



Ricerca di Sistema elettrico

Le soluzioni costruttive della alimentazione
elettrica e dell'interfaccia di ricarica,
adottate dai produttori di veicoli elettrici

STUDIO PROPEDEUTICO ALLA INDIVIDUAZIONE DEI PERICOLI NELL'USO DI EV

Cinzia Di Bari, Paola Russo, Pierluigi Papillo

LE SOLUZIONI COSTRUTTIVE DELLA ALIMENTAZIONE ELETTRICA E DELL'INTERFACCIA DI RICARICA, ADOTTATE DAI PRODUTTORI DI VEICOLI ELETTRICI: STUDIO PROPEDEUTICO ALLA INDIVIDUAZIONE DEI PERICOLI

Cinzia Di Bari (ENEA), Paola Russo, Pierluigi Papillo (Università di Roma "Sapienza", DICMA)

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

Area: Efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto D.8: Mobilità elettrica sostenibile

Obiettivo: B4. Sicurezza accumulo al litio

Responsabile del Progetto: Antonino Genovese, ENEA

Ringrazio i colleghi Carla Menale e Angelo Tati per aver messo a disposizione le immagini relative ad una cella prismatica e ad una cella pouch. Ringrazio Francesco Vellucci e tutti i colleghi del laboratorio DTE PCU STMA che, in qualche modo, hanno collaborato in questa avventura. Ringrazio me stessa per aver portato a termine questo lavoro, nonostante le avversità, anche di tipo organizzativo.

Indice

SOMMARIO.....	4
INTRODUZIONE.....	5
1 GENERALITÀ.....	6
1.1 VEICOLO E VEICOLO ELETTRICO.....	6
1.2 DEFINIZIONI ADOTTATE DALLA NORMATIVA TECNICA INTERNAZIONALE.....	9
1.2.1 <i>Definizioni e abbreviazioni: ISO/TR 8713:2012</i>	9
1.2.2 <i>REESS, RESS e ESS: norme tecniche internazionali e norme ECE-ONU</i>	12
1.3 LA CONVERSIONE DI UN VEICOLO CON MOTORE A COMBUSTIONE INTERNA IN UN VEICOLO ELETTRICO.....	14
1.3.1 <i>Il “Decreto RETROFIT”</i>	14
1.3.2 <i>La conversione del veicolo: metodologia e procedure amministrative</i>	15
1.4 EV, ESS E SISTEMI DI RAFFREDDAMENTO.....	17
1.4.1 <i>Il sistema di alimentazione elettrica (REESS)</i>	17
1.4.2 <i>La batteria (ESS)</i>	17
1.4.3 <i>Il sottosistema di raffreddamento</i>	20
1.5 LA RICARICA DI UN EV: MODALITÀ, SPINE E PRESE.....	21
1.5.1 <i>Tipologie e modi per la ricarica Plug-in o ricarica conduttiva</i>	21
1.5.2 <i>Connettori</i>	24
2 LE SOLUZIONI COSTRUTTIVE ADOTTATE DAI PRODUTTORI DI EV: NOVE ESEMPI.....	28
2.1 BMW i3 BEV.....	31
2.2 DAIMLER SMART FORTWO.....	33
2.3 FIAT 500 EV.....	35
2.4 CHEVROLET SPARK EV (A123).....	37
2.5 HONDA Fit EV.....	39
2.6 NISSAN LEAF.....	41
2.7 FORD FOCUS EV.....	43
2.8 TOYOTA RAV4 EV.....	45
2.9 TESLA MODEL S E MODEL X.....	47
3 CONCLUSIONI.....	51
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	52

Sommario

Le finalità di questo lavoro sono quelle di applicare le conoscenze acquisite sulla sicurezza dei sistemi di accumulo elettrochimico, in particolare quelli basati sulla tecnologia Litio-ione, alla identificazione dei “nuovi” pericoli introdotti dalla mobilità elettrica. Infatti, il passaggio dalla motorizzazione a combustioni interna a quella elettrica comporta, tra le altre cose, la sostituzione del combustibile con un sistema di accumulo elettrochimico che presenta rischi diversi rispetto, anche, ai combustibili alternativi, quali il GPL, il Metano e l'idrogeno, per i quali le differenze da benzina e gasolio sono state già affrontate e risolte.

Questa problematica risulta ancora più importante se si pensa alla possibilità di convertire i veicoli con motore a combustione interna in veicoli elettrici, grazie al cosiddetto “Decreto Retrofit” ovvero il DECRETO 1 dicembre 2015, n. 219 del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI, vigente dal 26 gennaio 2016 e recante “Regolamento recante sistema di riqualificazione elettrica destinato ad equipaggiare autovetture M e N1.”, adottato in recepimento della regolamentazione ECE-ONU in materia.

Ai fini della valutazione del rischio e della realizzazione degli interventi di emergenza, si constata la necessità di dover procedere caso per caso, tenuto conto delle apprezzabili differenze costruttive rilevate: questa difficoltà è in corso di risoluzione a livello di ECE-ONU attraverso la elaborazione (tuttora in corso) di un regolamento, che modifica ed integra l' “AGREEMENT CONCERNING THE ESTABLISHING OF GLOBAL TECHNICAL REGULATIONS FOR WHEELED VEHICLES, EQUIPMENT AND PARTS WHICH CAN BE FITTED AND/OR BE USED ON WHEELED VEHICLES (ECE/TRANS/132 and Corr.1) Done at Geneva on 25 June 1998”, che specifica “*safety-related performance of electrically propelled road vehicles and their rechargeable electric energy storage systems.*” allo scopo di evitare danni all'uomo provenienti da veicoli che utilizzano la trazione elettrica.

Il Rapporto Tecnico è suddiviso in due parti principali: la prima parte è di carattere generale, e in essa si cercherà di fare chiarezza sulla terminologia utilizzata a livello nazionale e internazionale per individuare le tipologie di veicoli, la loro struttura, le interfacce e le modalità di ricarica. Nella seconda parte vengono presentate le soluzioni costruttive utilizzate da vari produttori di Veicoli Elettrici (EV), ponendo l'attenzione sui seguenti aspetti: struttura del REESS, localizzazione della batteria (ESS), tipologia e chimica di celle impiegate per la realizzazione dell'ESS e soluzioni costruttive.

Introduzione

Le finalità di questo lavoro sono quelle di applicare le conoscenze acquisite sulla sicurezza dei sistemi di accumulo elettrochimico, in particolare quelli basati sulla tecnologia Litio-ione, alla identificazione dei “nuovi” pericoli introdotti dalla mobilità elettrica. Infatti, il passaggio dalla motorizzazione a combustioni interna a quella elettrica comporta, tra le altre cose, la sostituzione del combustibile con un sistema di accumulo elettrochimico che presenta rischi diversi rispetto, anche, ai combustibili alternativi, quali il GPL, il Metano e l'idrogeno, per i quali le differenze da benzina e gasolio sono state già affrontate e risolte.

Questa problematica risulta ancora più importante se si pensa alla possibilità di convertire i veicoli con motore a combustione interna in veicoli elettrici, grazie al cosiddetto “Decreto Retrofit” ovvero il DECRETO 1 dicembre 2015, n. 219 del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI, entrata in vigore lo scorso 26 gennaio 2016 e recante “Regolamento recante sistema di riqualificazione elettrica destinato ad equipaggiare autovetture M e N1.”, adottato in recepimento della regolamentazione ECE-ONU in materia.

Ai fini della valutazione del rischio e della realizzazione degli interventi di emergenza, si constata la necessità di dover procedere caso per caso, tenuto conto delle apprezzabili differenze costruttive rilevate: questa difficoltà è in corso di risoluzione a livello di ECE-ONU attraverso la elaborazione (tuttora in corso) di un regolamento, che modifica ed integra l' “AGREEMENT CONCERNING THE ESTABLISHING OF GLOBAL TECHNICAL REGULATIONS FOR WHEELED VEHICLES, EQUIPMENT AND PARTS WHICH CAN BE FITTED AND/OR BE USED ON WHEELED VEHICLES (ECE/TRANS/132 and Corr.1) Done at Geneva on 25 June 1998”, che specifica “*safety-related performance of electrically propelled road vehicles and their rechargeable electric energy storage systems.*” allo scopo di evitare danni all'uomo provenienti da veicoli che utilizzano la trazione elettrica.

Nel corso del PAR 2016 sono stati stipulati tre accordi di collaborazione con le Università, che hanno reso possibile espandere in tre direzioni tali conoscenze: l'analisi di rischio di un REESS [1] (il sistema di accumulo elettrico, comprensivo di vari sottosistemi e il BCU-l'unità di controllo elettronico di tutta la batteria), fino ad arrivare alle operazioni di ricarica vere e proprie [2] e alla caratterizzazione chimico-fisica [3] dei residui di prove di incendio ed esplosione effettuate sulle unità fondamentali di un REESS: le celle elettrochimiche. Naturalmente, in una ottica di “Safety Review” [4], è necessario descrivere il veicolo elettrico in tutte le sue parti, inclusa l'interfaccia di ricarica.

Il Rapporto Tecnico è suddiviso in due parti principali: le Generalità, nelle quali si cercherà di fare chiarezza sulla terminologia utilizzata a livello nazionale e internazionale per individuare le tipologie di veicoli, la loro struttura, le interfacce e le modalità di ricarica. Nella seconda parte vengono presentate le soluzioni costruttive utilizzate da vari produttori di Veicoli Elettrici (EV), ponendo l'attenzione sui seguenti aspetti: struttura del REESS, localizzazione della batteria (ESS), tipologia e chimica di celle impiegate per la realizzazione dell'ESS e soluzioni costruttive.

1 Generalità

In questa prima parte del presente studio, si forniranno informazioni di carattere generale che fanno riferimento anche alla normativa tecnica e giuridica in vigore a livello nazionale ed internazionale. In particolare: si fornirà la definizione di veicolo e di veicolo elettrico (EV); si cercherà di fare chiarezza sulla definizione di “batteria” per un EV, soffermandoci sui significati degli acronimi più utilizzati, quali: ESS, RESS, REESS; si tratterà della possibilità di convertire una auto nata con motore a combustione interna, in una auto elettrica; verranno descritte le componenti di una batteria EV; si tratterà della ricarica dei veicoli elettrici, illustrandone modalità, tipologie di connessione, spine e prese.

1.1 Veicolo e veicolo elettrico

Il “Nuovo Codice della Strada”, D.Lgs. 30 aprile 1992, n. 285 (Edizione aprile 2017) [5] fornisce all’articolo 46 la nozione di veicolo:

[...]si intendono per veicoli tutte le macchine di qualsiasi specie, che circolano sulle strade guidate dall'uomo.

Escludendo:











- a) le macchine per uso di bambini, le cui caratteristiche non superano i limiti stabiliti dal regolamento;*
- b) le macchine per uso di invalidi, rientranti tra gli ausili medici secondo le vigenti disposizioni comunitarie, anche se asservite da motore).*










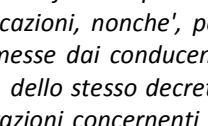
L’articolo 47, comma 1, ne fornisce la classificazione a livello nazionale e, nel comma 2, specifica la classificazione delle lettere e), f), g), h), i) e n) in base alle categorie internazionali (Tabella 1).

- a) veicoli a braccia;*
- b) veicoli a trazione animale;*
- c) velocipedi;*
- d) slitte;*
- e) ciclomotori;*
- f) motoveicoli;*
- g) autoveicoli;*
- h) filoveicoli;*
- i) rimorchi;*
- l) macchine agricole;*
- m) macchine operatrici;*
- n) veicoli con caratteristiche atipiche.*

Per **veicolo elettrico** [6] si intende un mezzo di trasporto che utilizza per il suo funzionamento un sistema a **propulsione elettrica** che è **generalmente alimentato con batterie ricaricabili**, ma che può essere anche collegato ad un sistema di alimentazione tramite reti aeree con fili sospesi, binari o fasce di alimentazione conduttrici per contatti striscianti laterali. I veicoli elettrici possono essere variabilmente e a seconda delle necessità o caratteristiche di progettazione a 1, a 2, a 3, a 4 o a più ruote. I veicoli elettrici [7] possono essere suddivisi in “veicoli nativi” e “veicoli convertiti”, cioè i veicoli a motore termico convertiti in EV (Tabella 2).

Tabella 1.

	CATEGORIA	DESCRIZIONE	NUMERO RUOTE	
a)	L1e	veicoli a due ruote la cilindrata del cui motore (se si tratta di motore termico) non supera i 50 cc e la cui velocita' massima di costruzione (qualunque sia il sistema di propulsione) non supera i ((45 km/h));	due ruote	
	L2e	veicoli a tre ruote la cilindrata del cui motore (se si tratta di motore termico) non supera i 50 cc e la cui velocita' massima di costruzione (qualunque sia il sistema di propulsione) non supera i ((45 km/h));	tre ruote	 <small>Ciclomotore a tre ruote per usi commerciali</small>
	L3e	veicoli a due ruote la cilindrata del cui motore (se si tratta di motore termico) supera i 50 cc o la cui velocita' massima di costruzione (qualunque sia il sistema di propulsione) supera i ((45 km/h));	due ruote	
	L4e	veicoli a tre ruote asimmetriche rispetto all'asse longitudinale mediano, la cilindrata del cui motore (se si tratta di motore termico) supera i 50 cc o la cui velocita' massima di costruzione (qualunque sia il sistema di propulsione) supera i ((45 km/h)) (motocicli con carrozzetta laterale);	tre ruote	
	L5e	veicoli a tre ruote simmetriche rispetto all'asse longitudinale mediano, la cilindrata del cui motore (se si tratta di motore termico) supera i 50 cc o la cui velocita' massima di costruzione (qualunque sia il sistema di propulsione) supera i ((45 km/h));		 <small>Ciclomotore a tre ruote per il trasporto di passeggeri</small>
	L6e	quadricicli leggeri, la cui massa a vuoto e' inferiore o pari a 350 kg, esclusa la massa delle batterie per i veicoli elettrici, la cui velocita' massima per costruzione e' inferiore o uguale a 45 km/h e la cui cilindrata del motore e' inferiore o pari a 50 cm ³ per i motori ad accensione comandata; o la cui potenza massima netta e' inferiore o uguale a 4 kW per gli altri motori, a combustione interna; o la cui potenza nominale continua massima e' inferiore o uguale a 4 kW per i motori elettrici. Tali veicoli sono conformi alle prescrizioni tecniche applicabili ai ciclomotori a tre ruote della categoria L2e, salvo altrimenti disposto da specifiche disposizioni comunitarie	quattro ruote	
	L7e	i quadricicli, diversi da quelli di cui alla categoria L6e, la cui massa a vuoto e' inferiore o pari a 400 kg (550 kg per i veicoli destinati al trasporto di merci), esclusa la massa delle batterie per i veicoli elettrici, e la cui potenza massima netta del motore e' inferiore o uguale a 15 kW. Tali veicoli sono considerati come tricicli e sono conformi alle prescrizioni tecniche applicabili ai tricicli della categoria L5 e salvo altrimenti disposto da specifiche disposizioni comunitarie		
b)	M	veicoli a motore destinati al trasporto di persone ed aventi almeno quattro ruote	almeno quattro ruote	
	M1	veicoli destinati al trasporto di persone, aventi al massimo otto posti a sedere oltre al sedile del conducente;	otto posti a sedere	
	M2	veicoli destinati al trasporto di persone, aventi piu' di otto posti a sedere oltre al sedile del conducente e massa massima non superiore a 5 t;	piu' di otto posti a sedere	

	CATEGORIA	DESCRIZIONE	NUMERO RUOTE	
	M3	veicoli destinati al trasporto di persone, aventi piu' di otto posti a sedere oltre al sedile del conducente e massa massima superiore a 5 t; ¹		
c)	N	veicoli a motore destinati al trasporto di merci, aventi almeno quattro ruote	trasporto di merci	
	N1	veicoli destinati al trasporto di merci, aventi massa massima non superiore a 3,5 t;		
	N2	veicoli destinati al trasporto di merci, aventi massa massima superiore a 3,5 t ma non superiore a 12 t;		
	N3	veicoli destinati al trasporto di merci, aventi massa massima superiore a 12 t;		
d)	O	rimorchi (compresi i semirimorchi);	rimorchi	
	O1	rimorchi con massa massima non superiore a 0,75t;		
	O2	rimorchi con massa massima superiore a 0,75 t ma non superiore a 3,5 t;		
	O3	rimorchi con massa massima superiore a 3,5 t ma non superiore a 10 t;		
	O4	rimorchi con massa massima superiore a 10 t. ^{2,3}		

¹ La L. 16 dicembre 1999, n. 494 ha disposto (con l'art. 11, comma 1) che:

- "Fino al 30 giugno 2001, nel centro abitato del' comune di Roma, le sanzioni amministrative per le infrazioni previste dall'articolo 146, comma 3, del decreto legislativo 30 aprile 1992, n. 285, e successive modificazioni, nonche', per quelle inerenti alla fermata, alla sosta e all'accesso ai settori interdetti alla circolazione, commesse dai conducenti degli autoveicoli pubblici e privati di cui all'articolo 47, comma 2, lettera b), categorie M2 e M3, dello stesso decreto legislativo n. 285 del 1992, sono elevate del 500 per cento rispetto a quelle vigenti; per le infrazioni concernenti la fermata e la sosta e' disposto il blocco del veicolo, sino al pagamento della sanzione irrogata."

- "Nelle ipotesi previste dall'articolo 146, comma 3, e dall'articolo 159 comma 1, del citato decreto legislativo n. 285 del 1992, e successive modificazioni, ed in caso di accesso ai settori interdetti alla circolazione, ferme le sanzioni amministrative di cui al presente articolo e sempre limitatamente alle infrazioni commesse dai conducenti degli autoveicoli pubblici e privati di cui al citato articolo 47, comma 2, lettera b), categorie M2 e M3, del predetto decreto legislativo n. 285 del 1992, si applica la sanzione accessoria della sospensione della patente di cui agli articoli 129 e 218 del medesimo decreto legislativo secondo le procedure dallo stesso previste, per un periodo da quindici giorni a due mesi."

² Il D.Lgs. 28 giugno 1993, n. 214 ha disposto (con l'art. 1, comma 1) che le disposizioni del titolo III del presente D.Lgs. si applicano dal 1° ottobre 1993.

³ Il D.Lgs. 18 aprile 2011, n. 59 ha disposto (con l'art. 28, comma 1) che "Le disposizioni del presente decreto legislativo si applicano a decorrere dal 19 gennaio 2013, ad eccezione di quelle contenute negli articoli 9, comma 2, 22, comma 1, e 23, nonche' nell'allegato III, con riferimento alle patenti per le categorie A, A1, B, BE, C, CE, D, DE, KA e KB".

Tabella 2. Tipologia di veicoli elettrici

	Acronimo	Significato	Descrizione
EV Nativi	BEV	<i>battery electric vehicle</i>	<i>Any motor vehicle that can be recharged from any external source of electricity, such as wall sockets, and the electricity stored in the rechargeable battery packs drives or contributes to drive the wheels.</i>
	PEV	<i>plug-in electric vehicle</i>	
	HEV	<i>hybrid electric vehicle</i>	<i>combines a conventional (usually fossil fuelpowered) powertrain with some form of electric propulsion</i>
	PHEV	<i>plug-in hybrid vehicles</i>	
EV da retrofit		<i>electric vehicle conversions of hybrid electric vehicles and conventional internal combustion engine vehicles</i>	

1.2 Definizioni adottate dalla normativa tecnica internazionale

La nomenclatura internazionale cui è necessario far riferimento al fine di accordarci sul significato di eventuali locuzioni o acronimi usati in questo testo, è quella delle norme giuridiche o tecniche internazionali. Qui di seguito ne passiamo in rassegna alcune, ritenute più significative, dalle quali estrapoliamo le definizioni che verranno utilizzate in questo report.

1.2.1 Definizioni e abbreviazioni: ISO/TR 8713:2012

Il TR 8713 [8] è un Rapporto tecnico che raccoglie i termini e le relative definizioni utilizzate dal Comitato tecnico n. 22, nelle norme tecniche da esso elaborate (*ISO/TC 22/SC 21 standards*), tra le quali vi sono le norme della serie ISO 12405. Questi termini sono specifici dei sistemi di propulsione elettrica impiegati nei veicoli elettrici destinati al traffico stradale come, ad esempio: veicoli elettrici a batteria (*battery-electric vehicles (BEV)*), veicoli elettrici ibridi (*hybrid-electric vehicles (HEV, PHEV)*), e veicoli a celle a combustibile puri o con ibridazione elettrica (*(pure and hybrid-electric) fuel cell vehicles (FCV, FCHEV)*). Le definizioni di nostro interesse sono raccolte nella tabella seguente (Tabella 3). Nella Tabella 4, si riportano le sigle e le abbreviazioni come elencati nella norma ISO 12405. In rosa desideriamo evidenziare alcuni termini che discuteremo nei prossimi paragrafi.

In Figura 1, si presenta una schematizzazione di un BEV (Battery Electrical Vehicle), proveniente dall' "Allegato A" del ISO/TR 8713:2012, che consideriamo non soddisfacente.

Tabella 3. Definizioni tratte dalla norma ISO/TR 8713:2012

Rif. Normativo	Acronimo	Definizione	Descrizione (Inglese)	NOTE alla voce (Inglese)
2.7	-	battery cell	basic rechargeable energy storage device, consisting of electrodes, electrolyte, container, terminals and usually separators, that is a source of electric energy obtained by direct conversion of chemical energy	
2.8	BCU	battery control unit	electronic device that controls or manages or detects or calculates electric and thermal functions of the battery system and that provides communication between the battery system and other vehicle controllers	
2.9	BEV	battery-electric vehicle	electrically propelled vehicle with only a traction battery as power source for vehicle propulsion	1. The abbreviation BEV is often shortened to EV.
2.10	-	battery pack	mechanical assembly comprising battery cells and retaining frames or trays, and possibly components for battery management	
2.11	-	battery system	energy storage device that includes cells or cell assemblies or battery pack(s) as well as electrical circuits and electronics, e.g. BCU (2.8), contactors	1. Battery system components can also be distributed in different devices within the vehicle.
2.13	-	cell electronics	electronic device that collects and possibly monitors thermal and electric data of cells or cell assemblies and contains electronics for cell balancing, if necessary	1. The cell electronics may include a cell controller. The functionality of cell balancing may be controlled by the cell electronics or it may be controlled by the BCU (2.8).
2.15	-	charger	set of equipment to condition the power of the external electric energy source for charging the RESS (2.61)	
2.24	-	electric drive	combination of traction motor, power electronics and their associated controls for the conversion of electric to mechanical power and vice versa	
2.25	-	electric power train	power train, consisting of electric drive (2.24) and drive train	
2.27	-	electrically propelled vehicle	vehicle with at least one electric drive (2.24) for vehicle propulsion	
2.30	-	energy density	amount of stored energy related to the battery pack (2.10) or system volume	3. Expressed in Wh/l. 4. The battery pack or system includes the cooling system, if any, to the point of a reversible attachment of the coolant lines or air ducts, respectively. externally chargeable HEV HEV (2.42) with RESS (2.61) that is intended to be charged from an external electric energy source 5. Externally chargeable HEVs are widely known as plug-in HEVs (PHEVs).
2.35	FC	fuel cell	electrochemical device that generates electricity by the conversion of fuel and an oxidant without any physical or chemical consumption of the electrodes or electrolyte	
2.36	FCHEV	fuel cell hybrid-electric vehicle	electrically propelled vehicle (2.27) with an RESS (2.61) and a fuel cell (2.35) system as power source for vehicle propulsion	
2.39	FCV	fuel cell vehicle	electrically propelled vehicle (2.27) with a fuel cell system (2.38) as power source for vehicle propulsion	1. An FCV can additionally have an RESS (2.61) or another power source for vehicle propulsion [FCHEV (2.36)].
2.42	HEV	hybrid-electric vehicle	vehicle with both a rechargeable energy storage system and a fuelled power source for propulsion. EXAMPLE: Internal combustion engine or fuel cell systems are typical types of fuelled power sources.	
2.43	-	hybrid power train	power train of an HEV (2.42), consisting of a fuelled power source and an electric power train (2.25)	
2.44	-	hybrid vehicle	vehicle with two (or more) different power sources for vehicle propulsion	1. Examples of power sources for vehicle propulsion are RESS (2.61), FC systems (2.38), internal combustion engine etc.
2.53	-	non-externally chargeable HEV	HEV (2.42) with RESS (2.61) that is not intended to be charged from an external electric energy source	
2.56	-	propulsion system	combination of on-board power source for vehicle propulsion and power train	
2.61	RESS	rechargeable energy storage system	system that stores energy for delivery of electric power and which is rechargeable. EXAMPLE: Batteries, capacitors etc.	
2.66	-	specific energy	amount of stored energy related to the battery pack (2.10) or system mass	1. Expressed in Wh/kg. 2. The battery pack or system shall include the cooling system, if any, to the point of a reversible attachment of the coolant lines or air ducts, respectively. For liquid cooled systems, the coolant mass inside the battery pack or system shall be included.

