

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea
in Ingegneria Elettrica

Tesi di Laurea Magistrale



Sistemi di ricarica conduttiva on-board dei veicoli elettrici

Relatore

Prof. Iustin Radu Bojoi

Candidato

Davide Monopoli

Anno Accademico 2021-2022

Sommario

L'analisi svolta in questa attività di tesi, ha come oggetto lo studio della ricarica conduttiva dei veicoli elettrici, fornendo, nel capitolo uno, le caratteristiche principali del processo di ricarica contenente tutti i componenti utili della ricarica stessa. In primo luogo, sono fornite le caratteristiche della ricarica conduttiva, la quale prevede un dispositivo utile all'erogazione di potenza, Electric Vehicle Supply Equipment, connettori specifici sia lato interfaccia rete, sia interfaccia veicolo. Vengono fornite anche le nozioni basilari di quello che concerne al dispositivo cardine della ricarica, On Board Charger, con un'analisi dei diversi tipi di convertitori che lo costituiscono e dai vari sistemi di filtraggio fondamentali per evitare stress e disturbi al pacco batteria. Sono descritte le varie tipologie di connessione dell'EVSE al veicolo, e conseguente illustrazione delle diverse metodologie di ricarica, le quali si differenziano principalmente dalla tipologia di energia erogabile dall'EVSE. Successivamente viene fornita una panoramica descrittiva dei modelli di EVSE in commercio a seconda della tipologia di installazione e di ricarica, ed anche dei diversi modelli di veicoli elettrici ed elettrificati presenti sul mercato green delle automobili. Al termine di tale capitolo è fornita una spiegazione di come avviene la ricarica delle batterie dei veicoli elettrici, dandone una descrizione generale della modalità e delle fasi di ricarica. Nel capitolo due è l'analizzato l'aspetto normativo, il quale regolarizza la messa in mercato dei diversi On Board Charger e stazioni di ricariche, prodotti dalle varie aziende, con un accorgimento specifico ai segnali di comunicazione che gestiscono la ricarica dei veicoli in sicurezza ed in modo del tutto autonomo. Inoltre, nel capitolo due sono fornite le specifiche degli strumenti di misura utilizzati durante la validazione di diverse EVSE, con diversi On Board Charger presenti sui diversi veicoli.

Nel capitolo tre sono riportati i dati sperimentali acquisiti, con i corrispettivi commenti tecnici, per concludere nell'ultimo capitolo con commenti generali sull'attività svolta, punti di riflessione sul come potrebbero evolvere in futuro tali sistemi in vista del continuo aumento della produzione dei veicoli elettrificati.

Indice

Sommario	3
Elenco delle figure	6
1 Introduzione	12
1.1 Modi di ricarica	13
1.1.1 Modo 1	13
1.1.2 Modo 2	14
1.1.3 Modo 3	14
1.1.4 Modo 4	15
1.2 Tipologie di connessione	16
1.2.1 Connessione di tipo "A"	16
1.2.2 Connessione di tipo "B"	17
1.2.3 Connessione di tipo "C"	17
1.3 Tipologie di connettori di ricarica	18
1.3.1 Connettore Tipo 1	18
1.3.2 Connettore Tipo 2	18
1.3.3 Connettore Tipo CHAdeMO	19
1.3.4 Connettore Tipo CCS Combo 2	20
1.4 Tipologie di EVSE	21
1.4.1 Wallbox	21
1.4.2 AC Charging Station	22
1.4.3 DC Charging Station	23
1.5 Tipologie di veicolo elettrici	24
1.5.1 Micro Hybrid Electric Vehicles	24
1.5.2 Mild Hybrid Electric Vehicles	25
1.5.3 Full Hybrid Vehicles	25
1.5.4 Plug-in Hybrid Electric Vehicles	25
1.5.5 Battery Electric Vehicles	26
1.6 On Board Charger	27
1.6.1 Struttura On Board charger	27
1.7 Cenni su Battery Charging	37

2	Normative e strumentazione utilizzata	39
2.1	CEI EN 61851	39
2.1.1	Funzione pilota - Control Pilot	41
2.1.2	Funzione prossimità - Proximity	46
2.2	Strumentazione utilizzata	48
3	Dati sperimentali	51
3.1	Wallbox 1	53
3.1.1	Veicolo A	53
3.1.2	Veicolo B	62
3.1.3	Veicolo C	71
3.2	Wallbox 2	76
3.2.1	Veicolo A	76
3.2.2	Veicolo B	86
3.2.3	Veicolo C	96
3.3	Wallbox 3	100
3.3.1	Veicolo A	100
3.3.2	Veicolo B	109
3.3.3	Veicolo C	118
3.4	Osservazioni	126
3.4.1	Analisi dati - Wallbox 1	126
3.4.2	Analisi dati - Wallbox 2	126
3.4.3	Analisi dati - Wallbox 3	127
4	Conclusioni	129

Elenco delle figure

1.1	Modalità di ricarica 1 [5]	13
1.2	Modalità di ricarica 2 [5]	14
1.3	Modalità di ricarica 3 [5]	14
1.4	Modalità di ricarica 4 [5]	15
1.5	Connessione di tipo A - Schema IEC61851 [4]	16
1.6	Connessione di tipo B - Schema IEC61851 [4]	17
1.7	Connessione di tipo C - Schema IEC61851 [4]	17
1.8	Connettore Tipo 1 [5]	18
1.9	Connettore Tipo 2 [5]	19
1.10	Connettore Tipo CHAdeMO [5]	19
1.11	Connettore Tipo CCS Combo 2 [5]	20
1.12	Schneider electric - EVH2S3P04K [6]	21
1.13	Free2Move Easywallbox [8]	21
1.14	Powercharge Pro-Series [10]	22
1.15	Circontrol eVolve Smart [3]	22
1.16	Xcharger High-Power C9LQ [11]	23
1.17	EVBox Ultroniq delivers high-power DC charging [7]	23
1.18	Architettura Micro Hybrid Electric Vehicles	24
1.19	Architettura Mild Hybrid Electric Vehicles	25
1.20	Architettura Plug-in Hybrid Electric Vehicles	26
1.21	Architettura Battery Electric Vehicles	26
1.22	On Board Charger [2]	27
1.23	Rappresentazione circuitale induttore	28
1.24	Rappresentazione circuitale condensatore	29
1.25	Raddrizzate monofase a ponte a diodi [2]	30
1.26	Raddrizzate monofase a ponte a diodi - Semionda positiva [2]	30
1.27	Raddrizzate monofase a ponte a diodi - Semionda negativa [2]	31
1.28	Profilo di corrente AC - Raddrizzatore monofase a ponte a diodi [2]	31
1.29	Profilo di corrente e tensione - Raddrizzatore monofase a ponte a diodi [2]	31
1.30	Profilo di corrente diodi- Raddrizzatore monofase a ponte a diodi [2]	32
1.31	Analisi forme d'onda - Raddrizzatore monofase a ponte a diodi [2]	32
1.32	Schema circuitale convertitore Boost [2]	33
1.33	Percorso di corrente convertitore boost Ton [2]	33
1.34	Percorso di corrente convertitore boost Toff [2]	34

