of PV panels for each string	8
Number of strings connected in parallel	4
PV Panels Maximum Power (W_p)	240.2
PV System Maximum Power (kW_p)	7.68
PV System Maximum Power Point Voltage (V)	350



Experimental Results – Charging Operations With Energy Storage Buffer + Main Grid

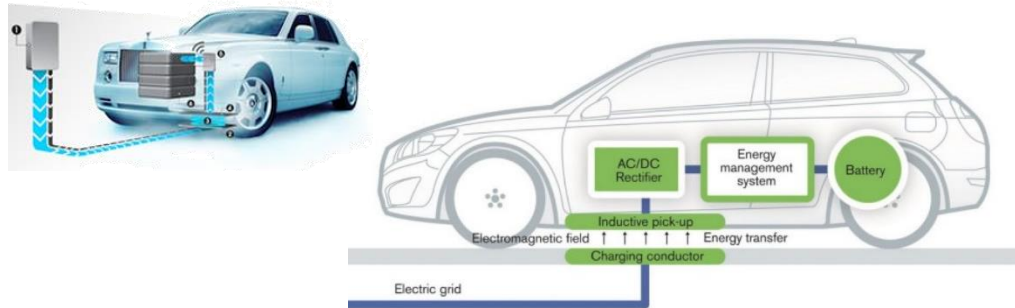


Future Works: Servizi Vehicle to Grid

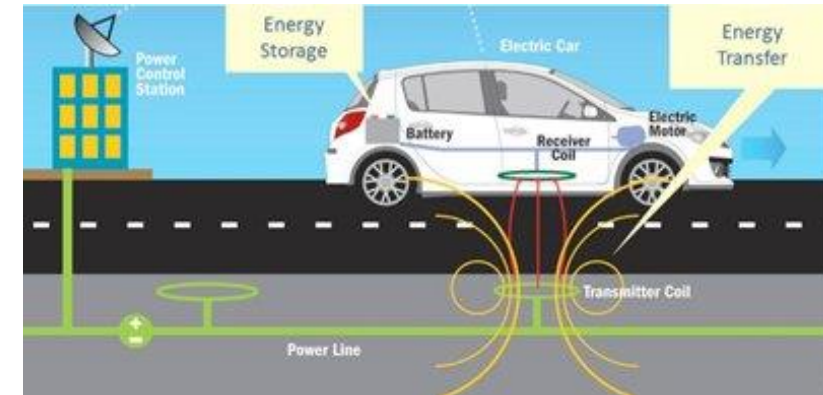


Sistemi di conversione ed accumulo dell'energia per la mobilità elettrica ed ibrida

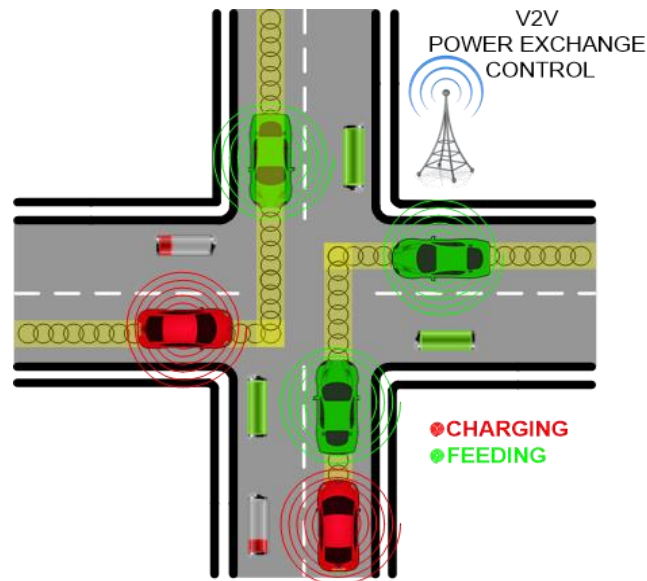
Future Works: Inductive Charging Systems



➤ Stationary Wireless Power Transfer



➤ Dynamic Wireless Power Transfer



➤ Vehicle to Vehicle Scheme



Sistemi di conversione ed accumulo dell'energia per la mobilità elettrica ed ibrida

Conclusioni

- I veicoli puramente elettrici di **piccola taglia** rappresentano una reale soluzione alle problematiche di inquinamento nei centri **urbani**. Tuttavia il bilancio complessivo in termini di CO₂ varia al variare del mix di produzione energetica nazionale.
- La diffusione sul mercato dei veicoli puramente elettrici è limitata dalla **ridotta autonomia** e da **tempi di ricarica** ancora elevati, se confrontati con quelli di veicoli ad alimentazione tradizionale. Per tale motivo è prevista una più rapida diffusione nel breve termine di veicoli a propulsione ibrida.
- Nuove tecnologie di accumulo e sistemi di conversione consentono di ridurre i tempi di ricarica. Tuttavia l'impatto per la rete elettrica, provocato da una capillare diffusione di veicoli in ricarica, va gestito in un contesto di tipo smart grid, favorendo la produzione di energia da **fonti rinnovabili**, lo scambio energetico con sistemi di accumulo stazionari e l'impiego di servizi **vehicle to grid**.



National Research Council of Italy

ISTITUTO MOTORI

Dr. Clemente Capasso

Research Technologist

Via G. Marconi, 4
80125 Naples, ITALY
<http://www.im.cnr.it>

Email: c.capasso@im.cnr.it
Tel: +39 081 7177155
Fax: +39 081 2396 097

Sistemi di conversione ed accumulo dell'energia per la mobilità elettrica ed ibrida