Tabella 4. Simboli e abbreviazioni utilizzati nella norma ISO 12405

Simbolo o abbreviazione	Significato
a.c.	<i>alternating current</i>
BCU	<i>battery control unit</i>
BEV	<i>battery electric vehicle</i>
BOL	<i>beginning of life</i>
C	<i>capacity, expressed in ampere hours (A-h)</i>
nC	<i>current rate equal to n times the one hour discharge capacity expressed in ampere (e.g. 3C is equal to three times the 1 h current discharge rate, expressed in ampere)</i>
d.c.	<i>direct current</i>
DUT	<i>device under test</i>
EODV	<i>end of discharge voltage</i>
EUCAR	<i>European Council for Automotive Research</i>
EV	<i>electric vehicle</i>
FCV	<i>fuel cell vehicle</i>
HEV	<i>hybrid electric vehicle</i>
I _{c,max}	<i>maximum continuous charge current specified by the manufacturer for energy efficiency at fast charging testing</i>
I _{d,max}	<i>maximum continuous discharge current specified by the manufacturer for energy and capacity testing</i>
I _{dp,max}	<i>maximum discharge pulse current specified by the manufacturer for power, internal resistance and energy efficiency testing</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
Li	<i>lithium</i>
Li-ion	<i>lithium-ion</i>
OCV	<i>Open Circuit Voltage</i>
PHEV	<i>plug-in hybrid electric vehicle</i>
PNGV	<i>partnership for a new generation of vehicles</i>
PSD	<i>power spectral density</i>
RESS	<i>rechargeable energy storage system</i>
r.m.s.	<i>root mean square</i>
RT	<i>room temperature (25 ± 2) °C</i>
SC	<i>standard cycle</i>
SCH	<i>standard charge</i>
SDCH	<i>standard discharge</i>
SOC	<i>state of charge</i>
USABC	<i>United States Advanced Battery Consortium</i>
η	<i>efficiency</i>

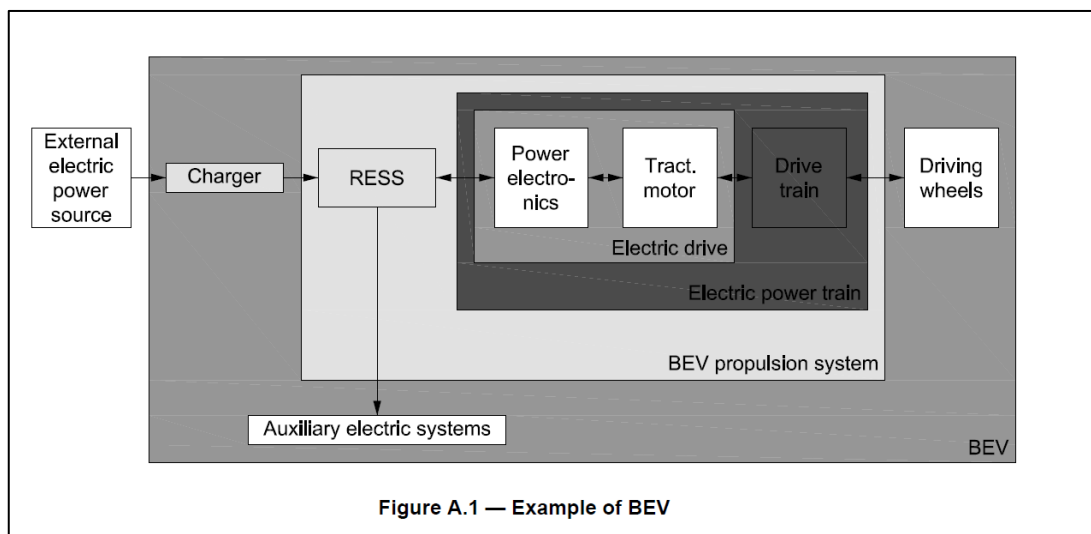


Figure A.1 — Example of BEV

Figura 1. Esempio di BEV (ISO/TR 8713:2012)

1.2.2 REESS, RESS e ESS: norme tecniche internazionali e norme ECE-ONU

La sicurezza dei veicoli elettrici è sotto il mirino dell'ONU ed è in corso di redazione un Accordo internazionale sui test che devono essere superati dalle component critiche di questi sistemi. Si tratta dell' "AGREEMENT CONCERNING THE ESTABLISHING OF GLOBAL TECHNICAL REGULATIONS FOR WHEELED VEHICLES, EQUIPMENT AND PARTS WHICH CAN BE FITTED AND/OR BE USED ON WHEELED VEHICLES (ECE/TRANS/132 and Corr.1)" [9], con l'obiettivo di specificare le caratteristiche di sicurezza dei veicoli stradali a propulsione elettrica e dei loro sistemi di accumulo elettrico ricaricabili, allo scopo di evitare danni alle persone che possono derivare dai veicoli a propulsione elettrica. Il regolamento si applica ai veicoli di Categoria 1 e 2 con una velocità massima di propulsione superiore ai 25 km/h e contenenti sistemi di accumulo ad elevata tensione, escludendo i veicoli permanentemente connessi alla rete elettrica.

Le definizioni introducono il concetto di REESS (*Rechargeable Electrical Energy Storage System*), tenendo conto della definizione di RESS (*Rechargeable Energy Storage System*) data dalle norme ISO 12405 (Figura 2). I REESS sono sistemi di accumulo elettrico con BCU integrata o esterna (Figura 3).

Nella Tabella 5 si riportano alcune definizioni utili, anche ai fini della sicurezza.

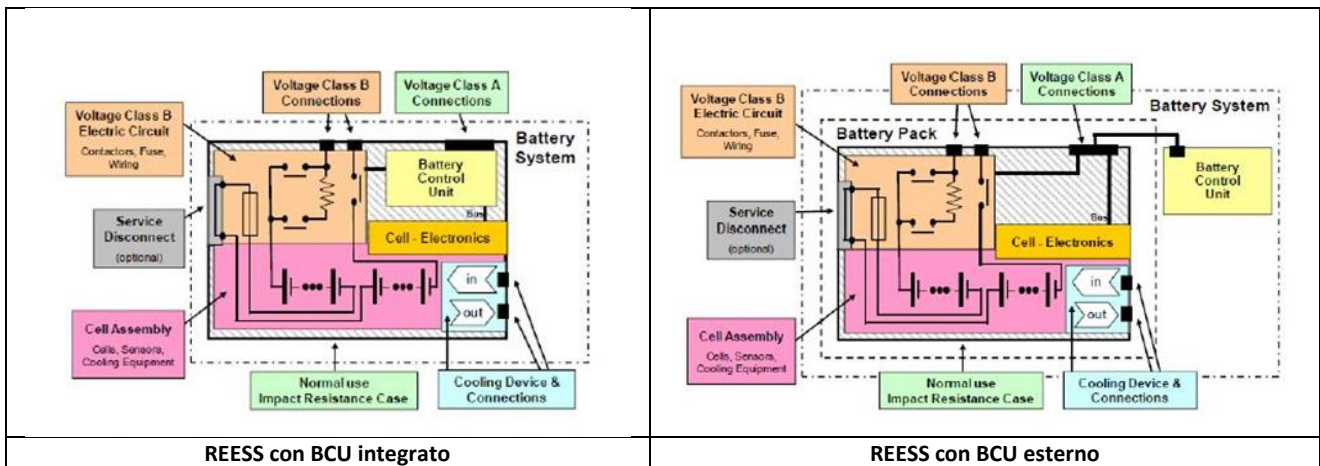


Figura 2. Tipologie di REESS [9]

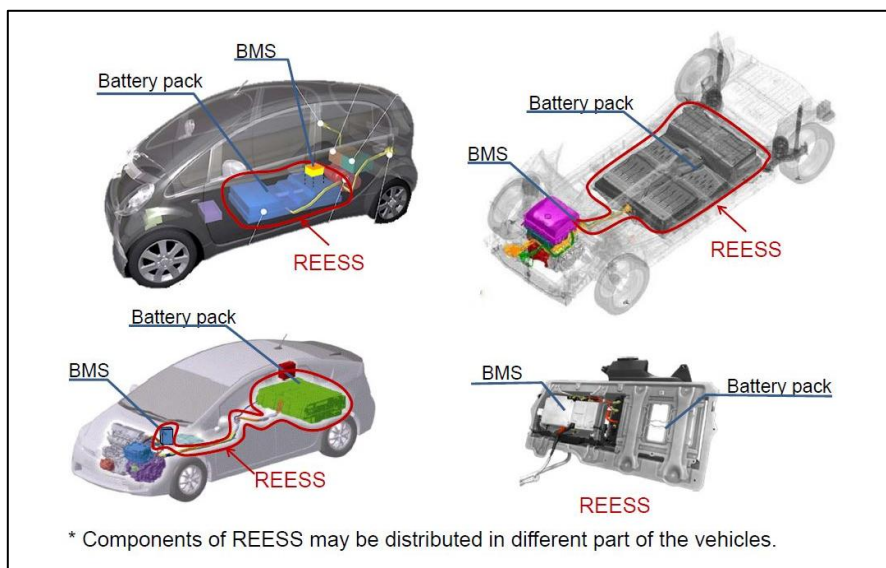


Figura 3. Distribuzione dei componenti del REESS

Tabella 5. Definizioni ECE-ONU [9]

Rif. Normativo	Definizione
3.2.	"Aqueous electrolyte" means an electrolyte based on water solvent for the compounds (e.g. acids, bases) providing conducting ions after its dissociation.
3.3.	"Automatic disconnect" means a device that when triggered, conductively separates the electric energy sources from the rest of the high voltage circuit of the electric power train.
3.5.	"Cell" means a single encased electrochemical unit containing one positive and one negative terminal, which exhibits a voltage differential across its two terminals and used as rechargeable energy storage device.
3.6.	"Conductive connection" means the connection using connectors to an external power supply when the rechargeable energy storage system (REESS) is charged.
3.7.	"Connector" means the device providing mechanical connection and disconnection of high voltage electrical conductors to a suitable mating component including its housing
3.8.	"Coupling system for charging the rechargeable energy storage system (REESS)" means the electrical circuit used for charging the REESS from an external electric power supply including the vehicle inlet.
3.9.	"C Rate" of "n C" is defined as the constant current of the Tested-Device, which takes 1/n hours to charge or discharge the Tested-Device between 0 per cent SOC and 100 per cent SOC.
3.11.	"Electric energy conversion system" means a system (e.g. fuel cell) that generates and provides electric energy for electrical propulsion.
3.12.	"Electric power train" means the electrical circuits which includes the traction motor(s), and may also include the REESS, the electric energy conversion system, the electronic converters, the associated wiring harness and connectors, and the coupling system for charging the REESS.
3.21.	"External electric power supply" means an alternating current (AC) or direct current (DC) electric power supply outside of the vehicle.
3.24.	"High voltage" means the classification of an electric component or circuit, if its working voltage is > 60 V and ≤ 1500 V DC or > 30 V and ≤ 1000 V AC root mean square (rms).
3.25.	"High voltage bus" means the electrical circuit, including the coupling system for charging the REESS, that operates on high voltage. Where electrical circuits, that are galvanically connected to each other and fulfilling the specific voltage condition, only the components or parts of the electric circuit that operate on high voltage are classified as a high voltage bus.
3.28.	"Luggage compartment" means the space in the vehicle for luggage accommodation, bounded by the roof, hood, floor, side walls, as well as by the barrier and enclosure provided for protecting the occupants from direct contact with high voltage live parts, being separated from the passenger compartment by the front bulkhead or the rear bulk head.
3.31.	"Normal operating conditions" includes operating modes and conditions that can reasonably be encountered during typical operation of the vehicle including driving at legally posted speeds, parking and standing in traffic, as well as, charging using chargers that are compatible with the specific charging ports installed on the vehicle. It does not include, conditions where the vehicle is damaged, either by a crash, road debris or vandalization, subjected to fire or water submersion, or in a state where service and or maintenance is needed or being performed.
3.37.	"Rechargeable electric energy storage system (REESS)" means the rechargeable electric energy storage system that provides electric energy for electrical propulsion. A battery whose primary use is to supply power for starting the engine and/or lighting and/or other vehicle auxiliaries systems is not considered as a REESS. The REESS may include the necessary ancillary systems for physical support, thermal management, electronic controls and casing.
3.38.	"REESS subsystem" means any assembly of REESS components which stores energy. REESS subsystem may or may not include entire management system of the REESS.
3.42.	"State of charge (SOC)" means the available electrical charge in a Tested-Device expressed as a percentage of its rated capacity.
3.47.	"Vehicle connector" means the device which is inserted into the vehicle inlet to supply electric energy to the vehicle from an external electric power supply
3.48.	"Vehicle inlet" means the device on the externally chargeable vehicle into which the vehicle connector is inserted for the purpose of transferring electric energy from an external electric power supply.

1.3 La conversione di un veicolo con motore a combustione interna in un veicolo elettrico

Con l'entrata in vigore del cosiddetto 'Decreto Retrofit' (D. M. T. n 219 del 1° dicembre 2015 - Regolamento recante sistema di riqualificazione elettrica destinato ad equipaggiare autovetture M e N1.), cioè dal 26 gennaio 2016, è possibile convertire le autovetture con motore a combustione interna, alla propulsione elettrica.

1.3.1 Il "Decreto RETROFIT"

Il DECRETO 1 dicembre 2015, n. 219 del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI, vigente dal 26 gennaio 2016 e recante "Regolamento recante sistema di riqualificazione elettrica destinato ad equipaggiare autovetture M e N1." è stato adottato in recepimento della regolamentazione ECE-ONU in materia, in particolare visti i regolamenti:

- UN10 della United Nations Economic Commission for Europe - Commissione economica per l'Europa delle Nazioni Unite, recante "Disposizioni uniformi relative all'omologazione di veicoli relativamente alla loro compatibilità elettromagnetica" e successivi emendamenti;
- UN85, recante "Disposizioni uniformi relative all'omologazione dei motori a combustione interna o dei gruppi motopropulsori elettrici destinati alla propulsione di veicoli a motore delle categorie M ed N, per quanto riguarda la misurazione della potenza netta e della potenza massima su 30 minuti dei gruppi motopropulsori elettrici" e successivi emendamenti;
- UN100, recante "Disposizioni uniformi relative all'omologazione di veicoli riguardo ai requisiti specifici del motopropulsore elettrico" e successivi emendamenti;
- UN101, recante "Disposizioni uniformi relative all'omologazione delle autovetture con solo motore a combustione interna o con motopropulsore ibrido elettrico per quanto riguarda la misurazione dell'emissione di biossido di carbonio e del consumo di carburante ovvero la misurazione del consumo di energia elettrica e dell'autonomia elettrica, e dei veicoli delle categorie M1 e N1 con solo motopropulsore elettrico per quanto riguarda la misurazione del consumo di energia elettrica e dell'autonomia elettrica" e successivi emendamenti;

La norma è costituita da 9 Articoli e 5 Allegati:

- ❖ Art. 1 Campo di applicazione
- ❖ Art. 2 Definizioni
- ❖ Art. 3 Omologazione
- ❖ Art. 4 Caratteristiche generali del sistema di riqualificazione elettrica richieste per l'omologazione
- ❖ Art. 5 Prescrizioni per il costruttore del sistema di riqualificazione elettrica
- ❖ Art. 6 Prescrizioni per l'installazione del sistema di riqualificazione elettrica sui veicoli e aggiornamento della carta di circolazione
- ❖ Art. 7 Conformità della produzione
- ❖ Art. 8 Riconoscimento dei sistemi omologati da altri Stati dell'Unione europea e dello Spazio economico europeo⁴
- ❖ Art. 9 Disposizioni finali 1.
- ❖ Gli allegati A, B, C, D, e E:
 - Allegato A: Modello della scheda informativa "Scheda informativa relativa all'omologazione di un sistema di riqualificazione elettrica" (art. 3, comma 1)
 - Allegato B: Modello del certificato di omologazione / estensione (art. 3, comma 4)
 - Allegato C: PROCEDURA PER LA VERIFICA DI IDONEITA' DI UN SISTEMA DI RIQUALIFICAZIONE ELETTRICA AI FINI DELLA SUA OMOLOGAZIONE (art. 3, comma 2)

⁴ In particolare, il comma 1 stabilisce che: "I sistemi equivalenti al sistema di riqualificazione elettrica, omologati da Stati appartenenti all'Unione europea ed allo Spazio economico europeo, sono soggetti a verifica delle condizioni di sicurezza del prodotto e di protezione degli utenti."

- Allegato D: MODELLO CERTIFICATO DI CONFORMITA' PER SISTEMA DI RIQUALIFICAZIONE ELETTRICA (art. 5, comma 3)
- Allegato E: Dichiarazione concernente l'installazione sul veicolo del sistema di riqualificazione elettrica (art. 6, comma 1)

1.3.2 La conversione del veicolo: metodologia e procedure amministrative

Tale conversione avviene utilizzando un “sistema di riqualificazione elettrica” e può essere effettuata non solo alle auto vetture, ma a tutti i veicoli a motore destinati al trasporto di persone aventi almeno quattro ruote ed ai veicoli destinati al trasporto di merci, aventi massa massima non superiore a 3,5 t.

Il “sistema di riqualificazione elettrica” è costituito da un **kit di trasformazione, costituito almeno da** (Articolo 2, comma 1, del D. M. T. n 219 del 1° dicembre 2015):

- un **motopropulsore** (macchina elettrica e relativo convertitore di potenza), montato a monte degli organi di trasmissione;
- un **pacco batterie** (comprensivo di sistema di gestione elettrica e termica degli accumulatori e di sistema di sezionamento e protezione) inteso a fornire in modo esclusivo l'energia e la potenza di trazione;
- un **interfaccia con la rete per la ricarica** del pacco batterie;
- **eventuali altri sottosistemi** necessari al corretto funzionamento del veicolo trasformato;

Dove per “pacco batterie” si definisce (Articolo 2, comma 1b, del D. M. T. n 219 del 1° dicembre 2015) “un gruppo di accumulatori elettrochimici collegati tra loro o racchiusi, come una unità singola e a se stante, in un involucro esterno, non destinato ad essere lacerato o aperto dall'utilizzatore”, le cui batterie ricaricabili che non soffrano di “effetto memoria”⁵.

L'utente ha la possibilità di avviare, in qualsiasi momento di vita del veicolo, tutte le procedure, meccaniche e burocratiche per realizzare un retrofit elettrico. Solo che per modelli più vecchi, come le auto d'epoca, prima di effettuare la conversione bisogna effettuare il test di “compatibilità elettromagnetica” [10].

Dal punto di vista pratico, per convertire un'auto elettrica bisogna sostituire il motore a combustione interna con quello elettrico, collegando quest'ultimo alla frizione tramite un giunto. I motori elettrici potrebbero essere collegati direttamente agli organi di trasmissione, ma ciò comporterebbe l'uso di componenti meccanici progettati appositamente e quindi ulteriori costi. Inoltre, in caso di percorsi in salita, si è constatato che disporre di marce inferiori può essere utile anche per l'elettrico. Occorre poi sistemare il pesante e ingombrante pacco batterie che di solito è installato al posto del serbatoio del carburante [11]. Infine, va installato un sistema di regolazione per la carica delle batterie (BMS) e per l'erogazione dell'energia elettrica che funziona attraverso un inverter. La Figura 4 mostra i componenti del kit per il retrofit.

Ci sono kit con diversi livelli di potenza in relazione al peso delle vetture. Per vetture fino a 1.000 kg è previsto un motore elettrico da 20 kW istantanei e 40 kW (54 CV) di picco, e una batteria da 13 kWh. Il secondo kit è studiato per veicoli da circa 1.500 kg e il terzo per mezzi di 2.000 kg in cui la potenza del motore può arrivare fino ai 110 kW (150 CV). La spesa maggiore della trasformazione è costituita dalla batteria che genericamente però, viene noleggiata e quindi non incide sul prezzo finale. I costi dei kit retrofit vanno da 5.000 a 10.000 euro, compresi del costo di mano d'opera in cui viene lo smantellamento del motore a benzina o gasolio, del radiatore, tubi di scarico e di raffreddamento e la loro sostituzione con motore elettrico, batterie ricaricabili, interfaccia di rete; l'installazione componenti elettronici è di circa 1.000 euro; anche se è da tenere in considerazione che il costo del kit retrofit varia in

⁵ E questo implica la possibilità di utilizzare sistemi con diverse tecnologie. Ad esempio, invece delle Litio-ione, si potrebbero usare anche batterie al sodio, del tipo Zebra o Sodio-Zolfo.

funzione alla tipologia e marca del veicolo da trasformare. La conversione consente di godere dell'esenzione del bollo auto per 5 anni e una riduzione del 50% sul prezzo della polizza assicurativa [12].

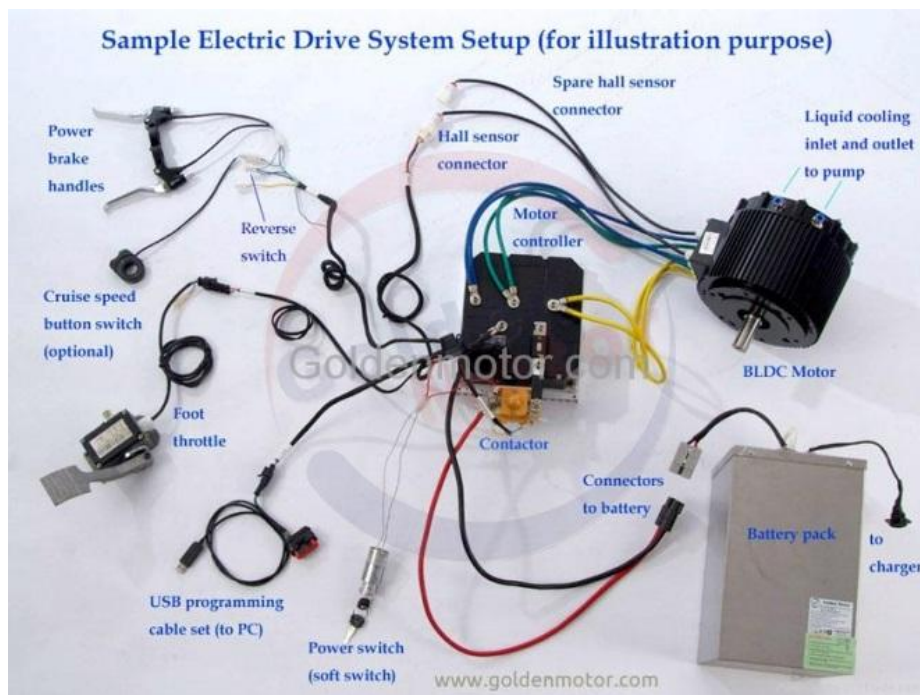


Figura 4. Esempio di Kit di trasformazione (kit retrofit) (goldenmotor.com)

Il kit di conversione elettrica deve essere tuttavia prodotto da un'azienda accreditata presso il Ministero dei Trasporti. Infatti il produttore deve dimostrare la bontà tecnica del progetto, produrre il kit secondo un ciclo che garantisca gli standard di qualità e consenta a qualsiasi officina autorizzata di installare la componentistica rispettando le specifiche di fabbricazione [13].