1.35	Forme d'onda convertitore boost [2]	34
1.36	Schema circuitale convertitore DC/AC [2]	36
1.37	Schema circuitale On Board Charger dettagliato [2]	36
1.38	Metodo di ricarica CC/CV	37
2.1	Limiti di corrente di contatto - CEI EN 61851 [4]	41
2.2	Tensioni di stato - SAE J1772 [4]	42
2.3	Circuito Control Pilot - CEI EN 61851 [4]	43
2.4	Forma d'onda Control Pilot - CEI EN 61851 [4]	43
2.5	Duty cycle - CEI EN 61851 [4]	44
2.6	Relazione corrente- duty cycle - SAE J1772 [9]	45
2.7	Circuito monofase proximity - CEI EN 61851 [4]	46
2.8	Resistenza equivalente R_c - CEI EN 61851 [4]	47
2.9	Caratteristiche oscilloscopio e sonda differenziale di tensione [1]	49
2.10	Setup Break Out Box	50
2.11	Setup PC - oscilloscopio	50
3.1	Andamento ricarica Wallbox 1 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo A	53
3.2	Andamento ricarica Wallbox 1 - Profilo di tensione, PP, CP durante stato C - Veicolo A	54
3.3	Andamento ricarica Wallbox 1 - Profilo corrente, PP, CP - veicolo A	54
3.4	Andamento ricarica Wallbox 1 - Profilo di corrente, PP, CP durante stato C - Veicolo A	55
3.5	Andamento ricarica Wallbox 1 - Profilo di corrente, PP CP con filtro passa basso a 150 Hz durante stato C - Veicolo A	55
3.6	Andamento segnale pilota durante la ricarica Wallbox 1 - Veicolo A	56
3.7	Stato A e B1 CP Wallbox 1 - Veicolo A	56
3.8	Stato B2 CP Wallbox 1 - Veicolo A	57
3.9	Stato C CP Wallbox 1 - Veicolo A	57
3.10	Risultati valori ricarica Wallbox 1 - Veicolo A	58
3.11	Andamento ricarica durante blackout Wallbox 1 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo A	59
3.12	Andamento ricarica durante blackout Wallbox 1 - Profilo corrente, PP, CP - Veicolo A	59
3.13	Comportamento in assenza di alimentazione da parte della rete alla stazione di ricarica Wallbox 1 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo A	60
3.14	Comportamento del ritorno dell'alimentazione da parte della rete alla stazione di ricarica Wallbox 1 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo A	60
3.15	Ricarica preventiva a seguito della rialimentazione Wallbox 1 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo A	61
3.16	Risultati valori ricarica durante blackout e post blackout Wallbox 1 - Veicolo A	61
3.17	Andamento ricarica Wallbox 1 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo B	62
3.18	Andamento ricarica Wallbox 1 - Profilo di tensione, PP, CP durante stato C - Veicolo B	63
3.19	Andamento ricarica Wallbox 1 - Profilo corrente, PP, CP - veicolo B	63
3.20	Andamento ricarica Wallbox 1 - Profilo di corrente, PP, CP durante stato C - Veicolo B	64

3.21	Andamento ricarica Wallbox 1 - Profilo di corrente, PP, CP con filtro passa basso a 150 Hz durante stato C - Veicolo B	64
3.22	Andamento segnale pilota durante la ricarica Wallbox 1 - Veicolo B	65
3.23	Stato A e B1 CP Wallbox 1 - Veicolo B	65
3.24	Stato B2 CP Wallbox 1 - Veicolo B	66
3.25	Stato C CP Wallbox 1 - Veicolo B	66
3.26	Risultati valori ricarica Wallbox 1 - Veicolo B	67
3.27	Andamento ricarica durante blackout Wallbox 1 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo B	68
3.28	Andamento ricarica durante blackout Wallbox 1 - Profilo corrente, PP, CP - Veicolo B	68
3.29	Comportamento in assenza di alimentazione da parte della rete alla stazione di ricarica Wallbox 1 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo B	69
3.30	Comportamento del ritorno dell'alimentazione da parte della rete alla stazione di ricarica Wallbox 1 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo B	69
3.31	Ricarica permanente a seguito della ricarica preventiva Wallbox 1 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo B	70
3.32	Risultati valori ricarica durante blackout e post blackout Wallbox 1 - Veicolo B	70
3.33	Andamento ricarica Wallbox 1 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo C	71
3.34	Andamento ricarica Wallbox 1 - Profilo di tensione, CP durante stato C - Veicolo C	71
3.35	Andamento ricarica Wallbox 1 - Profilo corrente, PP, CP - veicolo C	72
3.36	Andamento normale ricarica Wallbox 1 - Profilo di corrente, CP durante stato C - Veicolo C	72
3.37	Andamento segnale pilota durante la ricarica Wallbox 1 - Veicolo C	73
3.38	Stato A e B1 CP Wallbox 1 - Veicolo C	73
3.39	Stato B2 CP Wallbox 1 - Veicolo C	74
3.40	Stato C CP Wallbox 1 - Veicolo C	74
3.41	Risultati valori ricarica Wallbox 1 - Veicolo C	75
3.42	Andamento ricarica Wallbox 2 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo A	76
3.43	Andamento ricarica Wallbox 2 - Profilo di tensione, PP, CP durante stato C - Veicolo A	77
3.44	Andamento ricarica Wallbox 2 - Profilo corrente, PP, CP - veicolo A	77
3.45	Andamento ricarica Wallbox 2 - Profilo di corrente, PP, CP durante stato C - Veicolo A	78
3.46	Andamento ricarica Wallbox 2 - Profilo di corrente, PP, CP con filtro passa basso a 150 Hz durante stato C - Veicolo A	78
3.47	Andamento segnale pilota durante la ricarica Wallbox 2 - Veicolo A	79
3.48	Stato A e B1 CP Wallbox 2 - Veicolo A	79
3.49	Stato B2 CP Wallbox 2 - Veicolo A	80
3.50	Stato C CP Wallbox 2 - Veicolo A	80
3.51	Risultati valori ricarica Wallbox 2 - Veicolo A	81
3.52	Andamento ricarica durante blackout Wallbox 2 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo A	82