Il produttore del Kit, è responsabile delle procedure di recupero e trattamento del pacco batterie esauste.

I kit prodotti devono essere validati dalla motorizzazione civile, il montaggio viene effettuato da officine autorizzate, le quali portano il mezzo modificato alla motorizzazione, che controlla il corretto funzionamento e rilascia l'omologazione finale [14].

Il sistema di riqualificazione elettrica è omologato dalla Direzione generale per la motorizzazione del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, la quale assegna il numero di omologazione e rilascia il certificato. Il sistema di riqualificazione elettrica deve essere progettato, costruito e montato in modo tale che, nelle normali condizioni di impiego, non siano alterate le originarie caratteristiche del veicolo in termini di prestazioni e sicurezza.

E' previsto il rilascio del **nulla osta del costruttore del veicolo** nei casi in cui, durante il passaggio alla trazione elettrica, bisogna sostituire o modificare parti del veicolo al di fuori del sistema di propulsione. Ad esempio il software per la gestione dei sistemi anti-bloccaggio, controllo della trazione e della stabilità del veicolo. In alternativa al nulla osta del costruttore del veicolo, bisogna effettuare le prove necessarie a verificare che le modifiche realizzate non hanno alterato i sistemi di sicurezza già presenti e che, l'installazione del motore elettrico, rispetta le prestazioni del motore originale [15].

La trasformazione del veicolo da tradizionale a elettrico, comporta obbligatoriamente, **l'aggiornamento della carta di circolazione** da parte della motorizzazione che verifica e prova il veicolo riconvertito. Si ricorda inoltre che una volta effettuata la riqualificazione elettrica di un veicolo non è consentito il ripristino del motore endotermico.

1.4 EV, ESS e sistemi di raffreddamento

1.4.1 Il sistema di alimentazione elettrica (REESS)

L'alimentazione elettrica di un veicolo elettrico o ibrido (ESS, Energy Storage System. O RESS o REESS come visto nel Paragrafo 2.4), è un sistema complesso di cui riepiloghiamo le parti essenziali:

- Il contenitore (*Housing*), nelle sue parti: superiore, inferiore
- Il connettore esterno, applicato al contenitore
- La batteria, costituita da più moduli; a loro volta costituiti da celle
- Il sistema elettronico di gestione della batteria: hardware e software
- Il sistema di raffreddamento (*cooling subsystem*)
- Componenti meccanici ed elettrici

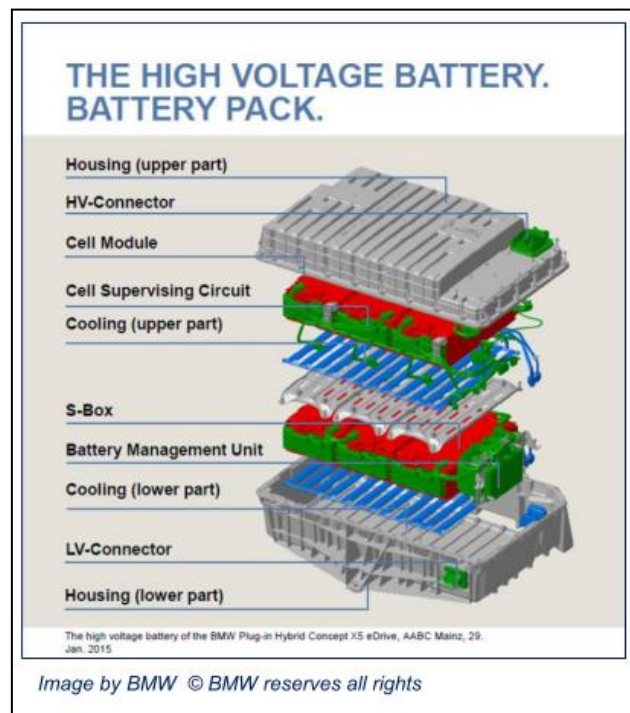


Figura 5.

Un ESS fornisce energia e potenza al veicolo sia per la trazione che per le altre funzioni non propulsive. Come già visto al paragrafo 1.2.2, le componenti di un ESS possono essere de-localizzate all'interno di un veicolo ed ogni costruttore adotta la sua soluzione progettuale, che va dalla struttura della batteria, dal suo posizionamento, la scelta del BMS, ecc. La Figura 5 presenta, nelle sue parti, un sistema di alimentazione BMW.

1.4.2 La batteria (ESS)

Gli ESS sono costituiti da batterie o super-condensatori con varie chimiche, con i loro pro e contro (Figura 6), incluse le tecnologie al sodio ad alta temperatura, del tipo Na-S (NGK) o Na-alogenuri di Ni (FIAMM e GE). Tra queste tratteremo solo le tecnologie Litio-ione. Le celle impiegate per la realizzazione di moduli, differiscono per composizione chimica e per forma (Figura 7):

- Cilindrica: contenitore di metallo e terminali sulle estremità
- A bustina (Pouch-cell): contenitore di alluminio accoppiato con materiali polimerici (Coffee-bag) e terminali a lamina posti su uno o due dei lati corti
- Prismatiche: contenitore in plastica o metallo e terminali posti "in testa"

Chemistry	Current Automotive Application	Main Advantages	Main Disadvantages
Lead-Acid	SLI; Low-voltage start-stop	Proven Technology; Low-cost	Low-life, high mass & volume
Ultra-Capacitor	Pulse-power applications; cold-weather start in parallel w/ PbA	High-Power Capability; Cold-Temperature Performance	Low Energy; Flammability and Safety Concern
Nickel Metal-Hydride	Mild/Strong HEVs (split market share)	Proven Technology; Good Power/Energy Ration For Mild & Strong Hybrids	Energy Density Too Low for EVs and PHEVs
Lithium-Ion	EVs and PHEVs (all); Most new Mild/Strong HEVs	High Energy and Power Density	Require tight controls to guarantee life and safety

Figura 6. Le principali tecnologie utilizzate per gli ESS (Fonte: TBC, “Battery Packs for Modern XEV’s)

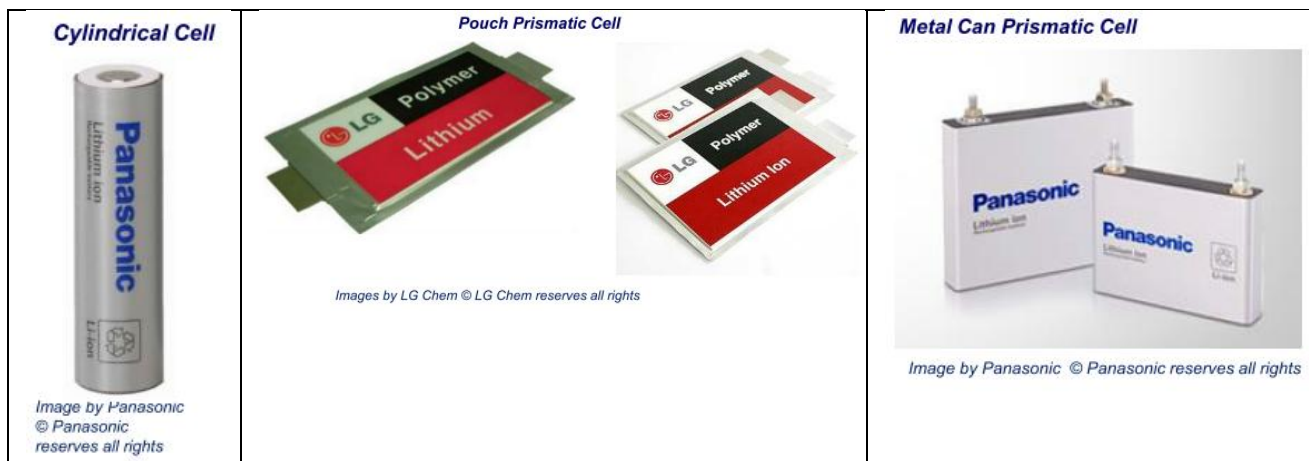


Figura 7. Tipologia di celle (Fonte: TBC, “Battery Packs for Modern XEV’s)

È utile mettere a confronto la struttura interna di queste diverse tipologie di celle, ed è utile sapere che la struttura cilindrica del tipo 18650 è in produzione dal 2009 ed è stata selezionata dalla Tesla anche per la sua maturità tecnologica. La Figura 8 è relativa ad una batteria Winston costituita da più celle prismatiche ed è stata effettuata nel CR Casaccia dell’ENEA⁶ con una apparecchiatura ISOVOLT Titan E Series, nelle condizioni di Tabella 6: si noti il punto di connessione tra i vari strati di materiali (anodo, catodo elettrolita, ecc) e i terminali delle singole unità. In Figura 9 mostriamo una cella EiGC020 aperta (andata fuori produzione tra il 2016 e il 2017), con una struttura a sandwich e in Figura 10 una Sony 18650, con una struttura a rotolo.

Tabella 6.

Equipment	Seifert ISOVOLT TITAN 160 M2 0.4-1.5	Max. Tube Voltage (kV)	160
Tube Current (mA)	10	Focal Spot Size EN 12 543 (mm)	3.00
Detector	Pixel 512 x 512	Modello	PerkinElmer
KV	122	mA	1

⁶ Dott. Angelo Tati, angelo.tati@enea.it

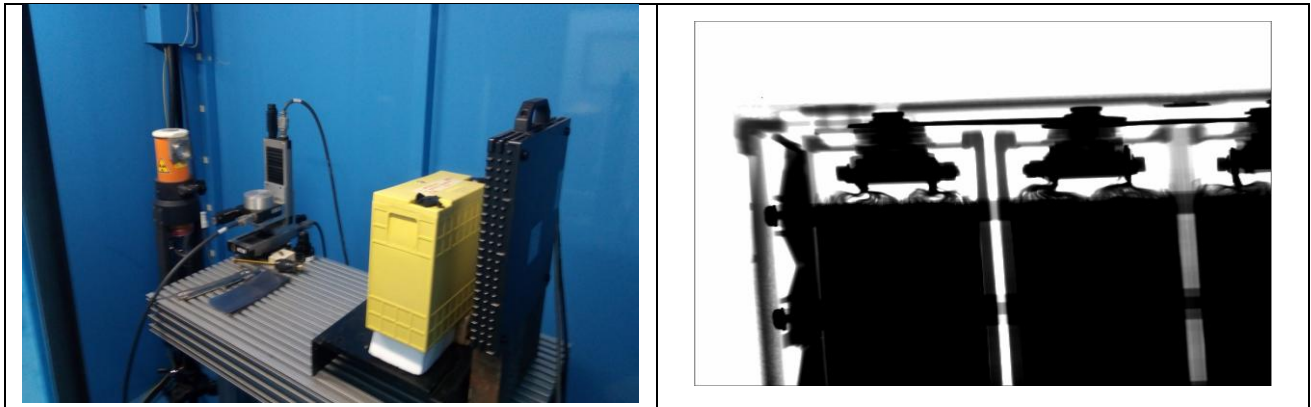


Figura 8. RX digitale di una batteria prismatica



Figura 9. Struttura interna di una cella EIG C020 (Foto: Carla Menale⁷)

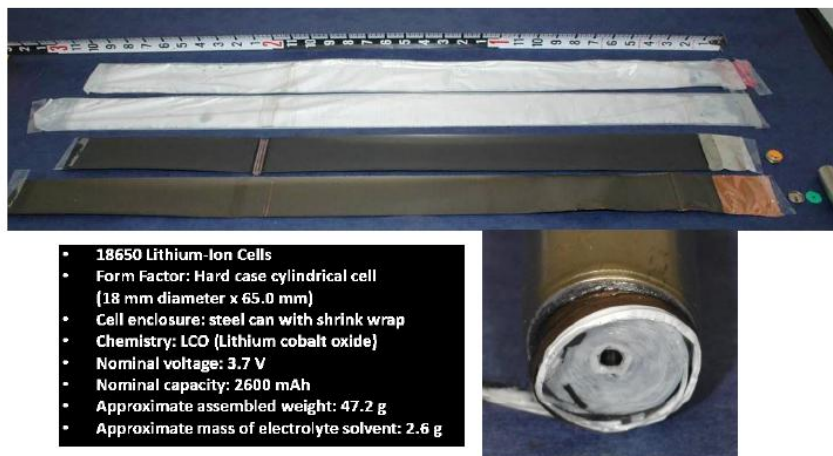


Figura 10. Cella Sony 18650 (Fonte: FPRF, 2011) [16]

⁷ Ing. Carla Menale (carla.menale@enea.it)

1.4.3 Il sottosistema di raffreddamento

Il sistema di raffreddamento è necessario per dissipare il calore prodotto dai moduli che costituiscono la batteria e, quindi, di ogni singola cella, durante il normale funzionamento. Esso consente di gestire i parametri elencati in Figura 11.

Il raffreddamento può essere diretto o indiretto e utilizzare sistemi attivi (sostanze liquide, refrigeranti, aria, aria-liquido) o avvenire per convezione naturale, utilizzando l'aria di incontro durante il moto del veicolo (Tabella 7). Attualmente, l'industria degli EV utilizza, i seguenti sistemi di raffreddamento nelle percentuali indicate [17]:

- 49%, glicole liquido
- 22%, convezione
- 21%, aria
- 5%, refrigerante
- 3%, dispositivi ad effetto Peltier e isolamento

Dal punto di vista della sicurezza, i sistemi di raffreddamento liquidi possono aggiungere complicazioni sul rischio complessivo e rendono necessaria una accurata progettazione al fine di mitigare le perdite di liquido. I sistemi di raffreddamento ad aria possono invece introdurre contaminanti (sporcizia e particolato) all'interno dell' ESS.

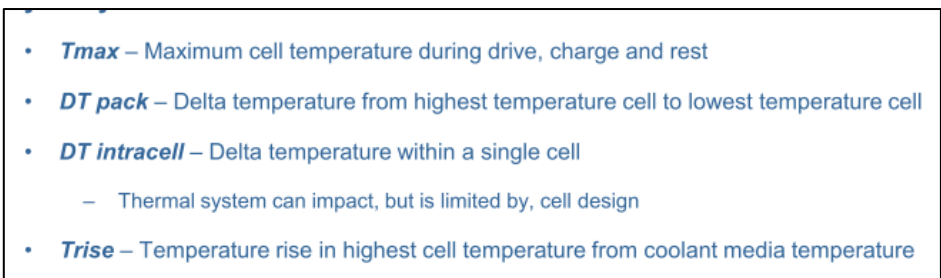


Figura 11

Tabella 7

Coolant Medium	Type	Description
Liquid	Direct	Liquid flows through plates that are in direct contact with cell walls.
Liquid	Indirect	Liquid flows through a coldplate. Additional metal heatsinks are in contact with the coldplate and in direct contact with the cell walls.
Refrigerant	Indirect	Similar to 'Liquid-direct' except refrigerant replaces liquid. This design replaces the refrigerant-to-liquid transfer usually needed in 'Liquid-Indirect'
Air	Direct	Air is ducted to each cell and is in direct contact with the cell walls
Air/Liquid	Hybrid	Liquid (or refrigerant) runs through a coldplate. Air is circulated across the coldplate and then through the cells
Convection	Indirect	Natural convection (i.e. no active cooling).

1.5 La ricarica di un EV: modalità, spine e prese

La ricarica di un EV avviene in una infrastruttura, la stazione di ricarica costituita da uno o più punti di ricarica per veicoli elettrici e ibridi.

La ricarica può avvenire attraverso un sistema di cavi e connettori (ricarica *plug-in*) comunemente chiamati colonnine di ricarica, oppure “senza fili” (ricarica *contactless*) attualmente in corso la sperimentazione, che fanno uso di sistemi di induzione, tramite impianti a pavimento, in grado di ridurre notevolmente i tempi di ricarica.

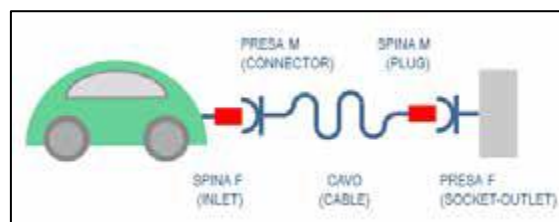
La colonnina di ricarica è un distributore di energia elettrica tramite il quale è possibile ricaricare un veicolo elettrico: auto, moto, bici. Esse sono realizzate dai vari costruttori nelle forme più svariate, possono essere a parete, a palo, a colonna o portatili e disporre, in funzione delle esigenze richieste, di diverse possibilità di “autorizzazione”, attualmente il metodo più usato è rappresentato dall'utilizzo di card RFID. Il sistema di ricarica è costituito da diversi componenti (Figura 12).

In base al settore d'utilizzo, le colonnine di ricarica devono soddisfare esigenze diverse. Generalmente possono essere suddivise in due categorie principali: colonnine di ricarica per il settore privato e semipubblico e colonnine di ricarica per il settore pubblico.

Le colonnine di ricarica per il **settore privato e semipubblico** sono allacciate alla rete locale ovvero al contatore del fornitore di energia. Solitamente sono precablate e pronte all'uso subito dopo aver fatto eseguire ad un tecnico esperto la connessione alla rete elettrica. I campi di impiego nel settore privato o semipubblico sono: abitazioni uni/plurifamiliari, centri commerciali, negozi, ristoranti, hotel, autosaloni con officina, banche/assicurazioni, parcheggi aziendali e, infine, le stazioni di rifornimento combustibili auto (*ndr*). Le colonnine di ricarica per il **settore pubblico** sono installate da fornitori di energia e gestori di rete, i campi di impiego per questo settore sono: le strade pubbliche, i parcheggi pubblici situati presso gli aeroporti e le stazioni ferroviarie.

In Italia, i principali Gestori di colonnine elettriche sono, al momento attuale,

- Enel, presente su tutto il territorio nazionale;
- A2A, nell'area di Milano e Brescia;
- Silfi, nel Comune di Firenze;
- Hera, nei comuni di Modena ed Imola;
- Class Onlus, in Lombardia;
- Charge Point, su tutto il territorio;
- Deval, in Val d'Aosta;
- Alperia, in Alto Adige;



▪ Figura 12. Elementi fondamentali per consentire la carica di un veicolo.

1.5.1 Tipologie e modi per la ricarica Plug-in o ricarica conduttiva

La ricarica di un veicolo elettrico è denominata “conduttiva” quando avviene attraverso la connessione alla fonte di energia elettrica, mediante cavi e connettori.

A livello internazionale, sono stati concordati (Norma IEC 61851-1⁸) **3 tipologie di connessione** tra veicolo e stazione di ricarica, in funzione del cavo di collegamento tra veicolo e punto di ricarica e **4 modi di ricarica** (Tabella 8) che si distinguono per la tipologia della corrente (alternata – AC – o continua – CC) e la capacità (Ah), ovvero la durata della ricarica (Figura 13).

I **tipi di connessione** per la carica dei veicoli elettrici attualmente normati in ambito internazionale sono 3 (Figura 14):

A. il cavo è collegato stabilmente al veicolo: il veicolo elettrico è connesso al punto di carica utilizzando un cavo di alimentazione e una spina permanentemente fissati al veicolo stesso;

B. il cavo è scollegato sia dal veicolo che dalla colonnina: il veicolo elettrico è connesso al punto di carica utilizzando un cavo di alimentazione removibile provvisto di connettore mobile e spina per il collegamento alla presa di alimentazione in c.a.;

C. il cavo è collegato stabilmente alla colonnina di ricarica: il veicolo elettrico è connesso al punto di carica utilizzando un cavo di alimentazione e un connettore mobile permanentemente fissati all'apparecchiatura di alimentazione.

I **4 modi di ricarica** [2] attualmente disponibili sono differenziati in funzione del regime (AC, CC), della corrente massima, del tipo di connettore, presa/spina, delle caratteristiche dell'eventuale comunicazione/controllo tra il veicolo e la stazione di carica (Figura 15).

Il **Modo 1 di carica** si riferisce al collegamento del veicolo elettrico alla rete di alimentazione AC utilizzando prese e spine normate fino a 16 A, ovvero ordinarie prese e spine per uso domestico (CEI 23-50) o industriale (CEI EN 60309-2) oppure prese e spine speciali ma comunque conformi ad una norma internazionale IEC.

Il **Modo di carica 2** per il collegamento del veicolo elettrico alla rete di alimentazione prevede prese e spine conformi ad uno standard IEC, ma con corrente nominale fino a 32 A. E' prevista una protezione supplementare garantita da un box di controllo collocato sul cavo tra il veicolo elettrico e la stazione di ricarica a meno di 30 cm dalla spina e contenente, oltre ai dispositivi per alcune funzioni di controllo, anche un differenziale da 30 mA.

In Italia i Modi 1 e 2 non sono ammessi in ambito pubblico, ma solo per punti di ricarica privati, compresi garage residenziali e parcheggi aziendali. In particolare, il Modo 1, con una corretta realizzazione e aggiornamento dell'impianto elettrico, è considerato l'unico che consente la carica in sicurezza oltre alla semplicità e al basso costo d'investimento. Il Modo 2 non è consigliato per luoghi "non aperti a terzi" ma non è vietato, il principale svantaggio è che il box di controllo protegge il cavo a valle e il veicolo, ma non la spina stessa, che è uno dei componenti più soggetti ad usura.

Il **Modo di carica 3** prevede il collegamento diretto del veicolo elettrico alla rete CA di alimentazione utilizzando apparecchiature di alimentazione dedicate; inoltre, la norma CEI EN 61851-1 richiede un contatto pilota di controllo tra il sistema di alimentazione e il veicolo elettrico con la funzione di: i) inserimento dei connettori; ii) continuità del conduttore di protezione; iii) funzione di controllo attiva.

Il **Modo di carica 4** è l'unico che prevede il collegamento indiretto del veicolo elettrico alla rete CA di alimentazione utilizzando un convertitore esterno, e un conduttore pilota di controllo che si estende alle attrezzature permanentemente collegate alla rete. In questo Modo il carica batterie non è più a bordo del veicolo, ma nella stazione di carica.

In Italia, attualmente il Modi 3 e 4 sono i soli permessi in ambiente pubblico, ma al fine di garantire la necessaria sicurezza durante la carica conduttiva dei veicoli elettrici, quando questa viene eseguita in ambienti aperti a terzi la norma CEI EN 61851-1 stabilisce che deve essere adottato il Modo di carica 3.

⁸ Norma IEC 61851-1: "Electric vehicle conductive charging system - Part 1: General requirements". Ed. 3.0 (07-feb-17)

Tabella 8.

Modo 1	Modo 2	Modo 3	Modo 4
<p>Modo 1: Ricarica lenta (6-8 h) a 16 A, (corrente alternata) ammessa solamente in ambiente domestico privato. È possibile utilizzare una semplice presa domestica o una presa industriale fino a 32 A.</p>	<p>Modo 2: Ricarica lenta (6-8 h) a 16 A, (corrente alternata) ammessa in ambiente domestico e pubblico. Sul cavo di alimentazione del veicolo è presente un dispositivo denominato Control Box (Sistema di sicurezza PWM) che garantisce la sicurezza delle operazioni durante la ricarica. Le prese utilizzabili sono quelle domestiche o industriali fino a 32 A.</p>	<p>Modo 3: Ricarica lenta (6-8 h) a 16 A o mediamente rapida (30 min – 1 h) a 63 A, 400V (Modalità con sistema di sicurezza PWM), ammessa in ambiente domestico e pubblico. La ricarica deve avvenire tramite un apposito sistema di alimentazione dotato di connettori specifici.</p>	<p>Modo 4: Ricarica ultra rapida (5-10 min) in corrente continua fino a 200 A, 400 V, ammessa solamente in ambiente pubblico. Con questo sistema è possibile ricaricare i veicoli in alcuni minuti, il caricabatterie è esterno al veicolo. L'associazione che promuove il Modo 4 è nata in Giappone ed è denominata CHAdeMO^[1].</p>

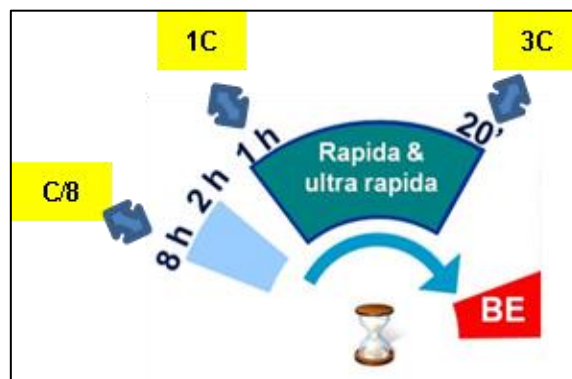


Figura 13. (Fonte: [18])

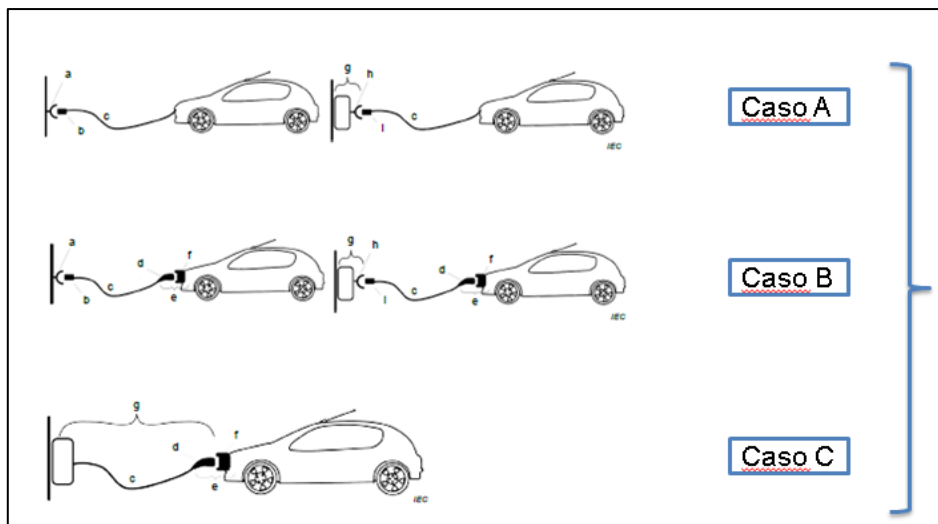


Figura 14. Tipi di Connessione (Fonte: [18])

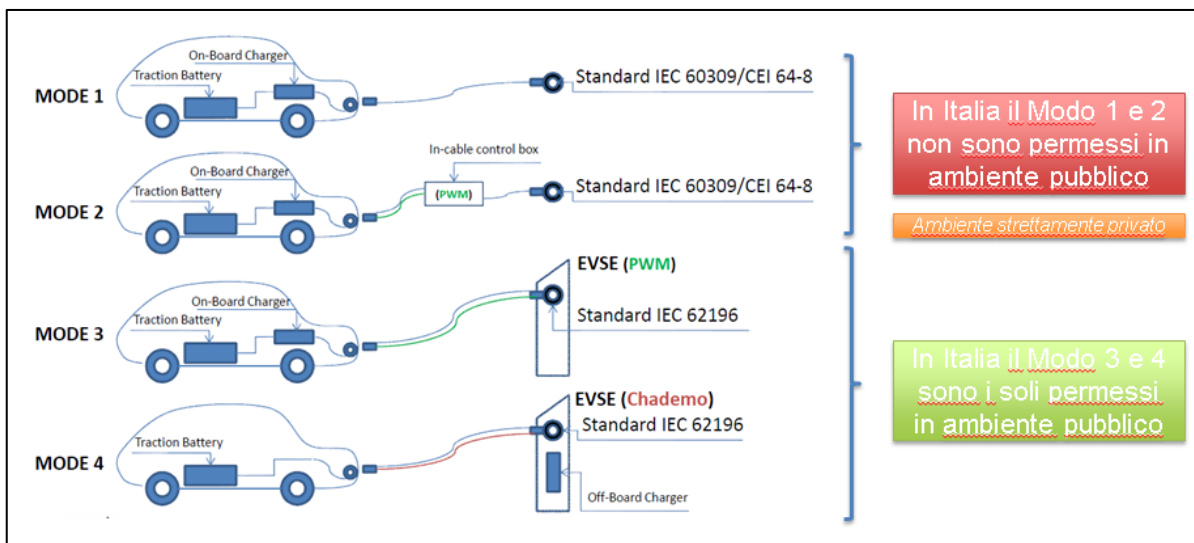


Figura 15. I 4 Modi di ricarica secondo la norma IEC 61851-1 (Fonte [18])

1.5.2 Connettori

Per quanto riguarda i connettori, la CEI EN 62196-2 [19] prevede 3 tipi principali di prese, spine e connettori specifici per la carica del veicolo elettrico in CA differenziati in funzione della corrente, della tensione nominale, del numero delle fasi e del numero dei contatti pilota, ovvero utilizzabili, con alcune restrizioni, per i modi di carica 3, 2 e 1, come riportato in Tabella 9.

Le caratteristiche dei connettori in CC sono invece definite dalla Norma 62196-3.

Queste norme identificano nel dettaglio quali connettore/presa, possono essere utilizzati per la ricarica dello stesso e quali prescrizioni devono essere rispettate per la loro costruzione.

Tabella 9. Principali caratteristiche di prese, spine e connettori specifici per la carica del veicolo elettrico

Tipo	Tensione nominale	Corrente nominale	Numero di fasi	Contatti pilota	Note
1	250 V	32 A	1	2	solo lato EV
2/2S	480 V	63 A trifase, 70 A monofase	1 o 3	2	
3a	250 V	16 A	1	1	
3b	250 V	32 A	1	2	
3c	480 V	63 A	1 o 3	2	

Attualmente sul mercato ci sono ancora veicoli elettrici con connettori di vario tipo, non conformi alla normativa internazionale. Per garantire l'intercambiabilità e quindi la carica dei veicoli elettrici su tutto il territorio europeo è stato previsto un adeguamento dei vari veicoli come segue:

- Veicoli elettrici connettore Tipo 2 con o senza protezione meccanica (shutter);
- Veicoli elettrici leggeri connettore Tipo 3a con o senza protezione meccanica (shutter);
- Veicoli elettrici in DC tipo COMBO 2.

Tale adeguamento permetterà la ricarica in sicurezza dei veicoli elettrici su tutto il territorio europeo.


La Commissione Europea ha individuato, nella Direttiva 2014/94/UE, la cosiddetta DAFI (Directive Alternative Fuel Initiative), 3 tipologie di connettori in funzione della modalità di carica, come individuati anche dalla norma IEC 62196 (Figura 16).

Si propongono di seguito alcune immagine prelevate dal sito www.e-station-store.it : fanno parte di una guida [20] redatta per i proprietari di EV e mostrano connettori e spine suddivise per tipologia di corrente di ricarica: AC (Figura 17) e DC (Figura 18).

<u>Modo di carica</u>	<u>Tipo di carica</u>	<u>Connettore</u>	<u>Norma</u>
AC	Normal power (≤ 22 kW*)	Tipo 2	62196-2
	High power (> 22 kW*)		
DC	High power (> 22 kW*)	Combo 2 (Combo CCS) <u>CHAdeMO</u>	62196-3

* Normal/High è un attributo della potenza di carica, non è direttamente riferito al C-rate di carica delle batterie

Figura 16. (Fonte: [18])











E-STATION | PRODOTTI E SOLUZIONI PROFESSIONALI PER LA RICARICA DELLE AUTO ELETTRICHE




GUIDA AI CONNETTORI AC (CORRENTE ALTERNATA)

APPLICAZIONI

LATO VEICOLO

			
TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3C	TIPO 3A
<small>(Yazaki) SAE J1772-2009</small> 	<small>(Mennekes) VDE-AR-E 2623-2-2</small> 	<small>(Scame) EV Plug Alliance</small> 	<small>(Scame)</small> 
<p>Il connettore Tipo 1 è provvisto di 5 contatti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 3 contatti di potenza: L1, N, PE - 2 contatti di comunicazione: PP (prossimità) CP (controllo pilota) 	<p>Il connettore Tipo 2 è provvisto di 7 contatti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 5 contatti di potenza: L1, L2, L3, N, PE - 2 contatti di comunicazione: PP (prossimità) CP (controllo pilota) 	<p>Il connettore Tipo 3C è provvisto di 7 contatti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 5 contatti di potenza: L1, L2, L3, N, PE - 2 contatti di comunicazione: PP (prossimità) CP (controllo pilota) 	<p>Il connettore Tipo 3A è provvisto di 4 contatti:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 3 contatti di potenza: L1, N, PE - 1 contatto di comunicazione: CP (controllo pilota)
<i>max 32A max160kW</i>	<i>max 32A max160kW</i>	<i>max 32A max160kW</i>	<i>max 16A max70kW</i>

LATO STAZIONE DI RICARICA

SUI CAVI DI RICARICA










Figura 17. Connettori in Corrente Alternata (CA) (Fonte: [20])



GUIDA AI CONNETTORI DC (CORRENTE CONTINUA)

TIPOLOGIE

CHAdeMO



Lo standard CHAdeMO è lo standard per la ricarica veloce in corrente continua (DC) più diffuso al Mondo. Utilizzato e diffuso già da alcuni anni, è presente ad esempio sui veicoli Nissan, Mitsubishi, Peugeot, Citroen.

I veicoli dotati di questo standard hanno quindi due connettori:
- **CHAdeMO** per le ricariche Fast DC
- Connettore per la ricarica in AC (normalmente **Tipo 1**)



CCS Combo2



Lo standard CCS (Combined Charging System) consiste in un unico connettore di ricarica sul veicolo elettrico, che consente sia la ricarica rapida in corrente continua (DC) sia la ricarica lenta in corrente alternata (AC). In Europa il CCS è realizzato a partire dal connettore Tipo 2, per cui il sistema prende il nome di **Combo2**.

Questo sistema è oggi adottato da alcune case automobilistiche europee (ad esempio BMW e Volkswagen) e si sta progressivamente diffondendo sui nuovi veicoli elettrici di imminente arrivo sul mercato.



Figura 18. Connettori in Corrente Continua (CC) (Fonte: [20])

2 Le soluzioni costruttive adottate dai produttori di EV: nove esempi

In questa sezione esamineremo le soluzioni costruttive adottate per i veicoli elettrici da nove produttori e già immessi sul mercato. Verranno presentati: localizzazione delle componenti dei REESS, struttura delle ESS, tipologia di celle elettrochimiche impiegate, tipologia di ricarica.

Ci siamo serviti di due fonti di informazione: la guida per l'intervento in emergenza dell' NFPA [21] e il rapporto della *Total Battery Consulting* dedicato alla descrizione degli ESS nei veicoli elettrici moderni [22]. Il lavoro dell'NFPA è organizzato in modo da fornire informazioni utili per la disconnessione del veicolo dalla rete elettrica, la disconnessione dell'ESS e l'intervento sui passeggeri: le informazioni principali sul veicolo sono riepilogate nella Legenda di cui alla Figura 19.

Sulla base dei dati raccolti [22], sono state elaborate le tabelle seguenti: in Tabella 10 vengono messe a confronto le informazioni sulle modalità di ricarica; in Tabella 11 si confrontano le caratteristiche del REESS; in Tabella 12 vengono riportate le caratteristiche delle elettrochimiche utilizzate (Prismatiche, Pouch, Cilindriche) per la realizzazione degli ESS delle nove auto elettriche selezionate (Figure da 20 a 57).












LEGEND		
 Airbag	 Bodywork Reinforcements	 SRS Control Unit
 Stored Gas Inflator	 Support Cylinder for Hood	 12V Battery
 Seatbelt Tensioner or Pretensioner		 High-Voltage Power Cable
 High-Voltage Battery	 Emergency Disconnect (Remove Fuse)	 Emergency Disconnect (Remove Plug)

Figura 19. Legenda per l'interpretazione delle figure del NFPA Report [21]

Tabella 10. Condizioni di ricarica (Fonte: [22], elaborazione di C. Di Bari)

ID	Produttore	Veicolo	Data immisione sul mercato o modello	AC Charging Protocol	AC Charging level (kW)	DC Fast Charge	DC Charging Protocol
1	BMW	i3 BEV	2014-16 2017	SAE – J1772	1.4 – 7.4	50 kW pk	SAE CCS
2	DAIMLER	SMART FORTWO	-	SAE – J1772	1.1 – 3.3 e 22 (opzionale)	Not available	
3	FIAT	500 EV	Mercato USA	SAE – J1772	1.1 – 6.6	Not available	
4	CHEVROLET	SPARK EV (A123)	2014 2015-16	SAE – J1772	1.1 – 3.3	80% in 20 minuti	
5	HONDA	Fit EV	-	SAE – J1772	1.1 – 6.6	Not available	
6	NISSAN	LEAF	2011-16 2016-17	SAE – J1772	1.1 – 6.6	80% in 20 minuti	
7	FORD	FOCUS EV	2012-16 2017	SAE – J1772	1.1 – 6.6	- 50 kW	- SAE CCS
8	TOYOTA	RAV4 EV	-	SAE – J1772	1.1 - 10	Not available	
9	TESLA	Model S e Model X	60 70 75 85 90 100	Tesla & SAE – J1772	1.1 - 20	Fino a 120 kW	

Tabella 11. Parametri relativi ai REESS (Fonte: [22], elaborazione di C. Di Bari)

ID	Produttore	Veicolo	Data immisione sul mercato o modello	Massa (kg)	Contenitore	Tipologia di BCU	Pack Integrator	Sottosistema di raffreddamento	Config. Coll. celle	Tensione (V nominale) (Volt)	Energia (kWh)
1	BMW	i3 BEV	2014-16 2017	233- 267	Metallico	Distribuito	BMW	Refrigerante	96s1p	360	22-33
2	DAIMLER	SMART FORTWO	-	179			DAIMLER	Glicole	93s1p	339	17.6
3	FIAT	500 EV	Mercato USA	272			BOSCH	Liquido	97s1p	364	24
4	CHEVROLET	SPARK EV (A123)	2014	254	Comp ⁹		A123	Liquido	112s3p	363	21.3
			2015-16	215			GM/CPI		96s2p	355	19
5	HONDA	Fit EV	-	348	Metallico		TOSHIBA	Aria	144s3p	331	20
6	NISSAN	LEAF	2011-16	273			AESC	Convezione	96s2p	355	24
			2016-17	294			96s2p		355	30	
7	FORD	FOCUS EV	2012-16	295			FORD/CPI	Liquido	86s5p	318.2	23
			2017	320		Liquido			86s5p	318.2	33.5
8	TOYOTA	RAV4 EV	-	384		TESLA	Liquido	92s49p	331	41.8	
9	TESLA	Model S e Model X	60	570		Metallico	TESLA	Liquido	84s74p	302.4	Dati non disponibili
			70								
			75								
			85	618							
			90	637							
	100	670	96s86p	345							

⁹ composito

Tabella 12. Parametri relativi alle celle (Fonte: [22], elaborazione di C. Di Bari)

Id	Produttore	Veicolo	Data immisione sul mercato o modello	Produttore delle celle	Tipologia	Anodo	Catodo	Capacità (Ah)	Tensione (V)	Peso di ciascuna cella (g)	Dimensioni (mm)	Energia specifica (Wh/kg)
1	BMW	i3 BEV	2014-16	SAMSUNG	Prismatica (contenitore metallico)	Grafite	NMC-LCO	63	3.7	1800	45x173x125	130
			2017				NMC (ricco in Ni)	94		2154		161
2	DAIMLER	SMART FORTWO	-	Li-Tec/LG Chem	Pouch	Grafite	NMC	52	3.65	1250	600 mL	152
3	FIAT	500 EV	Mercato USA	SAMSUNG	Prismatica (contenitore metallico)	Grafite	NMC-LCO	63	3.7	1800	45x173x125	130
4	CHEVROLET	SPARK EV (A123)	2014	A123	Pouch	Grafite	FePO4	19.5	3.3	496	227x160x7.5	131
			2015-16	LG Chem	Pouch	Grafite	NMC/LMO	28	3.7	Non noto		
5	HONDA	Fit EV	-	TOSHIBA	Prismatica (contenitore metallico)	LTO	NMC	20	2.3	515	103x115x22	89
6	NISSAN	LEAF	2011-16	AESC	Pouch	Grafite	LMO – w/NCA	32.5	3.75	787	290x216x7.1	157
			2016-17				LMO – w/NMC	40-41		908		165-169
7	FORD	FOCUS EV	2012-16	LG Chem	Pouch	Grafite	NMC-LMO	15	3.7	380	127x177x10	148
			2017				NMC (ricco in Ni)	21		Non noto		
8	TOYOTA	RAV4 EV	-	PANASONIC	Cilindrica	Grafite	NCA	3.1	3.6	45	18Dx65L	248
9	TESLA	Model S e Model X	60	PANASONIC	Cilindrica	Grafite e Grafite/silicio	NCA	3.1	3.6	45	18Dx65L	248
			70									
			75									
			85									
			90					3.4		47		260
100												

2.1 BMW i3 BEV

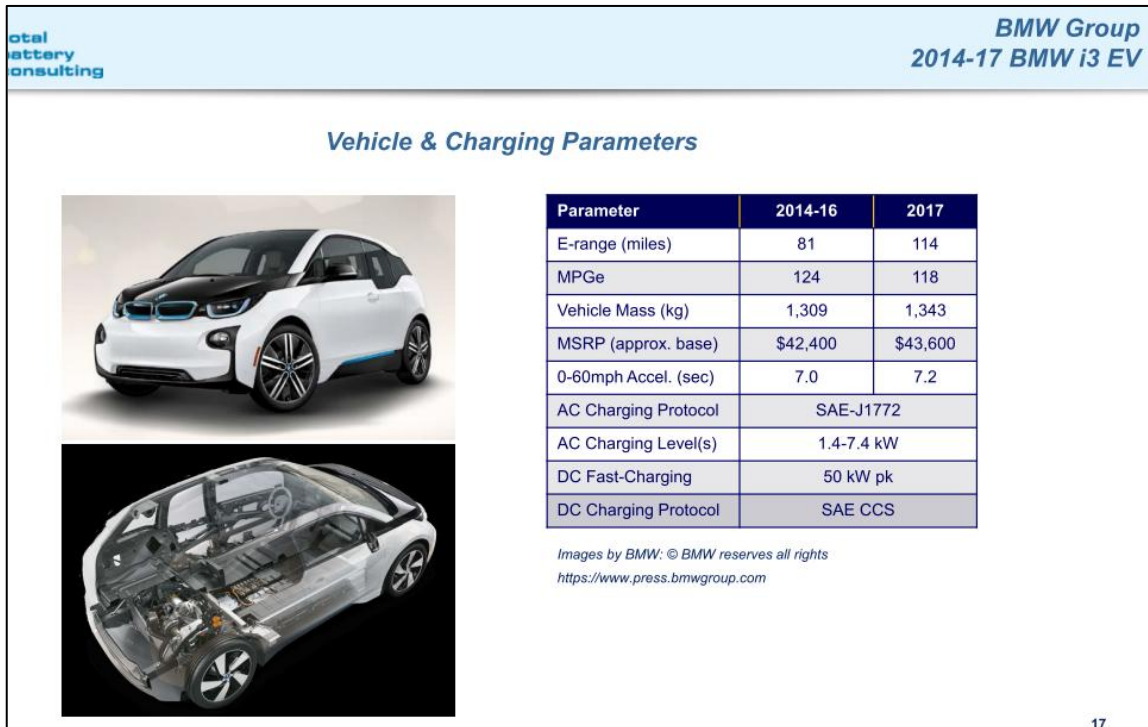


Figura 20. Veicolo e parametri di ricarica (Fonte: Total Battery Consulting) [22]

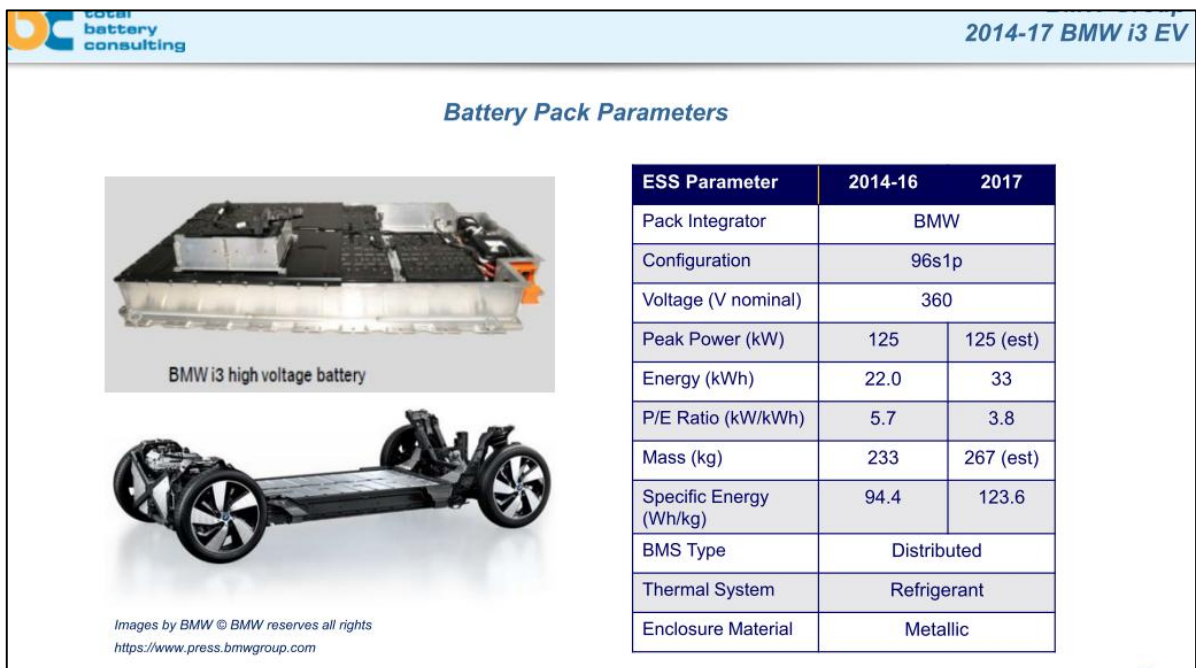


Figura 21. Struttura del REESS (Fonte: Total Battery Consulting) [22]