3.53	Andamento ricarica durante blackout Wallbox 2 - Profilo corrente, PP, CP - Veicolo A	82
3.54	Comportamento in assenza di alimentazione da parte della rete alla stazione di ricarica Wallbox 2 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo A	83
3.55	Comportamento del ritorno dell'alimentazione da parte della rete alla stazione di ricarica Wallbox 2- Profilo tensione, PP, CP - Veicolo A	83
3.56	Andamento segnale pilota durante la fase di Blackout Wallbox 2 - Veicolo A	84
3.57	Andamento segnale pilota durante la fase di post Blackout Wallbox 2 - Veicolo A	84
3.58	Risultati valori ricarica durante blackout e post blackout Wallbox 2 - Veicolo A	85
3.59	Andamento ricarica Wallbox 2 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo B	86
3.60	Andamento ricarica Wallbox 2 - Profilo di tensione, PP, CP durante stato C - Veicolo B	87
3.61	Andamento ricarica Wallbox 2 - Profilo corrente, PP, CP - veicolo B	87
3.62	Andamento ricarica Wallbox 2 - Profilo di corrente, PP, CP durante stato C - Veicolo B	88
3.63	Andamento ricarica Wallbox 2 - Profilo di corrente, PP, CP con filtro passa basso a 150 Hz durante stato C - Veicolo B	88
3.64	Andamento segnale pilota durante la ricarica Wallbox 2 - Veicolo B	89
3.65	Stato A e B1 CP Wallbox 2 - Veicolo B	89
3.66	Stato B2 CP Wallbox 2 - Veicolo B	90
3.67	Stato C CP Wallbox 2 - Veicolo B	90
3.68	Risultati valori ricarica Wallbox 2 - Veicolo B	91
3.69	Andamento ricarica durante blackout Wallbox 2 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo B	92
3.70	Andamento ricarica durante blackout Wallbox 2 - Profilo corrente, PP, CP - Veicolo B	92
3.71	Comportamento in assenza di alimentazione da parte della rete alla stazione di ricarica Wallbox 2 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo B	93
3.72	Comportamento del ritorno dell'alimentazione da parte della rete alla stazione di ricarica Wallbox 2 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo B	93
3.73	Andamento segnale pilota Wallbox 2 - Veicolo B	94
3.74	Andamento segnale pilota durante blackout Wallbox 2 - Veicolo B	94
3.75	Andamento segnale pilota post blackout Wallbox 2 - Veicolo B	95
3.76	Risultati valori ricarica durante blackout e post blackout Wallbox 2 - Veicolo B	95
3.77	Andamento ricarica Wallbox 2 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo C	96
3.78	Andamento ricarica Wallbox 2 - Profilo corrente, PP, CP - Veicolo C	96
3.79	Andamento segnale pilota Wallbox 2 - Veicolo C	97
3.80	Stato A e B1 segnale pilota Wallbox 2 - Veicolo C	97
3.81	Stato B2 segnale pilota Wallbox 2 - Veicolo C	98
3.82	Tentativo autonomo di ricarica Wallbox 2 - Veicolo C	98
3.83	Risultati valori ricarica Wallbox 2 - Veicolo C	99
3.84	Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo A	100
3.85	Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo di tensione, PP, CP durante stato C - Veicolo A	101

3.86	Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo corrente, PP, CP - veicolo A	101
3.87	Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo di corrente, PP, CP durante stato C - Veicolo A	102
3.88	Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo di corrente, PP, CP con filtro passa basso a 150 Hz durante stato C - Veicolo A	102
3.89	Andamento segnale pilota durante la ricarica Wallbox 3 - Veicolo A	103
3.90	Stato A e B1 CP Wallbox 3 - Veicolo A	103
3.91	Stato B2 CP Wallbox 3 - Veicolo A	104
3.92	Stato C CP Wallbox 3 - Veicolo A	104
3.93	Risultati valori ricarica Wallbox 3 - Veicolo A	105
3.94	Andamento ricarica durante blackout Wallbox 3 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo A	106
3.95	Andamento ricarica durante blackout Wallbox 3 - Profilo corrente, PP, CP - Veicolo A	106
3.96	Andamento segnale pilota durante e post blackout Wallbox 3 - Veicolo A . .	107
3.97	Andamento segnale pilota durante blackout Wallbox 3 - Veicolo A	107
3.98	Andamento segnale pilota post blackout Wallbox 3 - Veicolo A	108
3.99	Risultati valori ricarica durante blackout e post blackout Wallbox 3 - Veicolo A	108
3.100	Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo B	109
3.101	Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo di tensione, PP, CP durante stato C - Veicolo B	110
3.102	Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo corrente, PP, CP - veicolo B	110
3.103	Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo di corrente, PP, CP durante stato C - Veicolo B	111
3.104	Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo di corrente, PP, CP con filtro passa basso a 150 Hz durante stato C - Veicolo B	111
3.105	Andamento segnale pilota durante la ricarica Wallbox 3 - Veicolo B	112
3.106	Stato A e B1 CP Wallbox 3 - Veicolo B	112
3.107	Stato B2 CP Wallbox 3 - Veicolo B	113
3.108	Stato C CP Wallbox 3 - Veicolo B	113
3.109	Risultati valori ricarica Wallbox 3 - Veicolo B	114
3.110	Andamento ricarica durante blackout Wallbox 3 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo B	115
3.111	Andamento ricarica durante blackout Wallbox 3 - Profilo corrente, PP, CP - Veicolo B	115
3.112	Comportamento in assenza di alimentazione da parte della rete alla stazione di ricarica Wallbox 3 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo B	116
3.113	Andamento segnale pilota durante e post blackout Wallbox 3 - Veicolo B . .	116
3.114	Risultati valori ricarica durante blackout e post blackout Wallbox 3 - Veicolo B	117
3.115	Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo C	118
3.116	Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo di tensione, PP, CP durante stato C - Veicolo C	118
3.117	Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo corrente, PP, CP - veicolo C	119
3.118	Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo di corrente, PP, CP durante stato C - Veicolo C	119