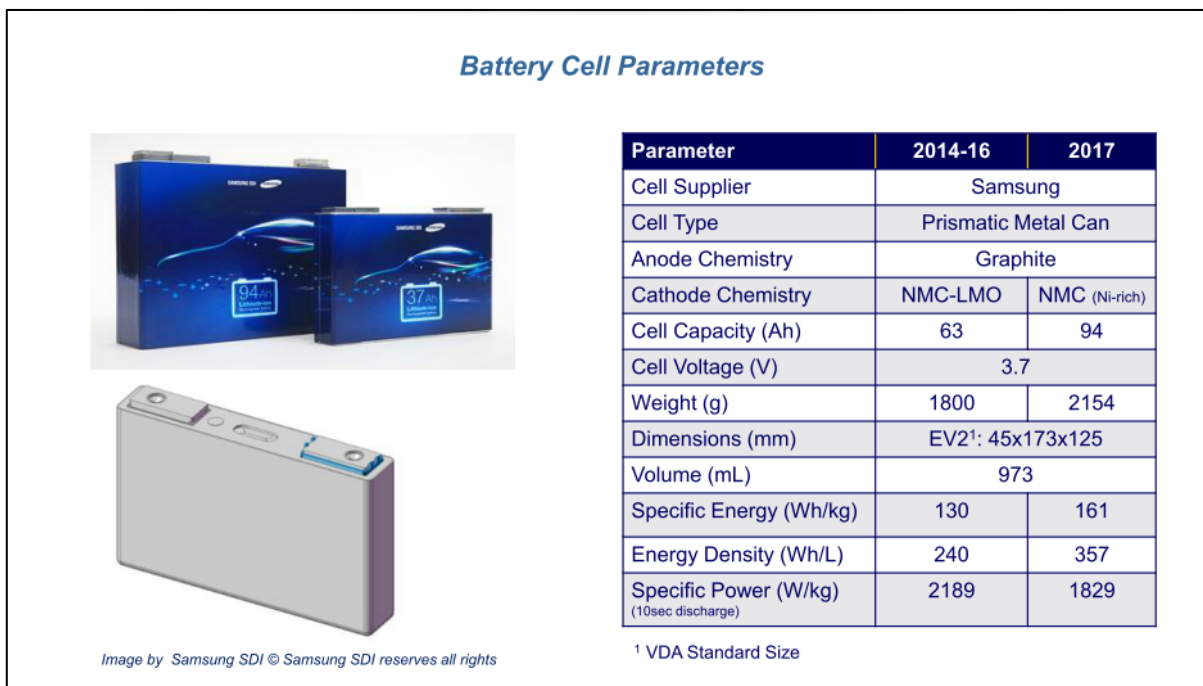


Figura 22.Celle utilizzate (Fonte: Total Battery Consulting) [22]

2.2 DAIMLER SMART FORTWO

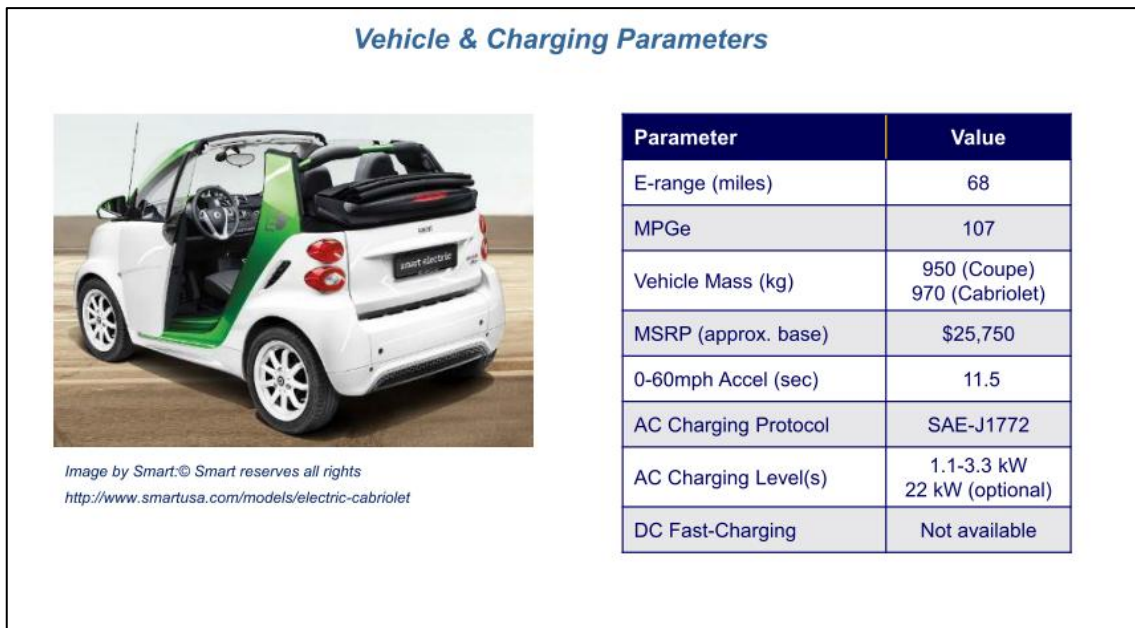


Figura 23. Veicolo e parametri di ricarica (Fonte: Total Battery Consulting) [22]

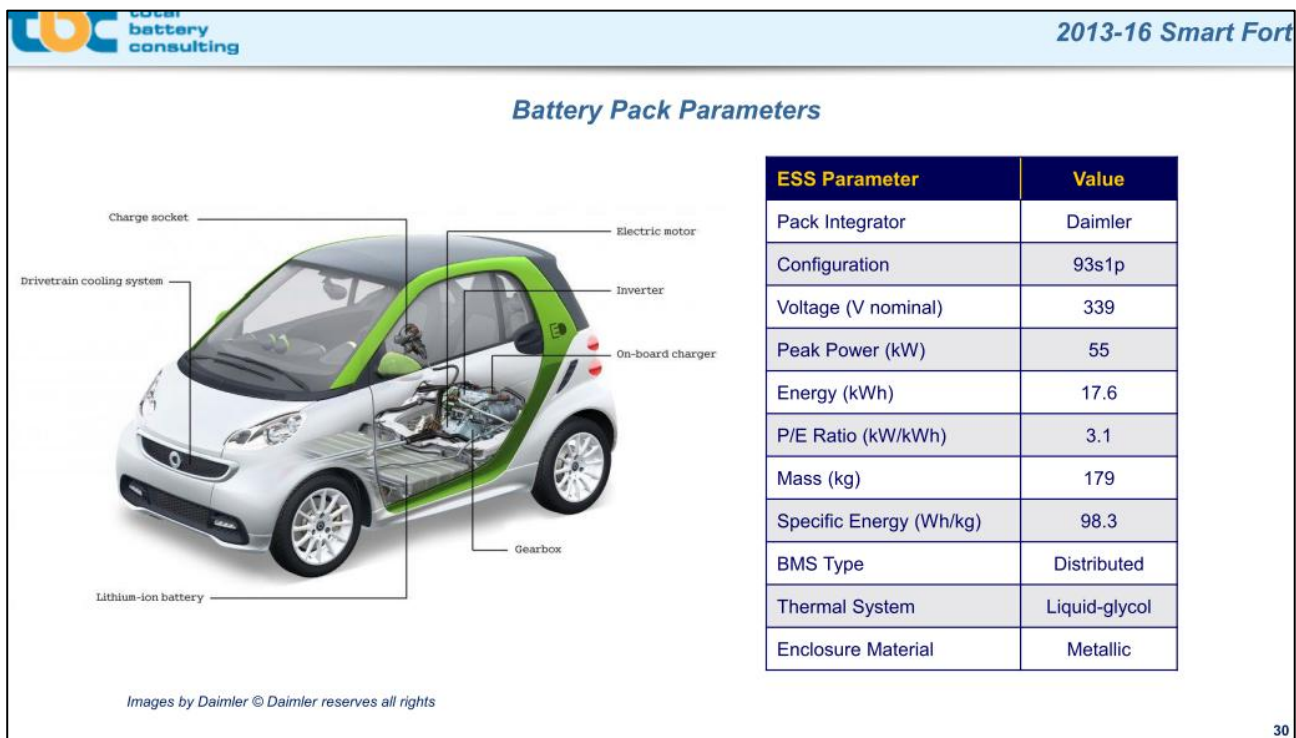



Figura 24. Struttura del REESS (Fonte: Total Battery Consulting) [22]

2013-16 Smart


Battery Cell Parameters



Parameter	Value
Cell Supplier	Li-Tec / LG Chem
Cell Type	Prismatic Pouch
Anode Chemistry	Graphite
Cathode Chemistry	NMC
Cell Capacity (Ah)	52
Cell Voltage (V)	3.65
Weight (g)	1250
Volume (mL)	600
Specific Energy (Wh/kg)	152
Energy Density (Wh/L)	316
Specific Power (W/kg) (10sec. discharge)	n/a


Image by Li-Tec © Li-Tec reserves all rights
<http://www.li-tec.de/en/press/press-archive.html>

Figura 25. Celle utilizzate (Fonte: Total Battery Consulting) [22]



2011

electric drive



(continued) EXTRICATION INFORMATION

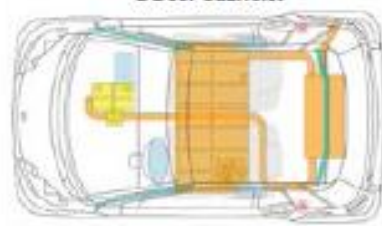
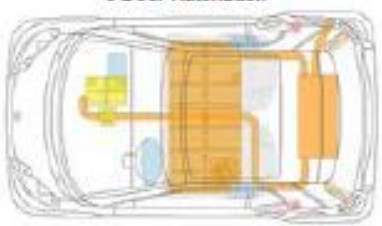
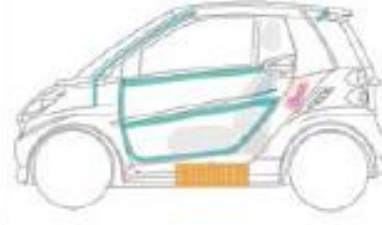
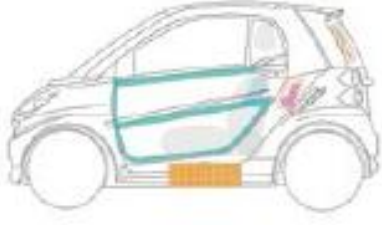
2 Door Cabriolet	3 Door Hatchback
	
	

Figura 26. Posizionamento REESS (Fonte. NFPA) [21]

2.3 FIAT 500 EV

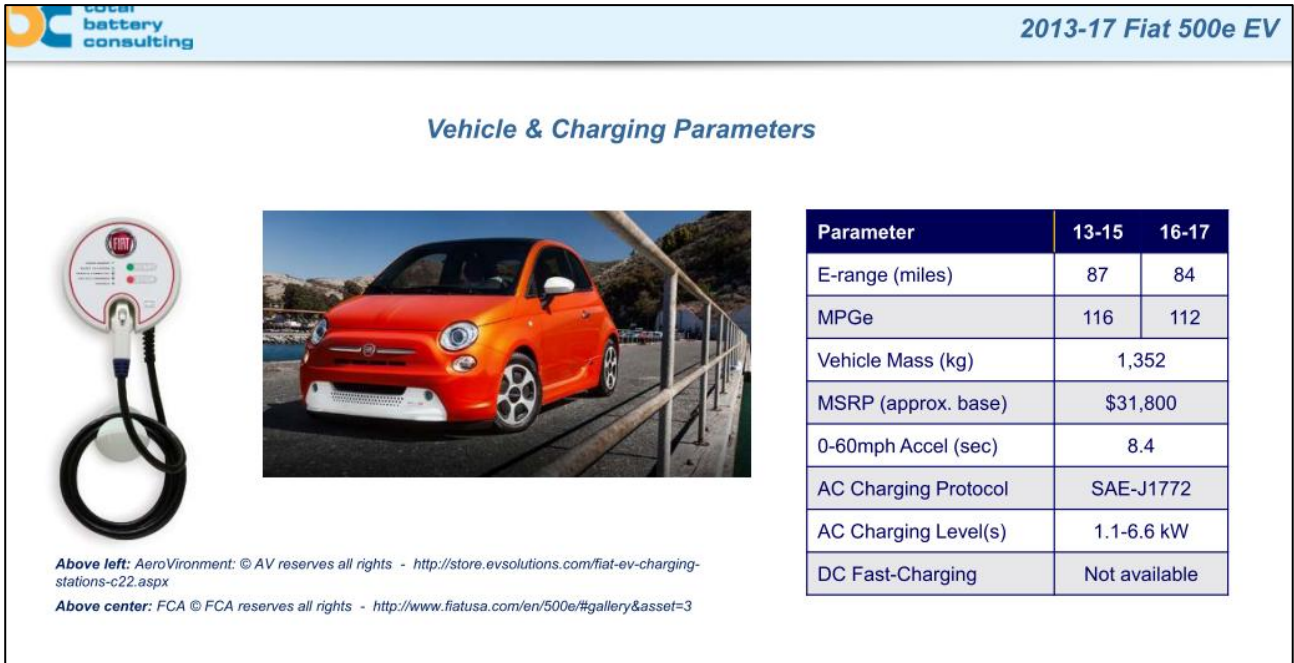


Figura 27. Veicolo e parametri di ricarica (Fonte: Total Battery Consulting) [22]

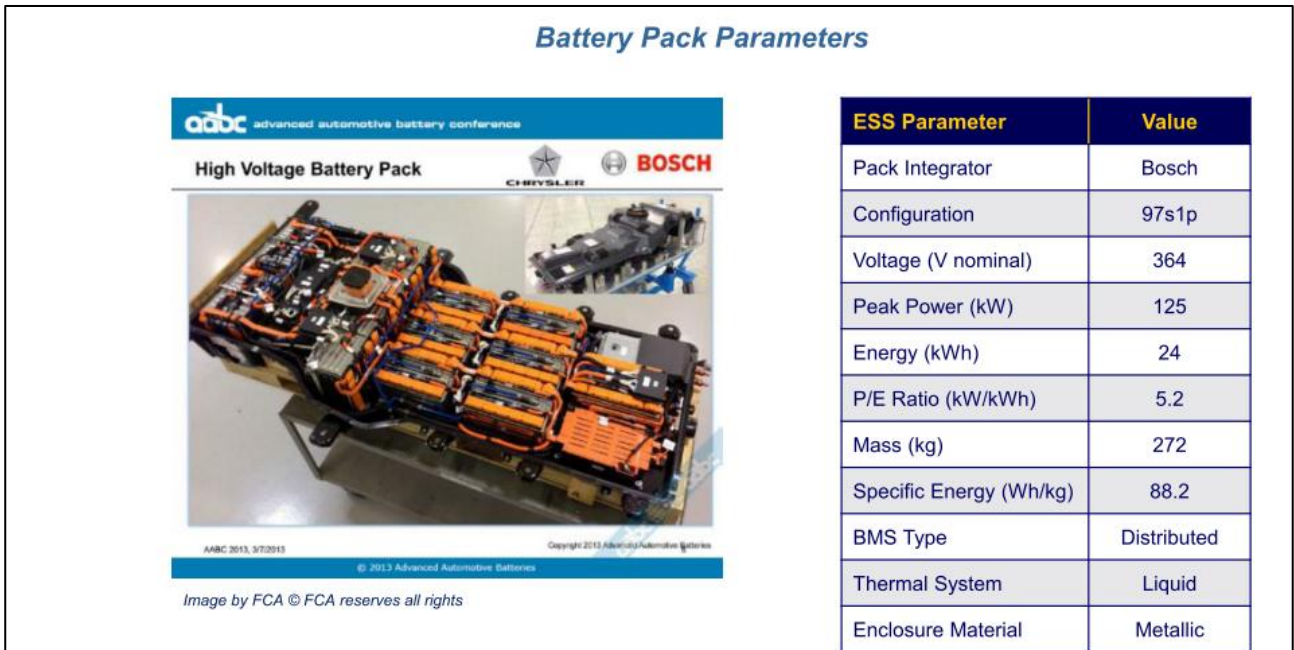


Figura 28. Struttura del REESS (Fonte: Total Battery Consulting) [22]

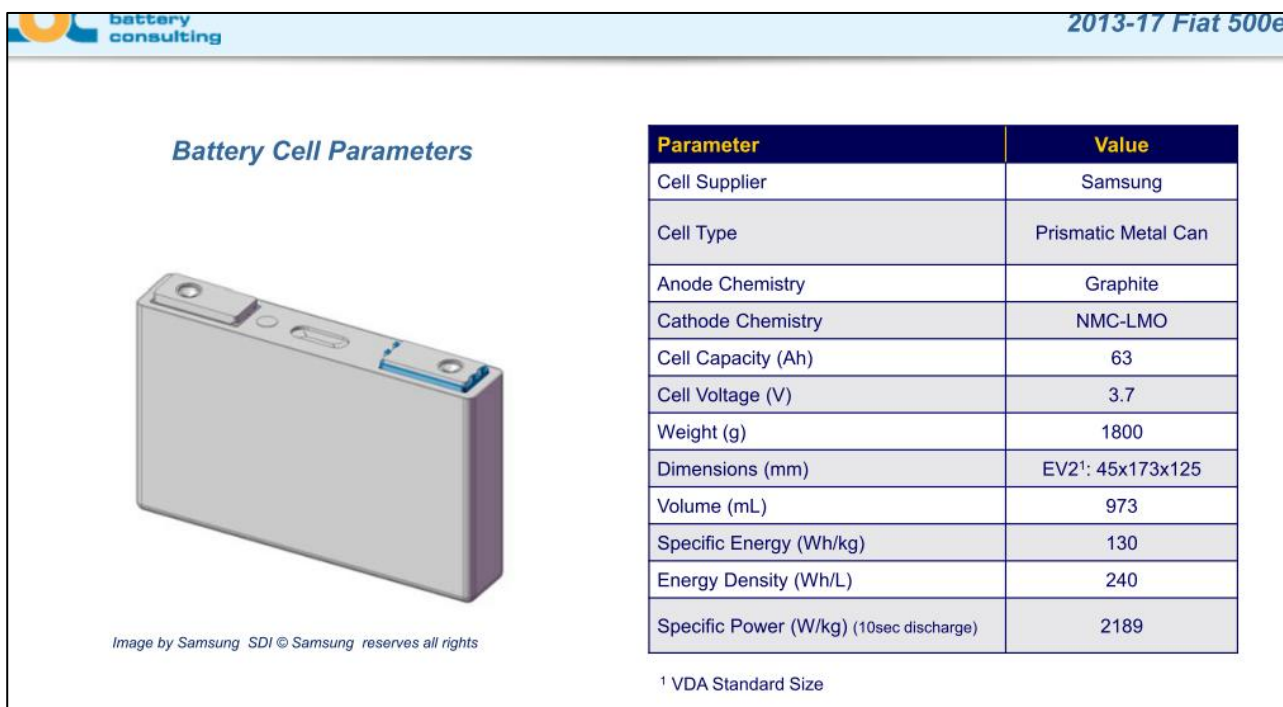


Figura 29. Celle utilizzate (Fonte: Total Battery Consulting) [22]

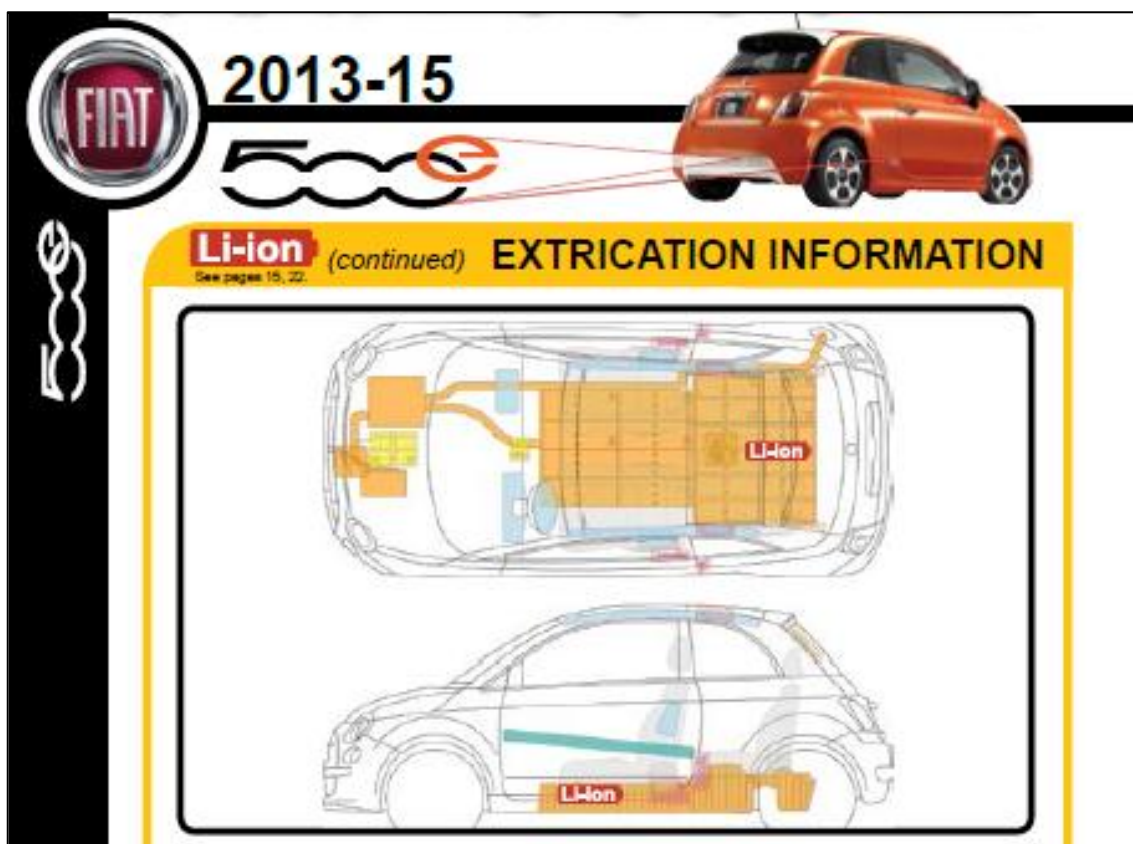


Figura 30. Posizionamento REESS (Fonte: NFPA) [21]

2.4 CHEVROLET SPARK EV (A123)



Figura 31. Veicolo e parametri di ricarica (Fonte: Total Battery Consulting) [22]

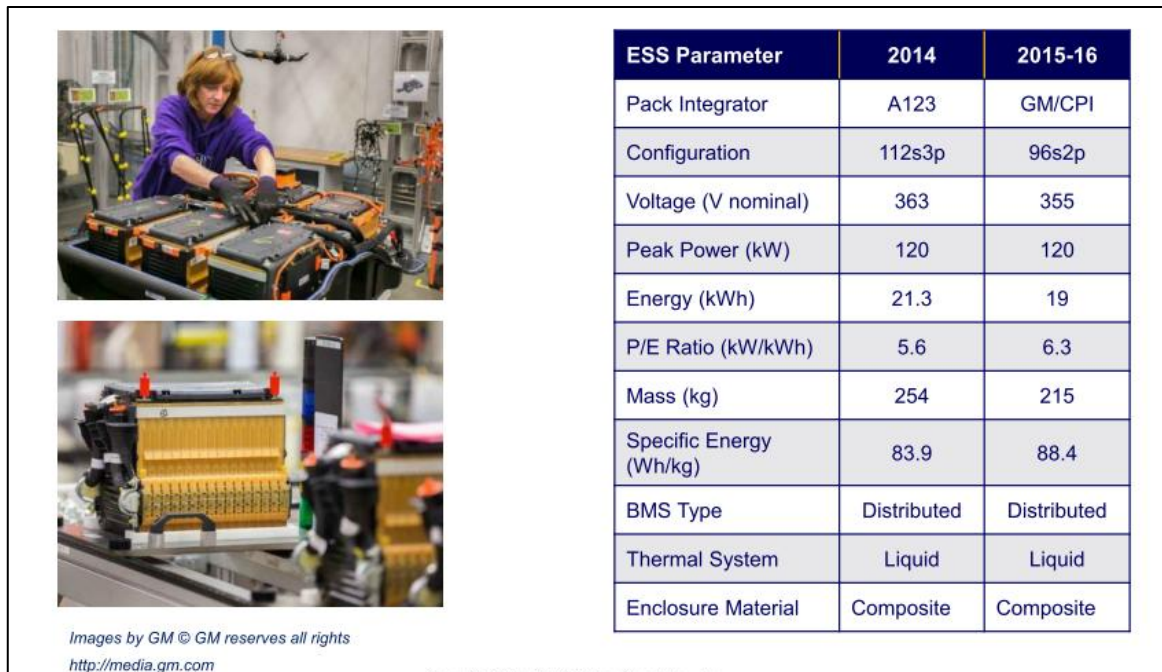


Figura 32. Struttura del REESS (Fonte: Total Battery Consulting) [22]

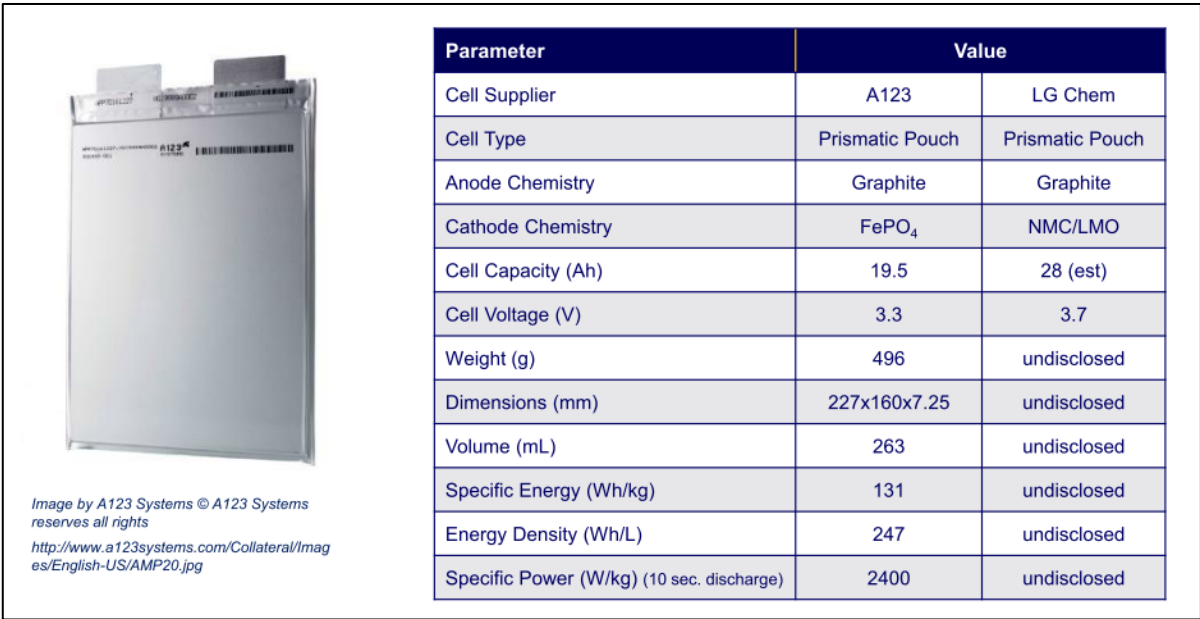


Figura 33. Celle utilizzate (Fonte: Total Battery Consulting) [22]

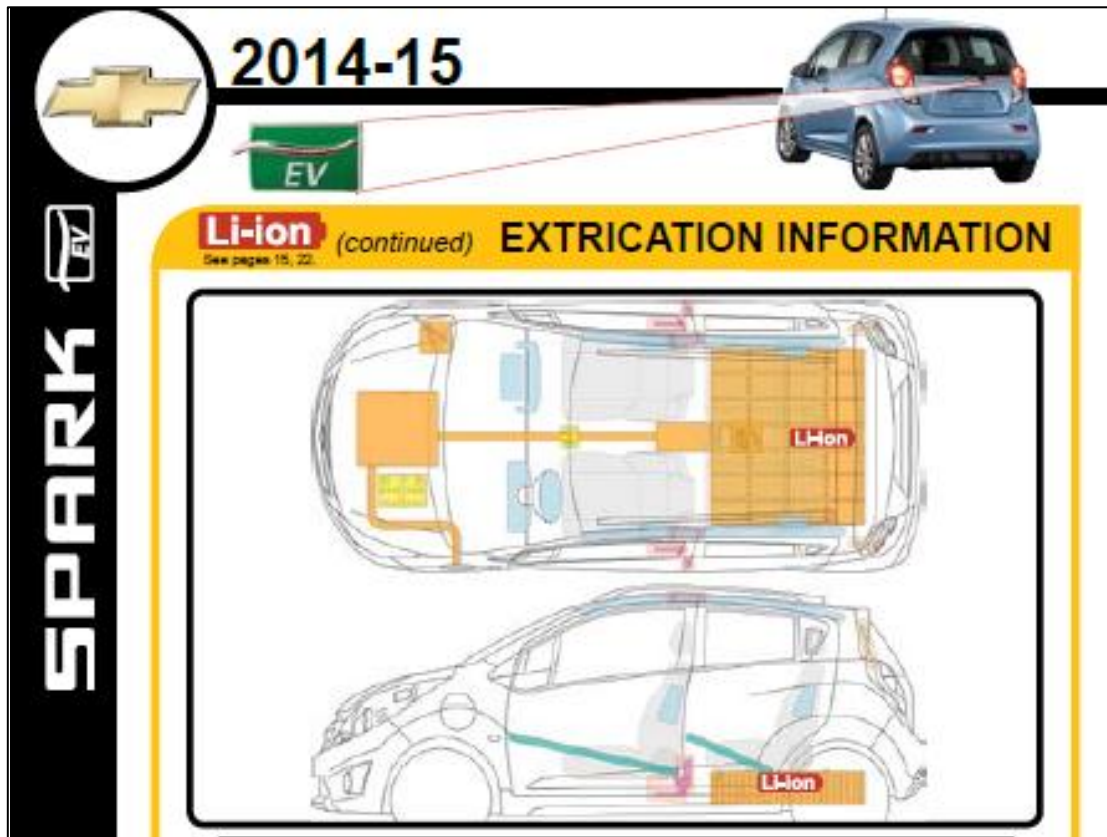


Figura 34. Posizionamento REESS (Fonte: NFPA) [21]

2.5 HONDA Fit EV

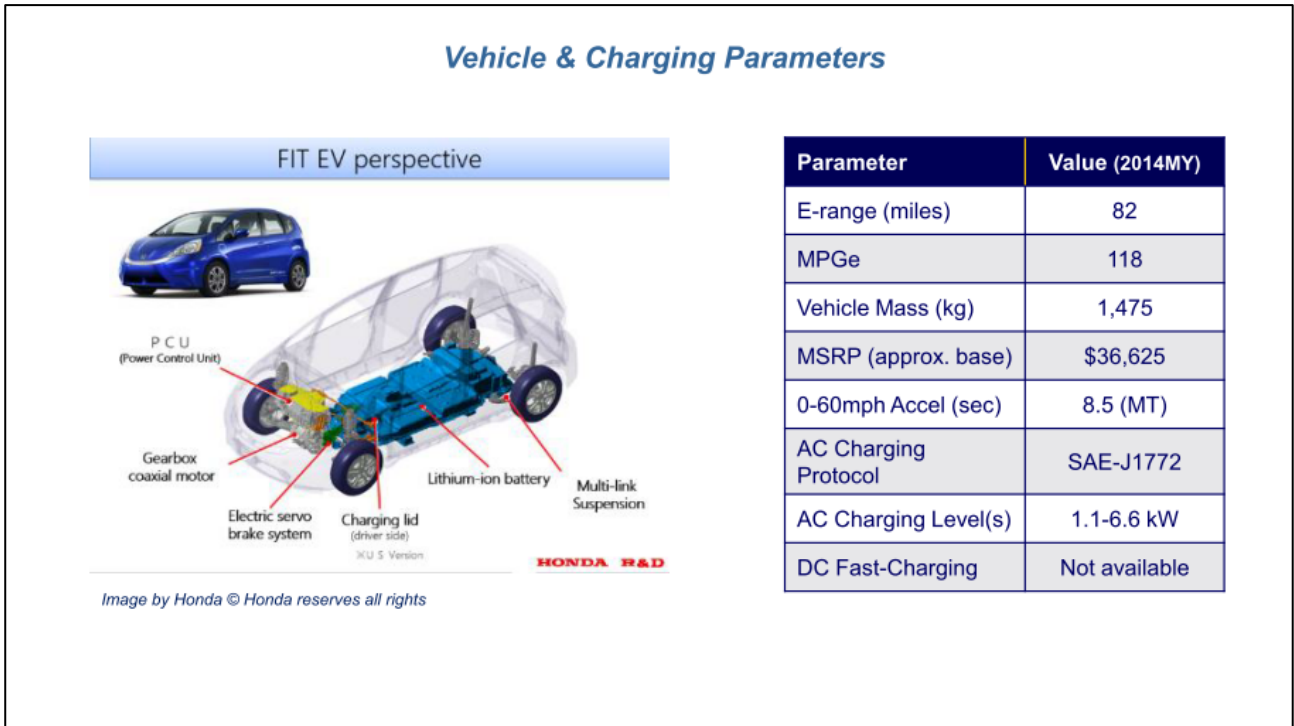


Figura 35. Veicolo e parametri di ricarica (Fonte: Total Battery Consulting) [22]

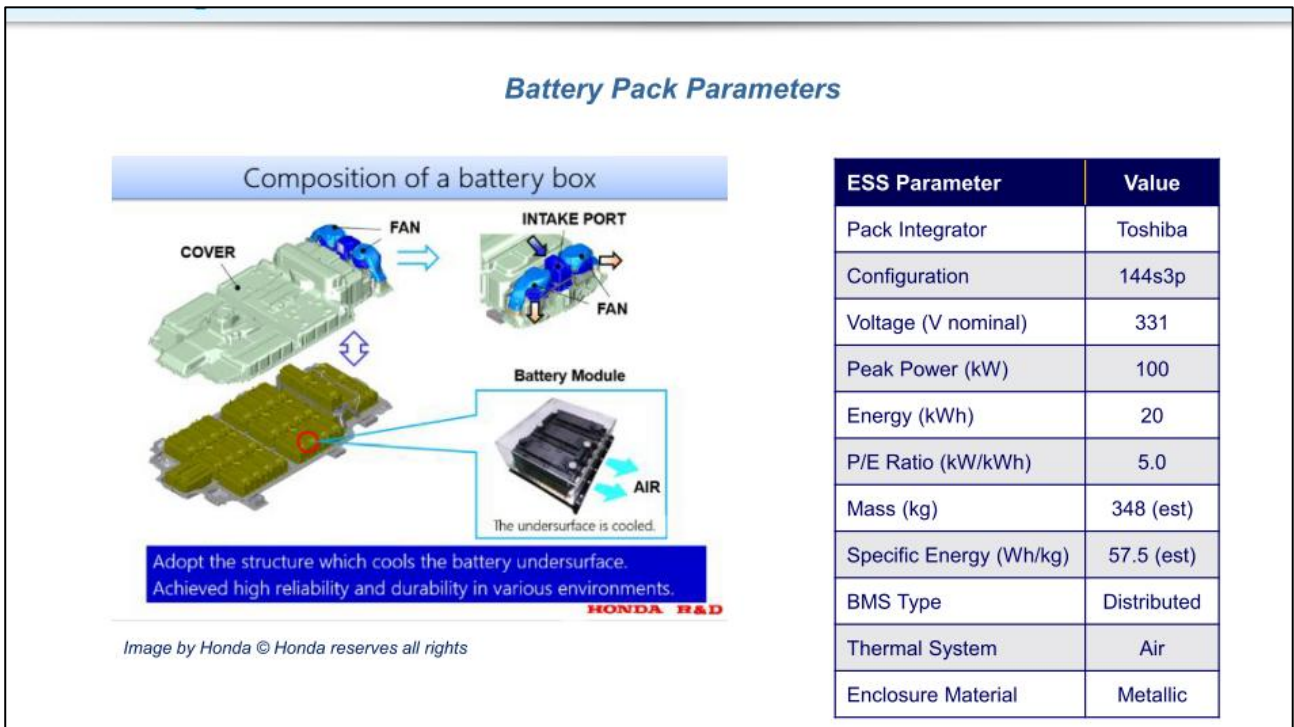


Figura 36. Struttura del REESS (Fonte: Total Battery Consulting) [22]

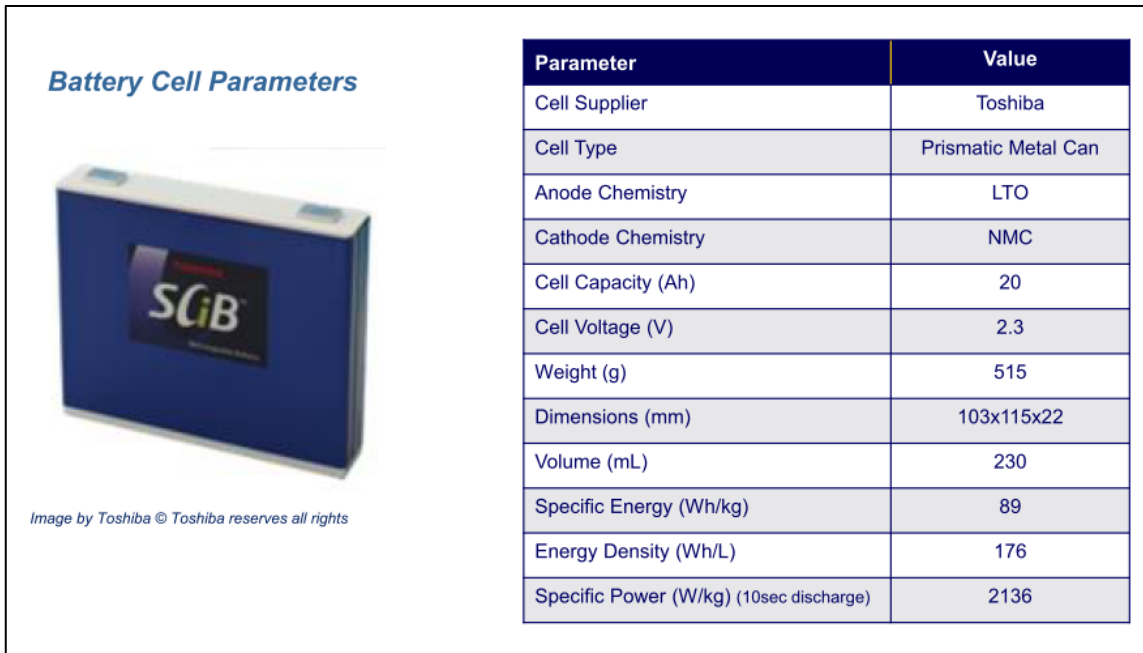


Figura 37. Celle utilizzate (Fonte: Total Battery Consulting) [22]

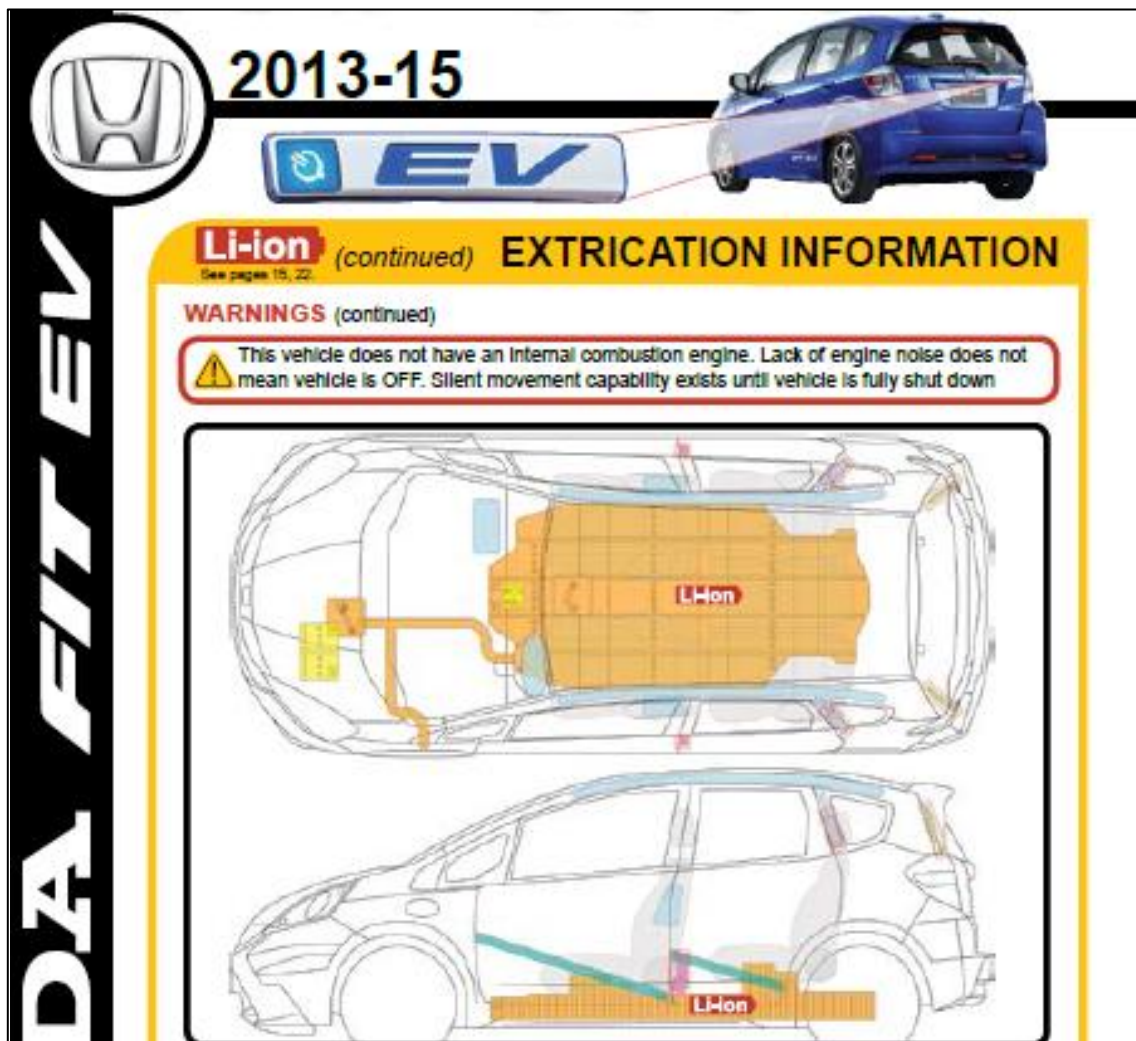


Figura 38. Posizionamento REESS (Fonte. NFPA) [21]

2.6 NISSAN LEAF

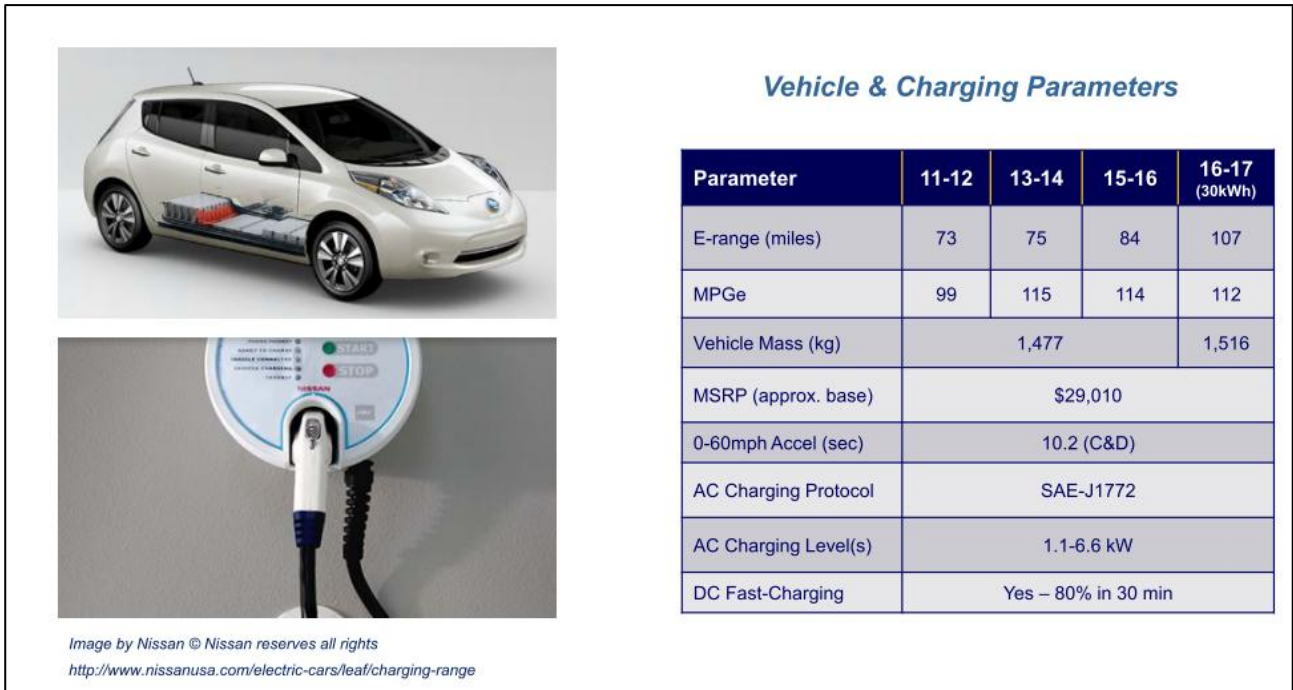


Figura 39. Veicolo e parametri di ricarica (Fonte: Total Battery Consulting) [22]

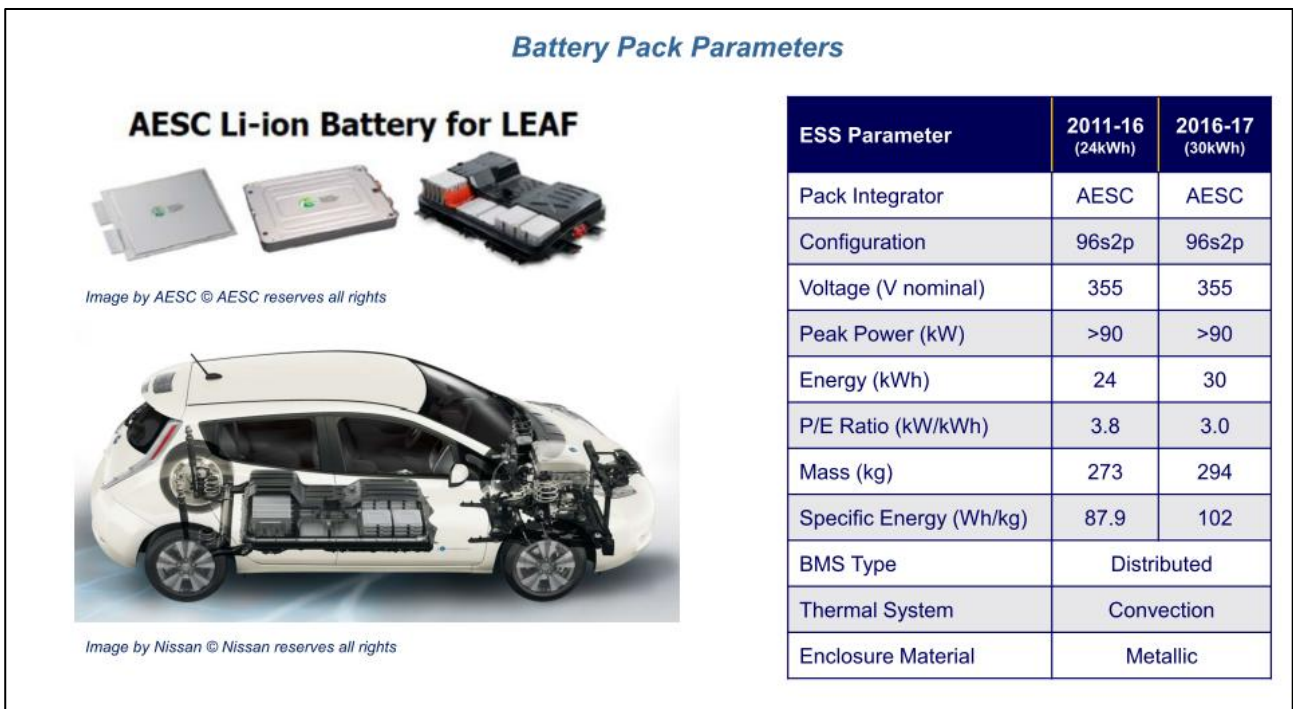



Figura 40. Struttura del REESS (Fonte: Total Battery Consulting) [22]




Images by AESC © AESC reserves all rights
http://www.eco-aesc-lb.com/en/product/liion_ev

Battery Cell Parameters

Parameter	2011-16 (24kWh)	2016-17 (30kWh option)
Cell Supplier	AESC	
Cell Type	Prismatic Pouch	
Anode Chemistry	Graphite	
Cathode Chemistry	LMO w/ NCA ; LMO w/NMC	
Cell Capacity (Ah)	32.5	40-41 (est)
Cell Voltage (V)	3.75	3.75
Weight (g)	787	908 (est)
Dimensions (mm)	290x216x7.1	290x216x7.1
Volume (mL)	445	445
Specific Energy (Wh/kg)	157	165-169 (est)
Energy Density (Wh/L)	317	390-400 (est)
Specific Power (W/kg) (10sec discharge)	2100	TBD


68

Figura 41. Celle utilizzate (Fonte: Total Battery Consulting) [22]



2013-15

Zero Emission



LEAF

Li-ion

(continued) See pages 19, 22

EXTRICATION INFORMATION

WARNINGS (continued)

- ⚠ Removal of service plug requires the use of electrical PPE (insulated gloves, shoes, and face shield).
- ⚠ In the event of a fire involving a charging station, reference the FIRE portion of this guide, and treat it as an energized electrical fire until power to the charger can be shut down.
- ⚠ This vehicle does not have an internal combustion engine. Lack of engine noise does not mean vehicle is OFF. Silent movement capability exists until vehicle is fully shut down.