3.119	Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo di corrente, PP, CP con filtro passa basso a 150 Hz durante stato C - Veicolo C	120
3.120	Andamento segnale pilota durante ricarica Wallbox 3 - Veicolo C	120
3.121	Stato A e B1 CP Wallbox 3 - Veicolo C	121
3.122	Stato B2 CP Wallbox 3 - Veicolo C	121
3.123	Stato C CP Wallbox 3 - Veicolo C	122
3.124	Risultati valori ricarica Wallbox 3 - Veicolo C	122
3.125	Andamento ricarica durante blackout Wallbox 3 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo C	123
3.126	Andamento ricarica durante blackout Wallbox 3 - Profilo corrente, PP, CP - Veicolo C	123
3.127	Andamento segnale pilota durante e post blackout Wallbox 3 - Veicolo C	124
3.128	Comportamento in assenza di alimentazione da parte della rete alla stazione di ricarica Wallbox 3 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo C	124
3.129	Andamento segnale pilota durante blackout Wallbox 3 - Veicolo C	125
3.130	Risultati valori ricarica durante blackout e post blackout Wallbox 3 - Veicolo C	125

Capitolo 1

Introduzione

L'avvento della mobilità elettrica è indissolubilmente legato allo sviluppo delle infrastrutture di ricarica di tali veicoli. Il processo di ricarica prevede diverse tipologie e metodologie di ricarica, come ad esempio la ricarica conduttiva attraverso cablaggio, la sostituzione della batteria attraverso il "Battery Swap" ed anche, ancora oggetto di ricerca e sviluppo, la ricarica wireless.

La tipologia di cui si occupa tale documento è la ricarica conduttiva, la quale verrà analizzata sotto il profilo della ricarica AC.

Il processo di carica, prevede che vi sia un Electric Vehicle Supply Equipment - stazione di ricarica - la quale connessa alla rete elettrica può erogare energia verso il veicolo una volta connesso. Affinché vi sia lo scambio di energia tra colonnina e veicolo, è importante che vi sia corrispondenza tra i segnali di controllo del EVSE, come ad esempio il Control Pilot, ed i segnali del veicolo, come ad esempio il Proximity. Una volta connessi, il flusso di ricarica è gestito dalle centraline presenti sul veicolo, le quali nello specifico sono in genere la centralina dell'OBC, la quale comanda l'apertura e chiusura degli interruttori elettronici che lo compongono, e dalla centralina della batteria che gestisce la modalità di carica, ovvero il Battery Management System. Come appena affermato, lato veicolo, l'energia AC fornita dalla colonnina deve essere convertita in una energia continua, poiché le batterie delle autovetture elettriche, così come per tutti gli altri campi di applicazione, sono ricaricate con forma d'onda, delle grandezze, continua. Il dispositivo responsabile di tale conversione è l'On Board Charger, il quale è costituito da diversi stadi, che definiscono diverse tipologie di convertitori elettrici. A seguito di questa breve panoramica del processo di ricarica, sono analizzati i componenti più importanti che costituiscono tale processo, fornendo le conoscenze necessarie sia in termini di stazione di ricarica, sia in termini di veicolo.

1.1 Modi di ricarica

In questa sezione è fornita una visione generale delle diverse modalità con cui vengono ricaricate le autovetture elettriche. Nello specifico, sono riportate le caratteristiche principali che differenziano le varie modalità, correlandole alla tipologia e potenza di alimentazione della rete elettrica, i quali devono allinearsi con quanto previsto dalla norma ICE 61851 e SAE J1772.

Di seguito sono elencate le macro-differenze delle varie modalità di ricarica dei veicoli.

- Valori massimi di tensione e corrente erogabili;
- Presenza di segnali e tecniche di controllo per il coordinamento della ricarica;
- Presenza di dispositivi di protezione;
- Tipologia di forma d'onda erogabile.

1.1.1 Modo 1

Questa tipologia di ricarica prevede che la connessione tra veicolo e rete, avvenga con una connessione diretta cablata, attraverso sistema cavo-spina, la quale utilizza una tensione di alimentazione della rete di massimo 250 V RMS nominale, e capace di condurre una corrente massima di 16 A. Tale tipologia non prevede né alcuna logica di comunicazione che gestisca la ricarica, né un dispositivo di protezione dedicato alla sicurezza delle persone, facendo riferimento, quindi, al dispositivo di protezione generale della linea a cui viene connessa la spina. Tale modalità spesso è usata per una ricarica riguardante la micro mobilità elettrica, con collegamento in genere ad una rete elettrica monofase, nella quale rientrano veicoli con valori di potenza del pacco batteria molto bassi, quali monopattini, bici elettriche ecc.



Figura 1.1. Modalità di ricarica 1 [5]

1.1.2 Modo 2

La modalità due prevede che la connessione tra veicolo e rete, avvenga con una connessione cablata, con cavo-spina, con una tensione nominale di 250 V RMS nominali nelle linee monofase o di 400 V RMS nominali di linea nelle linee trifasi, con una corrente massima erogabile, in quest'ultima tipologia di alimentazione, di 32 A. Un ulteriore differenza rispetto alla modalità uno, è la presenza di un control box, attraverso tecnica PWM, la quale utilizzando dei segnali di controllo denominati rispettivamente Control Pilot e Proximity, garantisce sicurezza e andamento adeguato della ricarica. Per quanto concerne la protezione delle persone, in tale modalità, la EVSE è provvista di un differenziale proprio (RCD) per la sicurezza delle persone.



Figura 1.2. Modalità di ricarica 2 [5]

1.1.3 Modo 3

Tale metodologia prevede un collegamento del veicolo elettrico alla rete di alimentazione AC, attraverso delle colonnine di ricarica pubbliche dedicate, permanentemente connesse a rete. Tale modalità prevede che l'EVSE sia in grado di ricaricare il veicolo sia con le modalità descritte precedentemente, sia con modalità "fast AC Charging", erogando una corrente massima di carica di 63A, in condizioni di alimentazione trifase, per una potenza complessiva di 43kW. La modalità prevede, come per il modo due, il controllo e la gestione della ricarica attraverso tecnica PWM, attraverso i medesimi segnali di Control Pilot e Proximity, ed un RCD dedicato per la protezione delle persone da eventuali contatti indiretti.



Figura 1.3. Modalità di ricarica 3 [5]

1.1.4 Modo 4

Tale modalità prevede che la ricarica del veicolo venga effettuata in corrente continua. Nello specifico, l'EVSE ha al suo interno un convertitore AC/DC, il quale converte l'alimentazione della rete in alimentazione continua. Tale metodologia ha la possibilità di erogare una corrente massima di 200 A ed una tensione di 1500 V. Tale modalità, con l'erogazione di tali valori di tensione e corrente, caratterizza la "DC Fast Charger" poiché permette di ripristinare il SOC (State Of Charge) della batteria, in pochi minuti.