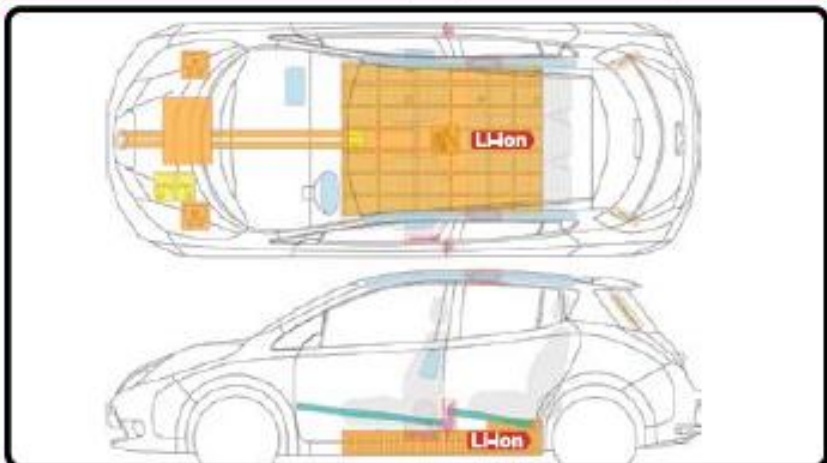


Figura 42. Posizionamento REESS (Fonte. NFPA) [22]

2.7 FORD FOCUS EV



Figura 43. Veicolo e parametri di ricarica (Fonte: Total Battery Consulting) [22]

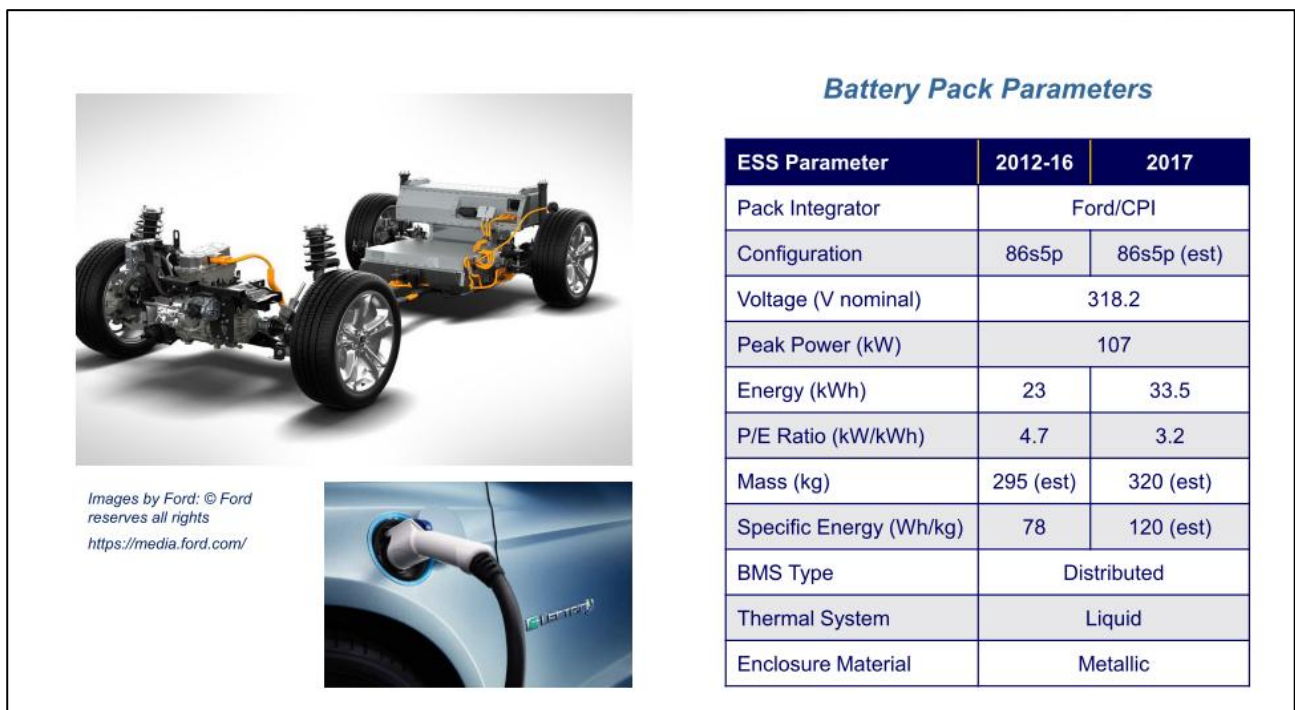


Figura 44. Struttura del REESS (Fonte: Total Battery Consulting) [22]

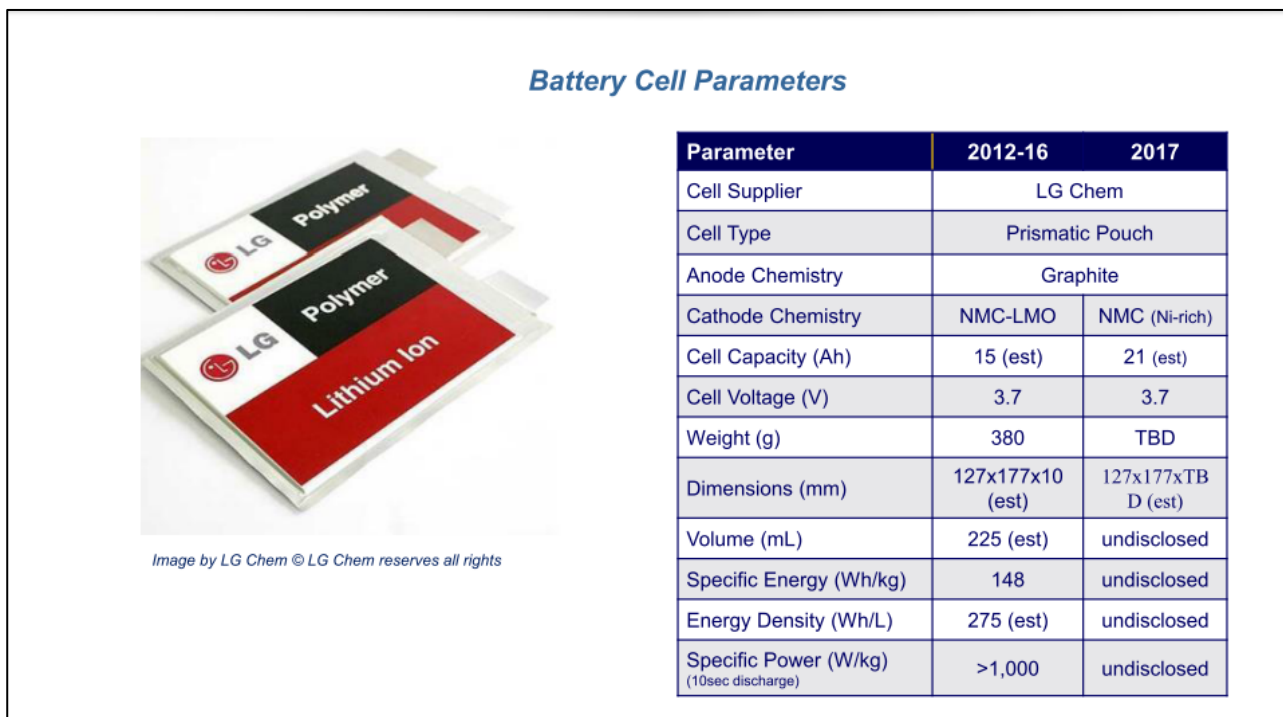


Figura 45. Celle utilizzate (Fonte: Total Battery Consulting) [22]

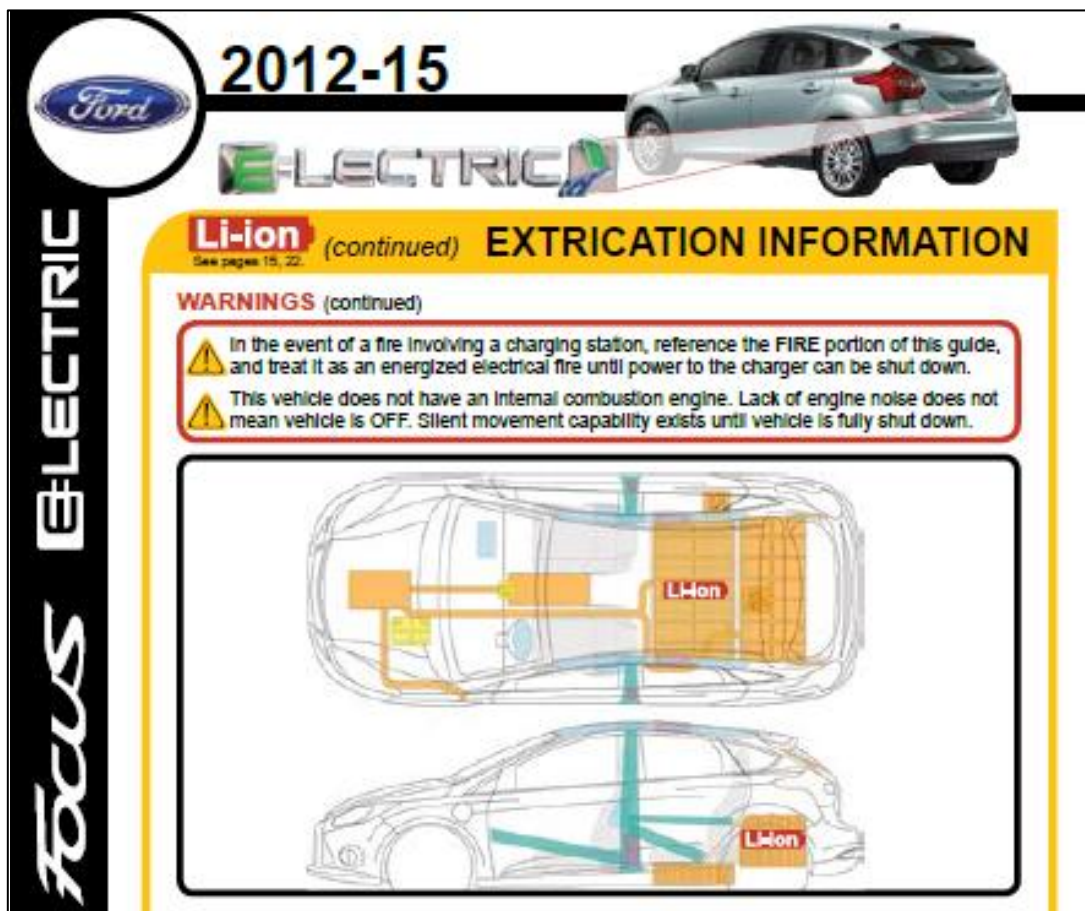


Figura 46. Posizionamento REESS (Fonte. NFPA) [21]

2.8 TOYOTA RAV4 EV

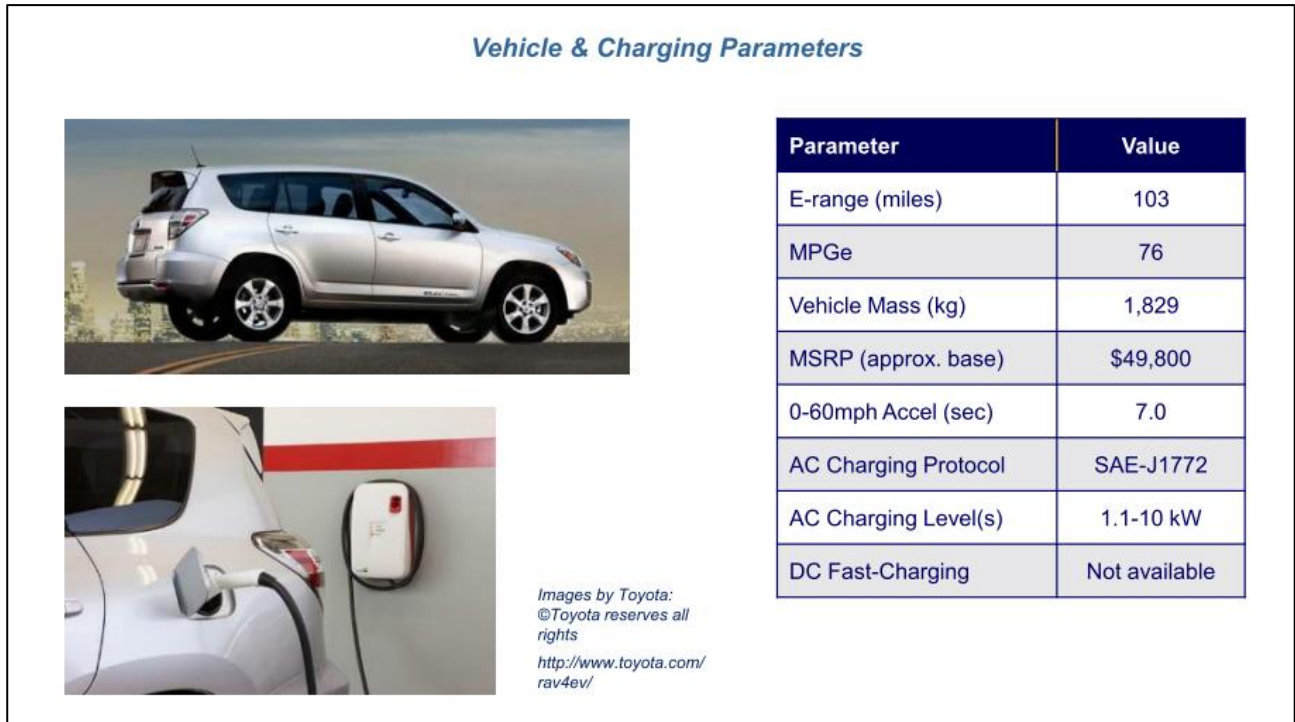


Figura 47. Veicolo e parametri di ricarica (Fonte: Total Battery Consulting) [22]

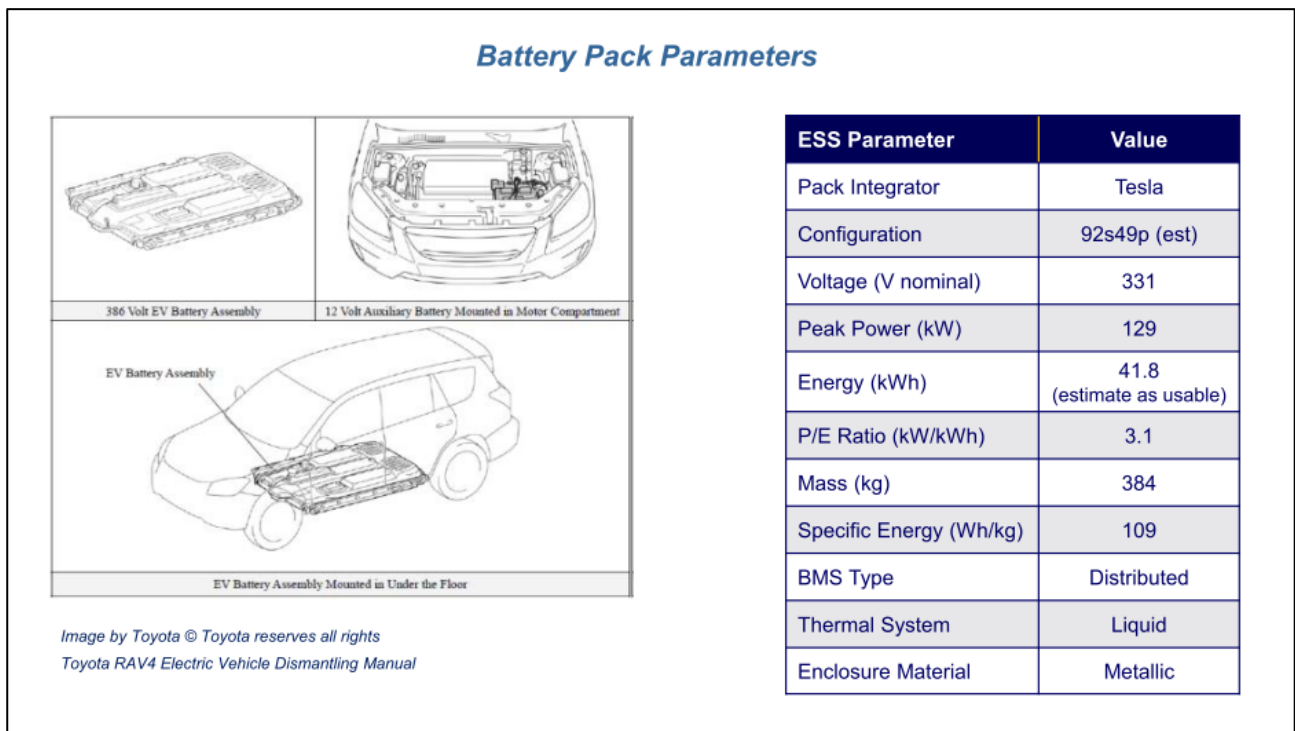


Figura 48. Struttura del REESS (Fonte: Total Battery Consulting) [22]

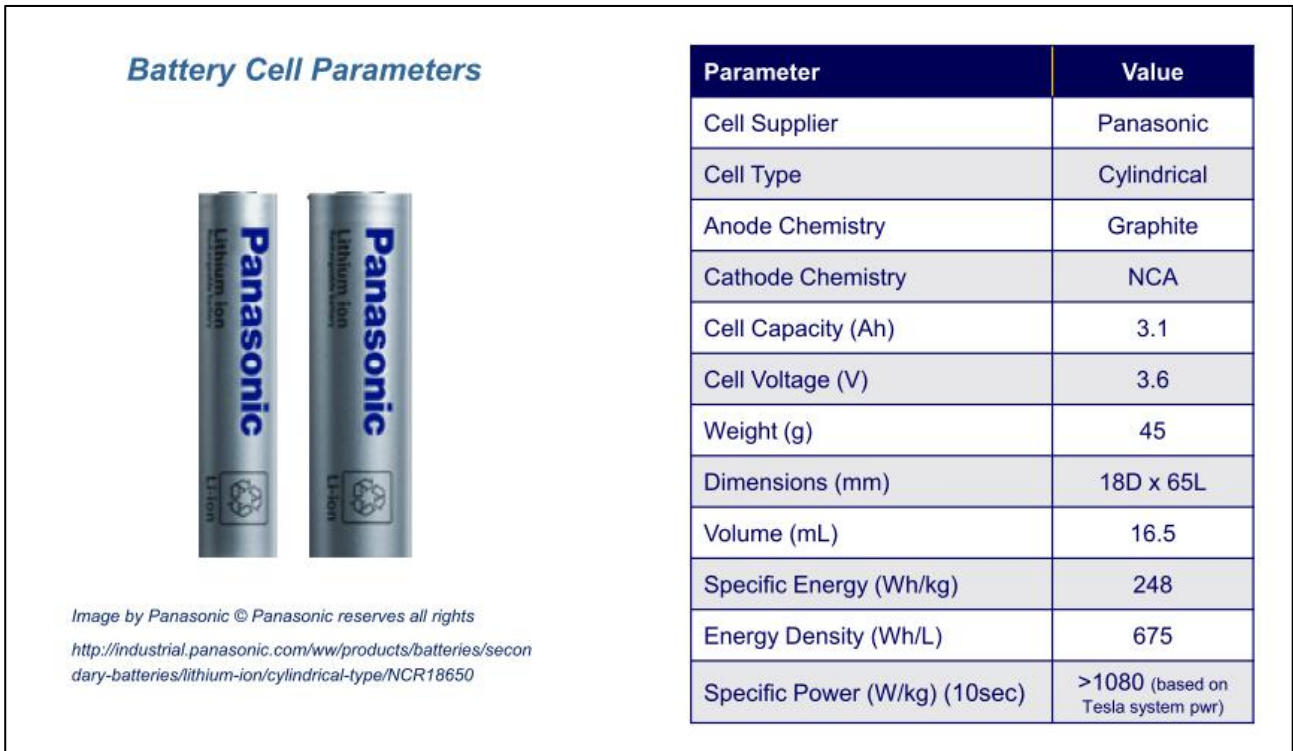


Figura 49. Celle utilizzate (Fonte: Total Battery Consulting) [22]