Figura 1.4. Modalità di ricarica 4 [5]

1.2 Tipologie di connessione

In questa sezione è data una panoramica delle connessioni utilizzate per ricaricare le autovetture elettriche, le quali si differenziano principalmente dal tipo di conduttore che viene utilizzato durante il processo di ricarica. La differenza sostanziale tra le diverse tipologie è il tipo di conduttore utilizzato al trasferimento di potenza, il quale può essere permanentemente sul veicolo, removibile sia dall'EVSE che dal veicolo, e permanentemente fisso sulla stazione di ricarica.

L'aspetto principale di tale categorizzazione sussiste nel definire dei segnali di controllo e gestione della ricarica, a seconda della potenza fornibile dalle stazioni di ricarica. Infatti, vi sono stazioni di ricarica semplici - non prevedendo nessun accorgimento di controllo, gestione, raffreddamento, ed alcune autorizzate a funzionare solo a seguito del corretto funzionamento dei vincoli descritti pocanzi.

Di seguito sono descritte le differenze sostanziali delle diverse connessioni, riportando anche gli schemi descritti ad essa, estrapolati dalla norma cardine IEC 61851.

1.2.1 Connessione di tipo "A"

Tale tipologia prevede che il veicolo venga connesso alla stazione di ricarica attraverso un conduttore con spina permanentemente fissato sul veicolo elettrico. Per questa tipologia di veicoli, infatti, si fa riferimento a veicoli - mobilità di piccole potenze, come ad esempio monopattini e biciclette elettriche, le quali viste le potenze di utilizzo, non richiedono nessun tipo di segnali di controllo e refrigerazione specifica.

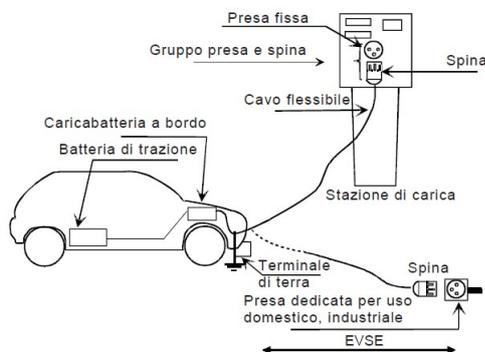


Figura 1.5. Connessione di tipo A - Schema IEC61851 [4]

1.2.2 Connessione di tipo "B"

Tale connessione prevede che il veicolo venga connesso all'EVSE attraverso un conduttore removibile sia lato colonnina che lato veicolo. Tale connessione può essere con presa a muro (connessione di tipo "B1") o attraverso stazione di ricarica specifica (connessione di tipo "B2").

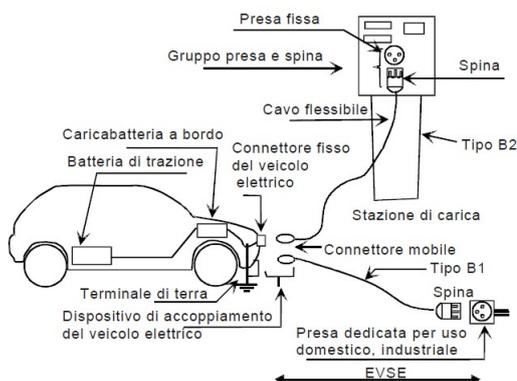


Figura 1.6. Connessione di tipo B - Schema IEC61851 [4]

1.2.3 Connessione di tipo "C"

Quest'ultima tipologia prevede che il veicolo venga connesso all'EVSE attraverso un conduttore permanente fisso sulla stazione di ricarica, il quale spesso è dotato di un sistema di raffreddamento interno, poiché generalmente utilizzato in ricariche con potenze erogabili molto elevate.

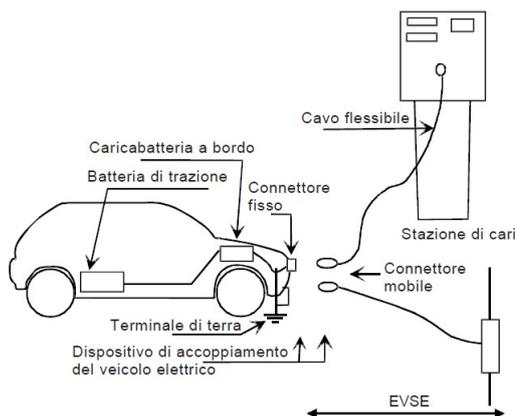


Figura 1.7. Connessione di tipo C - Schema IEC61851 [4]

1.3 Tipologie di connettori di ricarica

In questa sezione è data una panoramica dei diversi connettori utilizzati durante la ricarica dei veicoli elettrici, dandone in primo luogo una definizione, e successivamente elencandone le modalità di utilizzo di ognuno di essi, correlandoli alle diverse tipologie di rete o di alimentazione ed ai valori di tensione e corrente a cui possono essere sottoposti.

I connettori di ricarica sono dispositivi che permettono la connessione tra EVSE ed il veicolo elettrico, al fine dello scambio di energia. Essi sono costituiti, in genere, da un determinato numero di poli di potenza, poli di controllo ed ausiliari, per garantire un controllo accurato dell'intero processo di ricarica e garantendo un funzionamento sicuro.

1.3.1 Connettore Tipo 1

Esso è un cavo che spesso si presenta con una presa lato colonnina di tipo 2, ed una spina lato veicolo di tipo 1. Il tipo 1 è una spina monofase ed è la connessione standard per i veicoli elettrici del mercato americano ed asiatico, consentendo di ricaricare l'automobile con una potenza massima di 7.4 kW. Esso è dotato di cinque poli: due per i conduttori attivi, uno per la messa a terra e due ausiliari per le funzioni di controllo.



Figura 1.8. Connettore Tipo 1 [5]

1.3.2 Connettore Tipo 2

Sia la presa che la spina sono tipo 2, i quali sono dei connettori utilizzabili anche con alimentazione trifase. Essi, infatti, sono principalmente utilizzati nel mercato europeo, dando modo di ricaricare, in condizione di alimentazione trifase, con corrente massima di 63 A RMS di fase, con connettore fisso all'EVSE.

Con quest'ultimo valore di corrente, si identifica la "Fast AC Charging", mentre per una ricarica con corrente massima 32 A, è possibile l'utilizzo del cavo removibile. Entrambi i connettori, sono provvisti di sette poli, di cui tre sono le fasi di alimentazione, uno per il conduttore di terra, uno per il conduttore di neutro e due ausiliari per le funzioni di controllo.



Figura 1.9. Connettore Tipo 2 [5]

1.3.3 Connettore Tipo CHAdeMO

Tale connettore è unicamente utilizzato per la ricarica DC, concepito dal mercato asiatico, successivamente sviluppatosi in tutto il mondo, è spesso utilizzato per la "DC Fast Charger".