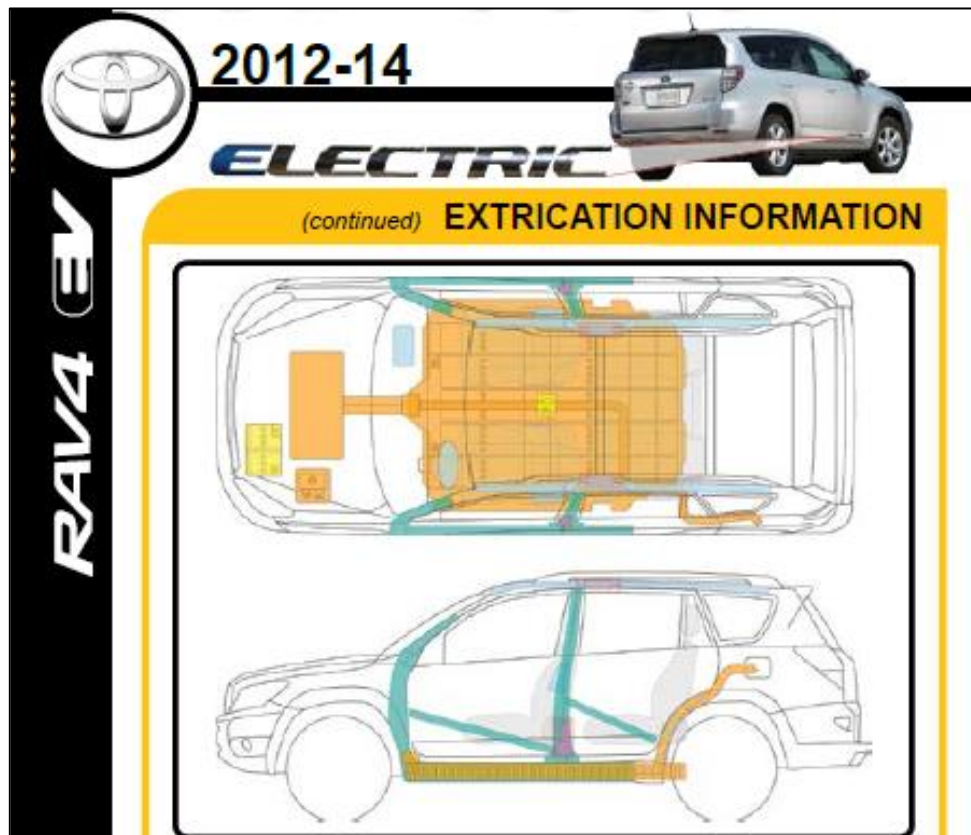


Figura 50. Posizionamento REESS (Fonte. NFPA) [21]

2.9 TESLA Model S e Model X

Parameter	60 60D	70 70D	75 75D	85 85D P85D	90D P90D	100D P100D
E-range (miles)	210 218	230 240	249 259	265 270 253	294 268	335 315
MPGe	99 104	101 101	98 103	90 106 98	103 95	102 98
Vehicle Mass (kg)	2,090	2,090	2,108	2,108 2,150 2,188	2,200 2,250	2,300 2,350
MSRP (approx. base)	\$62.5k \$67.5k	\$70k \$75k	\$69.5k \$74.5k	\$80k \$85k \$105k	\$87.5k \$110k	\$92.5k \$134.5k
0-60mph Accel (sec)	5.5 5.2	5.5 5.2	5.5 5.2	5.4 4.2 3.1/2.8 (Ludicrous)	4.2	4.2 2.5
AC Charging Protocol	Tesla & SAE-J1772					
AC Charging Level(s)	1.1-20 kW					
DC Fast-Charging	Yes – up to 120kW					

Images by Tesla © Tesla reserves all rights

Vehicle & Charging Parameters

Figura 51. Veicolo e parametri di ricarica (Fonte: Total Battery Consulting) [22]

Battery Pack Parameters

Images by Tesla © Tesla reserves all rights

- Note: A 40-kWh version was offered to early deposit holders, but was physically a 60-kWh pack software limited to 40 kWh
- Original 60-kWh battery option is now obsolete
- Newer 60-kWh battery was physically a 75-kWh battery software limited to 60 kWh

ESS Parameter	60 60D	70 70D	75 75D	85 85D P85D	90D P90D	100D P100D
Pack Integrator	Tesla					
Configuration	84s74p (est)			96s74p		96s86s
Voltage (V nominal)	302.4V (est)				345V	
Peak Power (kW)	235 245			278 311 345	311 345	311 451
Energy (kWh)	60	70	75	85	90	100
P/E Ratio (kW/kWh)	3.4 3.5			3.3 3.7 4.1	3.1 3.3	3.1 4.5
Mass (kg)	570 (est)			618	637 (est)	670 (est)
Specific Energy (Wh/kg)	122.8			138	141.3	149.3
BMS Type	Distributed					
Thermal System	Liquid					
Enclosure Material	Metallic					

Figura 52. Struttura del REESS (Fonte: Total Battery Consulting) [22]

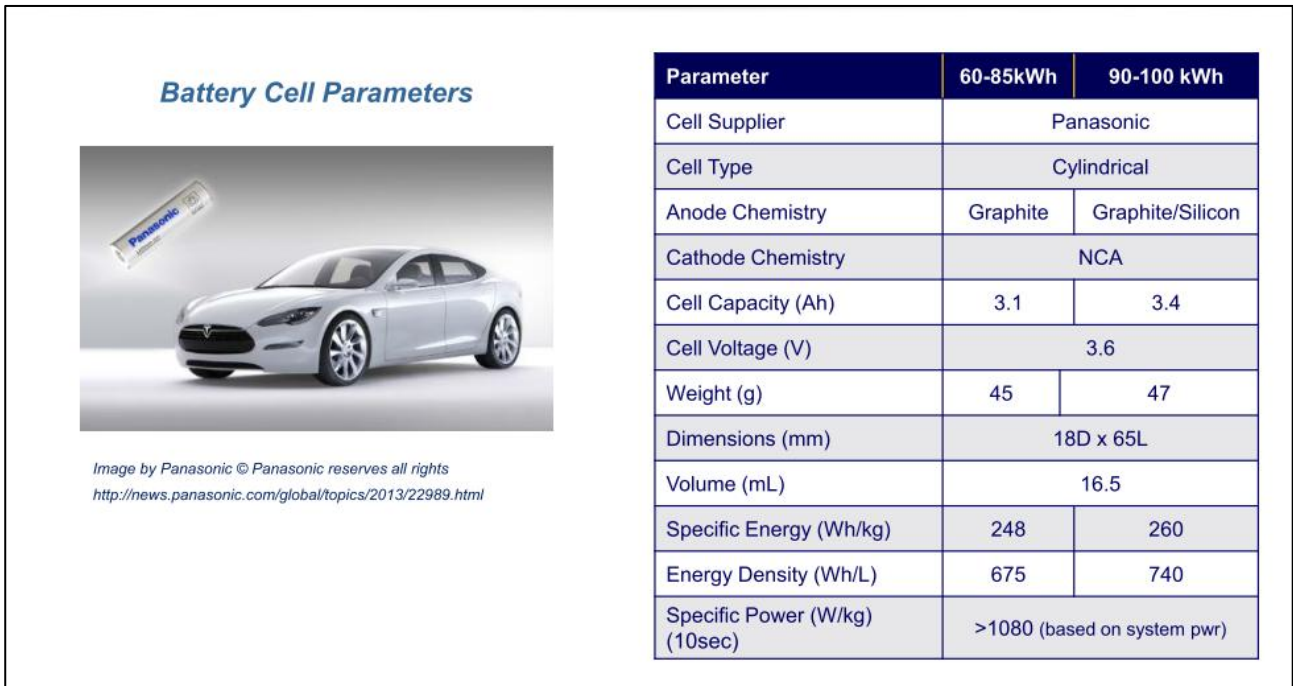


Figura 53. Celle utilizzate (Fonte: Total Battery Consulting) [22]

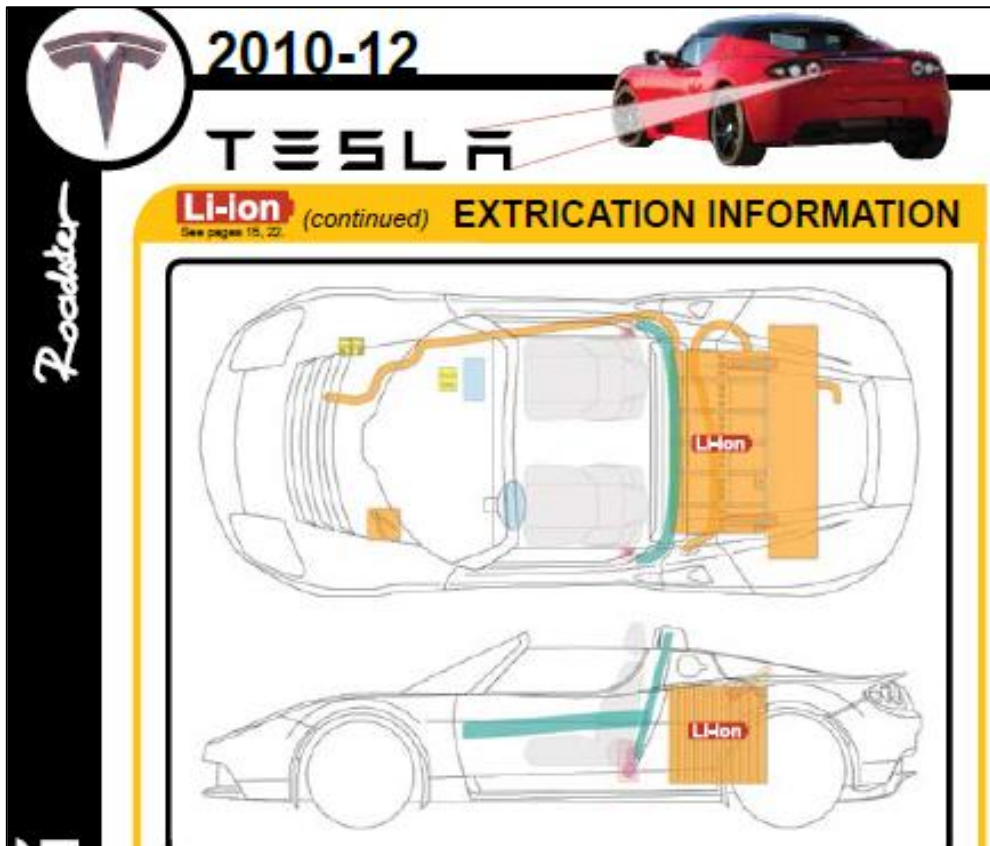


Figura 54. Posizionamento REESS (Fonte. NFPA) [22]

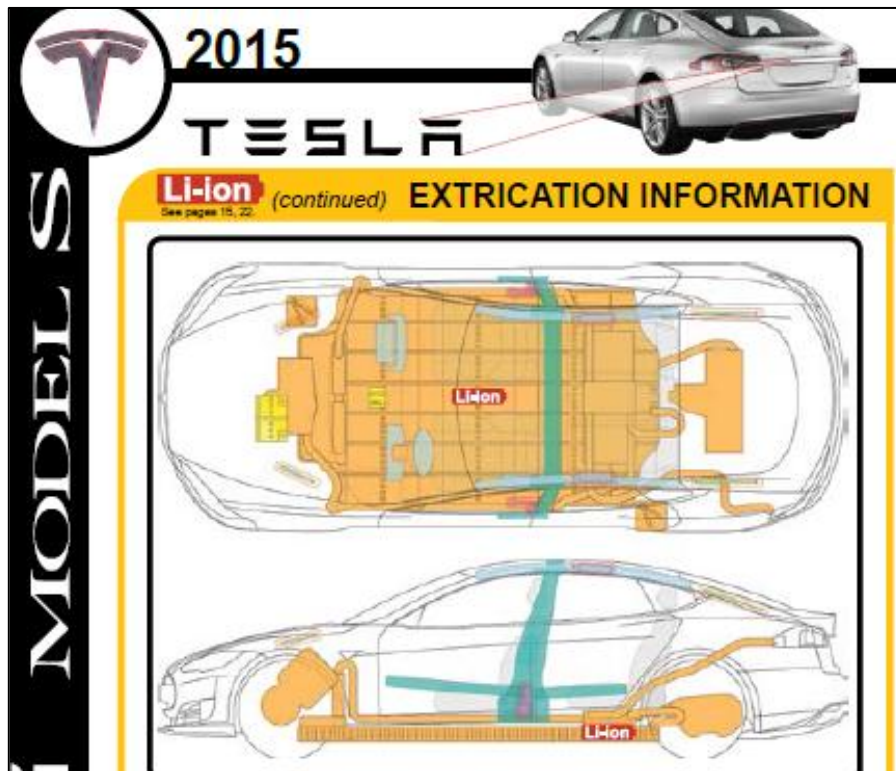


Figura 55. Posizionamento REESS (Fonte. NFPA) [22]

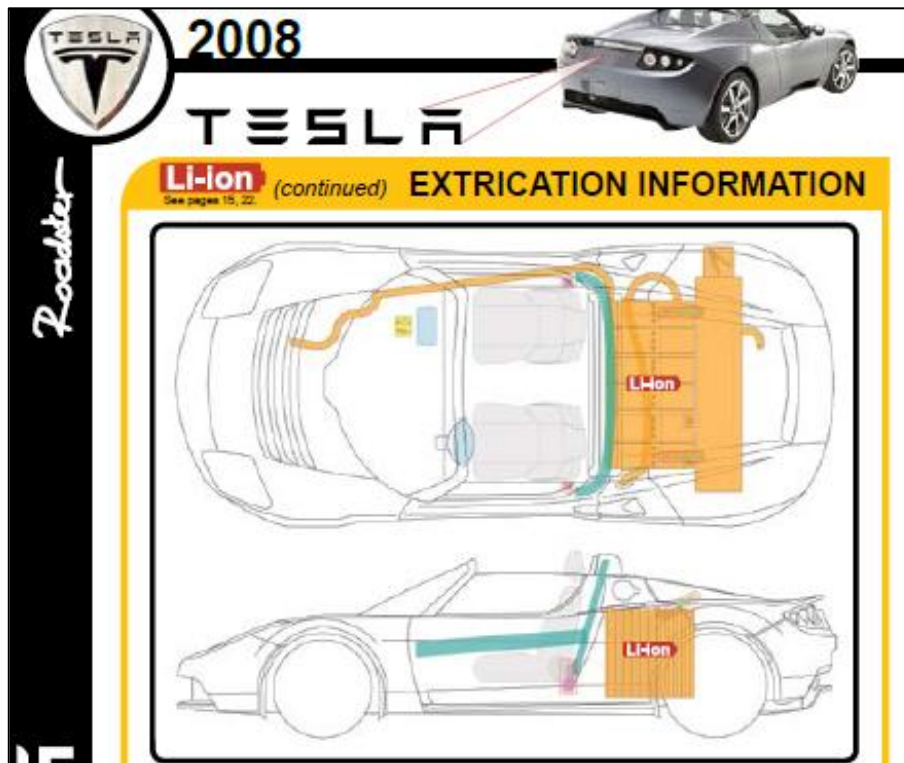


Figura 56. Posizionamento REESS (Fonte. NFPA) [22]

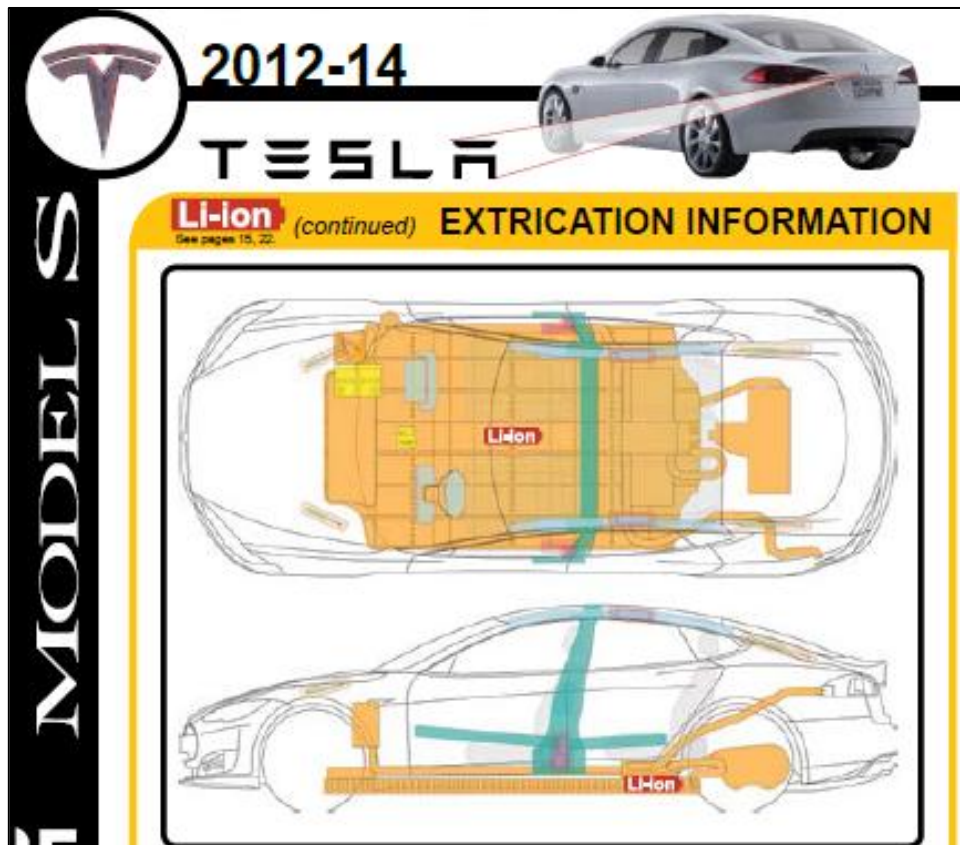


Figura 57. Posizionamento REESS (Fonte. NFPA) [22]

3 Conclusioni

La categoria dei veicoli elettrici, comprende veicoli nativi e veicoli convertiti, ovvero veicoli con motore a combustione interna convertiti in veicoli a propulsione elettrica: la conversione è resa possibile dalla normativa nazionale che recepisce norme internazionali ed è in vigore dal gennaio del 2016. Dal punto di vista della sicurezza chimica, il rischio di emissioni nocive, incendio ed esplosione proviene essenzialmente dalle batterie che costituiscono il sistema di stoccaggio dell'energia elettrica utilizzata dalla propulsione, dai super condensatori e dai liquidi utilizzati nel sottosistema di raffreddamento: tali rischi sono minimizzati dalle diverse soluzioni costruttive adottate dai produttori di veicoli o sistemi di accumulo, inclusa l'ingegneria dell'elettronica gestionale (BMS, BCU).

Per quanto riguarda il rischio associato alla sola batteria, questo va ricalcolato per ogni veicolo, in quanto è funzione delle celle utilizzate (forma e composizione chimica), dei collegamenti elettrici, della tipologia del sottosistema di raffreddamento e della sua efficienza in determinate condizioni di utilizzo (sia climatiche che prestazionali). L'ENEA, stipulando appositi accordi di collaborazione con l'Università "Sapienza" di Roma e l'Università di Pisa, nel corso di questo PAR 2016 ha affidato a tali istituzioni, l'esecuzione di studi di individuazione dei pericoli e di caratterizzazione chimico-fisica dei sistemi di accumulo elettrochimico per i veicoli elettrici, sia nelle condizioni di normale funzionamento che durante le operazioni di ricarica. Tali studi proseguiranno nel corso del PAR 2017, affiancati dall'analisi delle funzioni del BMS.

4 Riferimenti bibliografici

1. M. Schiavetti, T. Pini, F. D’Errico, M. Carcassi: “Studio sulla caratterizzazione dei vari livelli di protezione di sistemi di accumulo litio-ione per uso automotive, mediante “Layer Of Protection Analysis (LOPA)”. Report RdS/PAR2016/XXX (in corso di pubblicazione), relativo all’Accordo di Collaborazione con-Università di Pisa. Responsabili scientifici: C. Di Bari (ENEA); M. Carcassi (Università di Pisa – DICl). Settembre 2017
2. Paola Russo, Pierluigi Papillo: “LA RICARICA DI VEICOLI ELETTRICI: STUDIO PRELIMINARE ALLA MODELLAZIONE DELLE DISTANZE DI SICUREZZA”. Report RdS/PAR2016/XXX (in corso di pubblicazione), relativo all’AdC con Università “Sapienza” di Roma. Responsabili scientifici: C. Di Bari (ENEA); P. Russo, (Università “Sapienza” - Dipartimento di Ingegneria Chimica Materiali Ambiente). Settembre 2017
3. A. Bacaloni, M. A. Navarra, S. Insogna, G. Maresca: “SISTEMI DI ACCUMULO LITIO-IONE DI INTERESSE AUTOMOTIVE: STUDIO SULLA CARATTERIZZAZIONE CHIMICO-ANALITICA DI SOSTANZE CHIMICHE RESIDUATE DA PROVE DI ABUSO”. Report RdS/PAR2016/XXX (in corso di pubblicazione), relativo all’AdC con Università “Sapienza” di Roma. Responsabili scientifici: C. Di Bari (ENEA); A. Bacaloni (Università “Sapienza” – Dipartimento di Chimica). Settembre 2017
4. Cinzia Di Bari: “Hazard evaluation di celle Litio-ione ed elaborazione di un modello di raccolta dati per Safety Review di sistemi di accumulo”. Report RdS/2012/095 Rev.1 Settembre 2013
5. <https://www.studiocataldi.it/normativa/codicedellastrada/titoloterzo.asp>
6. https://it.wikipedia.org/wiki/Veicolo_elettrico (consultato il 04.12.2017)
7. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Electric_vehicle&oldid=810451828 (consultato il 15.11.2017)
8. ISO/TR 8713:2012. “TECHNICAL REPORT: Electrically propelled road vehicles — Vocabulary”. First edition 2012-05-01
9. Informal document GRSP-60-13 - (60th GRSP, 13-16 December 2016, agenda item 7)
10. <http://www.greenews.info/normative/retrofit-un-anno-dopo-il-decreto-che-trasforma-le-auto-a-combustione-in-elettriche-20170130/>
11. <http://www.qualenergia.it/articoli/20160119-trasformare-auto-benzina-in-elettrica-quanto-costa-come-si-fa-autofficina-filiera>
12. <http://www.lastampa.it/2017/01/07/motori/ambiente/la-vecchia-auto-la-trasformo-in-elettrica-ora-si-pu-con-il-decreto-retrofit-Ng4V77iBJ4PeaSAHV4VIIN/pagina.html>
13. <http://www.qualenergia.it/articoli/20160119-trasformare-auto-benzina-in-elettrica-quanto-costa-come-si-fa-autofficina-filiera>
14. v. n. 12
15. <http://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2016/01/11/15G00232/sg>
16. Exponent Failure Analysis Associates, Inc., “Lithium-Ion Batteries Hazard and Use Assessment”, Final Report, July 2011, Fire Protection Research Foundation.
17. TBC report
18. Francesco Vellucci / DTE-PCU-STMA, Introduzione alle tecnologie per la ricarica dei veicoli elettrici. *Casaccia, 06/06/2017 (Presentazione a riunione di lavoro organizzata da C. Di Bari, nell’ambito dell’AdC con Sapienza - prof.ssa Russo e CNVVF-NIA)*
19. Norma CEI EN 62196-2/A11/A12 “Spine, prese fisse, connettori mobili e fissi per veicoli – Carica conduttiva dei veicoli elettrici. Parte 2: Compatibilità dimensionale e requisiti di intercambiabilità di attacchi a spina e alveoli per corrente alternata”.
20. “Guida alla ricarica dei veicoli elettrici. Il vademecum essenziale per ogni proprietario di auto elettrica”. www.e-station-store.it. (Consultazione: 5.12.2017)

21. National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts: NFPA'S ALTERNATIVE FUEL VEHICLES SAFETY TRAINING PROGRAM. EMERGENCY FIELD GUIDE. 2015 EDITION". ISBN: 978-1455912742. NFPA.org | EVSAFETYTRAINING.org | MODITECH.com
22. Total Battery Consulting, "Battery Packs for Modern XEV's. 2017