Esso può condurre una ricarica con potenza massima fino a 400 kW, la quale viene regolata attraverso un protocollo di comunicazione differente da quello che regola la ricarica in AC, tecnicamente chiamato protocollo PLC.



Figura 1.10. Connettore Tipo CHAdeMO [5]

1.3.4 Connettore Tipo CCS Combo 2

Questa tipologia di connettore è stata concepita per poter utilizzare sia la ricarica in mode 2, mode 3, che in mode 4 attraverso un unico connettore. Esso infatti presenta la predisposizione alla ricarica AC nella parte superiore, la quale assume il ruolo di ricarica lenta, e nella parte inferiore la predisposizione alla ricarica DC, la quale assume il ruolo di ricarica veloce, poiché bypassa l'On Board Charger presente sul veicolo, ricaricando direttamente la batteria con alimentazione continua.



Figura 1.11. Connettore Tipo CCS Combo 2 [5]

1.4 Tipologie di EVSE

In questa sezione è fornita una panoramica dei diversi tipi di EVSE presenti sul mercato, i quali principalmente si differenziano a seconda dell'alimentazione e potenza fornite al veicolo.

1.4.1 Wallbox

Tale stazione di ricarica è concepita per un utilizzo domestico, la quale è principalmente monofase AC, capace di erogare diversi valori di potenza a seconda della potenza contrattuale dell'impianto a cui è connessa. Generalmente, i contratti di fornitura per impianti domestici variano da 3.3 kW a 6.6 kW, i quali comportano conseguentemente, che con un'alimentazione di 230 V RMS nominale, è possibile erogare una corrente dai 16 A RMS ai 32 A RMS nominali. Al fine di non utilizzare l'intera potenza contrattuale disponibile per la ricarica, le wallbox vengono fornite con un sistema software di monitoraggio della potenza utilizzabile, chiamato "Dynamic Power Module", il quale ripartisce energia al veicolo a seconda della potenza momentaneamente non utilizzata dall'utente. Generalmente la massima erogazione di potenza delle wallbox avviene durante l'orario notturno per via del fatto che durante tale fascia oraria, la richiesta di potenza per le altre utenze domestiche è molto bassa.

Tale EVSE risultato, pertanto, molto semplici da utilizzare e non necessitano di accorgimenti particolari, ma solo di una installazione concorde alla potenza di erogazione della stessa, la quale per una erogazione di corrente maggiore di 16 A comporta l'installazione di un interruttore differenziale dedicato, sostituzione del cavo, spina-presa del punto di prelievo dell'energia. Tale metodologia prevede un servizio di monitoraggio della ricarica, con i segnali di Control Pilot e Proximity.

Di seguito sono riportati diversi modelli a scopo illustrativo.



Figura 1.12. Schneider electric - EVH2S3P04K [6]



Figura 1.13. Free2Move Easywallbox [8]

1.4.2 AC Charging Station

In questa tipologia rientrano tutte le EVSE capaci di fornire un'alimentazione trifase da 7 kW fino ad un massimo di 43 kW, le quali erogano rispettivamente da un minimo di 16 A RMS fino a 63 A RMS per fase.

Viste le potenze erogabili, esse sono spesso installate in luoghi pubblici riservati alla ricarica dei veicoli o in aree dedicate all'interno dei perimetri aziendali. Per questa tipologia è prevista l'installazione di interruttori magnetotermici e differenziali per la protezione da sovraccarico e guasti verso terra. In genere al loro interno è anche implementato un sistema di gestione della ricarica, nel caso in fossero collegati più veicoli alla stessa EVSE, in modo da parzializzare di energia garantendo una ricarica più veloce, e conseguentemente una maggiore erogazione di corrente, verso il veicolo più scarico, a discapito del veicolo più carico. Inoltre, questa tipologia prevede un sistema di interfaccia con l'utente relativo all'ambiente di pagamento ed il monitoraggio della ricarica.

Di seguito alcuni modelli presenti sul mercato.



Figura 1.14. Powercharge Pro-Series [10]



Figura 1.15. Circontrol eVolve Smart [3]

1.4.3 DC Charging Station

Tale tipologia è usata unicamente per la ricarica DC bypassando l'On Board Charger del veicolo, poiché il convertitore AC/DC è presente nella stazione di ricarica stessa. Un'ulteriore differenza rispetto alle colonnine AC è legata ai protocolli di comunicazione, i quali oltre ad avere diverse funzioni di segnalazione, rispondono a normative differenti. Queste tipologie di EVSE spesso possono erogare potenze legate alle fast DC Charger, le quali oltre alle protezioni del caso, necessitano di un sistema di raffreddamento del cavo a causa dell'elevata corrente erogabile dall'EVSE. Il range di potenze di tali colonnine varia da 20kW fino a 400kW. Inoltre, questa tipologia prevede un sistema di interfaccia con l'utente per quanto riguarda l'ambiente di pagamento ed il monitoraggio della ricarica.

Di seguito sono riportati dei modelli presenti sul mercato attuale.



Figura 1.16. Xcharger High-Power C9LQ [11]



Figura 1.17. EVBox Ultroniq delivers high-power DC charging [7]

1.5 Tipologie di veicolo elettrici

Analizzando le diverse tipologie di veicoli elettrici attualmente sul mercato, è possibile effettuare una macro-distinzione, fornendo le caratteristiche principali dei diversi modelli. La mobilità elettrica nasce dall'esigenza di combattere l'inquinamento atmosferico e conseguentemente la riduzione di sostanze nocive, come la CO_2 causa dell'effetto serra e del surriscaldamento globale, ed anche i derivati dal monossido di azoto NO_x causa della scarsa qualità dell'aria in molti paesi del mondo.

Senza entrare nel dettaglio tecnico dei motori ancor oggi maggiormente diffusi, quali motori a combustione interna (benzina e gasolio), possiamo affermare che durante il ciclo di lavoro di un motore ICE, il punto di lavoro più inquinante è durante la fase di accelerazione del veicolo, ovvero lo spunto del motore in prima marcia. Per limitare l'inquinamento causato da esso, le case automobilistiche hanno sviluppato dei modelli di veicoli ibridi, i quali svolgono questa fase di avvio con l'ausilio di un motore elettrico di diverse entità, a seconda di un impatto più o meno invasivo della trazione elettrica sul veicolo.

1.5.1 Micro Hybrid Electric Vehicles

La prima tipologia di veicolo è chiamata Micro Hybrid Electric Vehicles, la quale presenta un motore elettrico di avviamento maggiorato rispetto ad i normali presenti su veicoli convenzionali (propulsione unicamente ICE), il quale contribuisce alla richiesta di potenza e conseguentemente di coppia richiesti all'ICE, senza apportare modifiche eccessive al sistema di Powertrain se non con l'aggiunta di una batteria da 12 V o 48 V ricaricabile con frenata rigenerativa. Con questa tipologia, infatti, non è possibile la guida in full Electric e non è prevista nessuna ricarica, poiché la batteria di alimentazione del motore elettrico è ricaricata dal moto del motore endotermico.

Di seguito è riportato uno schema semplificato dell'architettura in esame:

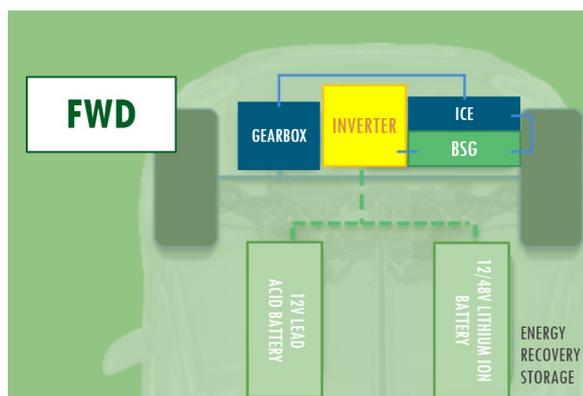


Figura 1.18. Architettura Micro Hybrid Electric Vehicles

1.5.2 Mild Hybrid Electric Vehicles

Questa tipologia riguarda i veicoli che sono denominati MHEV (Mild Hybrid Electric Vehicles), la presenza delle macchine elettriche, oltre all'aiuto in fase di accelerazione al motore tradizionale, permettono un aiuto ulteriore in termini di potenza e coppia durante la guida. Tale sistema comporta una batteria (in genere da 48 V) oltre alla classica da 12 V presente su tutti i veicoli, un convertitore DC/AC ed un motore elettrico connesso od in serie od in parallelo al motore ICE. Anche per questa tipologia di veicoli, non è possibile effettuare una guida in full Electric, ricaricando la batteria da 48 V dalla energia recuperata in frenata e dal moto del motore ICE.

Una scelta progettuale utilizzata per questa tipologia di veicolo è l'elettrificazione della trasmissione, in particolar modo la presenza di una macchina elettrica sull'asse dei rapporti pari. Un esempio di tale tipologia è riportato in figura 1.19:

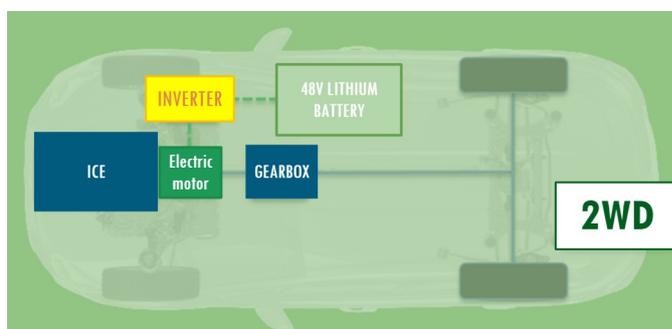


Figura 1.19. Architettura Mild Hybrid Electric Vehicles

1.5.3 Full Hybrid Vehicles

Si differenzia dalla tipologia MHEV per via della possibilità di guidare in modalità elettrica per pochi chilometri, dato dal fatto che tale tipologia presenta una batteria leggermente maggiorata rispetto alla batteria su veicoli MHEV. Anche in questo caso, la ricarica della batteria di trazione è attuata sia dalla frenata rigenerativa del veicolo, sia dal moto del motore endotermico.

1.5.4 Plug-in Hybrid Electric Vehicles

Questa tipologia riguarda i veicoli denominati PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicles) i quali prevedono oltre al tradizionale motore endotermico, un Powertrain elettrico completo, composto da una batteria ad alta tensione capace di poter guidare il veicolo in modalità elettrica ed essere ricaricata via cavo da EVSE, durante la fase di frenate del veicolo e durante il moto del motore ICE. Tale tipologia comporta conseguentemente anche un sistema di conversione ed una macchina elettrica, in modo da poter ridurre gli elementi inquinati nelle grandi città, poiché con veicoli PHEV è garantita un'autonomia in full Electric del veicolo di 50 Km. La classificazione di tali progetti è denominata P1P4,

la quale vede la presenza del motore endotermico sull'asse anteriore e quella del motore elettrico sull'asse posteriore. Questa tipologia di veicoli, quindi, permette oltre ad un miglior bilanciamento del peso, anche una modesta autonomia in elettrico e la possibilità di ricarica del veicolo con stazioni di ricarica.

In figura 1.20 è riportata l'architettura PHEV.

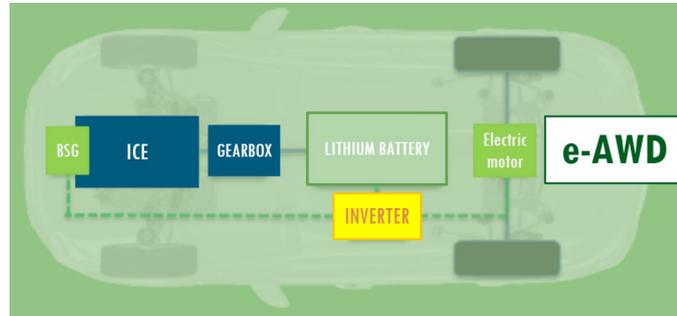


Figura 1.20. Architettura Plug-in Hybrid Electric Vehicles

1.5.5 Battery Electric Vehicles

Tale tipologia prevede l'assenza del motore endotermico tradizionale, per cui la trazione del veicolo è garantita unicamente dal powertrain totalmente elettrico, composto da batteria ad alta tensione (in genere di valori uguali o maggiori a 400 V) sistema di convertitori e macchina/e elettrica/e. La grande sfida di questi veicoli è quella di garantire una grande autonomia a pesi ridotti, la quale vede nel futuro prossimo la coesistenza di batteria a litio e fuel cell in modo da garantire zero emissioni con un'indipendenza di guida simile ai veicoli tradizionali. Un esempio di tale tipologia è la 500e, di cui in figura 1.21 è riportato uno schema semplificato del powertrain:

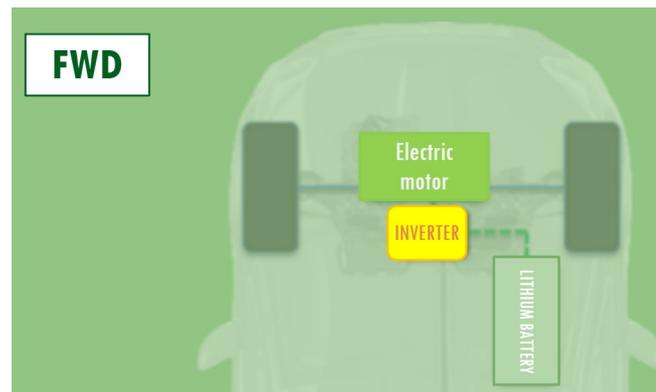


Figura 1.21. Architettura Battery Electric Vehicles

1.6 On Board Charger

In questa sezione è fornita una panoramica del dispositivo concepito e sviluppato per la conversione dalla fornitura di grandezze elettriche sinusoidali, in grandezze continue, per effettuare la ricarica dei veicoli elettrici ed elettrificati. La fase di conversione AC/DC, definisce la macro-sequenza del processo di carica per il ripristino del SOC della batteria di trazione, definendo i valori corretti e coerenti con i componenti powertrain necessari alla ricarica. La fase di conversione DC/AC, viene utilizzata in primo luogo per rendere le fasi di conversione indipendenti tra loro, ed in secondo luogo per rendere i veicoli elettrici – dal punto di vista della rete elettrica - non più degli utenti passivi e quindi capaci di assorbire solo energia per la fase di ricarica, ma anche di essere degli utenti attivi, capaci di erogare da esse stesse energia verso la rete, in modo da colmare i picchi richiesti dal fabbisogno energetico, al fine di avere un avviamento delle eventuali centrali sopraggiungenti più lieve e green.

In questa sezione è analizzata la tipologia On Board Charger unidirezionale, ovvero un convertitore dedicato al solo processo di ricarica del veicolo.

1.6.1 Struttura On Board charger

La funzione cardine dell'OBC è appunto convertire l'alimentazione AC in input in alimentazione DC in output da fornire alla batteria. Al fine di ottenere una conversione ottimale ed efficiente, oltre naturalmente ad occupare degli spazi notevolmente ridotti, l'On Board Charger necessita di determinati blocchi costituenti.

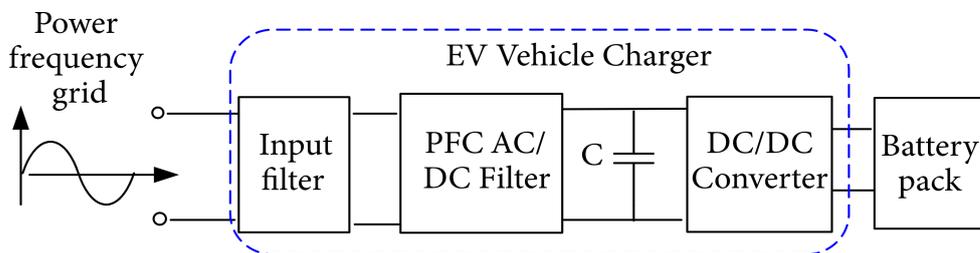


Figura 1.22. On Board Charger [2]

Come è possibile notare dalla fig.1.22, esso è costituito da un blocco di filtraggio, un convertitore AC/DC chiamato PFC (Power Factor Corrector), sistema di condensatori DC-link, rappresentato in figura da una capacità equivalente, ed infine da un convertitore DC/DC.

Di seguito è fornita una spiegazione dei singoli blocchi.

- **Input filter:**esso è indispensabile poiché è necessario filtrare sia la corrente che la tensione di alimentazione. Questo è dovuto per via che spesso a monte del punto di connessione della stazione di ricarica, vi sono altri convertitori di elettronica di potenza, i quali immettono in rete dei disturbi dovuti alla commutazione dei power switching che li compongono.

Nello specifico, questi disturbi sono principalmente la fluttuazione della tensione, la quale genera una distorsione armonica della tensione stessa, e la fluttuazione della corrente, la quale anch'essa genera a sua volta delle distorsioni.

Il sistema di filtraggio si compone principalmente di elementi reattivi, ovvero di induttori e condensatori. L'impiego degli induttori è quello di filtrare i disturbi legati alla corrente, ponendoli spesso in serie al flusso di corrente stesso. Nell'utilizzo del filtraggio dell'alimentazione AC, i componenti induttivi a regime assumono un comportamento di circuito aperto alle alte frequenze, le quali sono di importante interesse, visto che le commutazioni degli switching avvengono a frequenze dell'ordine dei kHz.

Un aspetto importante di cui tener conto durante il design del filtro induttivo è la presenza del circuito di scarica, in modo che non si instaurino fenomeni di sovratensione sul componente.

$$i_L(t) = i_L(0) + \frac{1}{L} \cdot \int v_L(t) dt \quad (1.1)$$

$$v_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \cdot \frac{di_L}{dt} \quad (1.2)$$

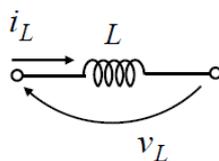


Figura 1.23. Rappresentazione circuitale induttore

D'altro canto, l'impiego dei condensatori è quello di filtrare i disturbi legati alla tensione, ponendoli spesso in parallelo al flusso di corrente. Nell'utilizzo del filtraggio dell'alimentazione AC, i componenti capacitivi alle alte frequenze di regime, assumono un comportamento di cortocircuito.

Un aspetto importante di cui tener conto durante il design del filtro capacitivo è la presenza del circuito di precarica, in modo che non si instaurino fenomeni di sovracorrente sul componente.

$$v_C(t) = v_C(0) + \frac{1}{C} \cdot \int i_C(t) dt \quad (1.3)$$

$$i_C = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot \frac{dv_C}{dt} \quad (1.4)$$

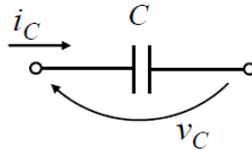


Figura 1.24. Rappresentazione circuitale condensatore

- **Convertitore AC/DC - PFC:** esso è lo stadio successivo al filtro di ingresso, il quale svolge la funzione della conversione AC/DC andandone a modificare sia forma d'onda che valori di tensione e corrente in uscita. Esso è comunemente chiamato PFC, Power Factor Corrector, il quale prevede una struttura a ponte, in cui su ogni fase vi sono dei dispositivi elettronici, i quali a seconda del loro stato di conduzione, interdizione o di comando, restituiscono in output delle forme d'onda circa continue. Nello specifico, i dispositivi elettronici sono degli interruttori statici, i quali possono essere categorizzati in controllati in tensione, controllati in corrente e non controllati. Degli esempi significativi di power switching non controllati sono i diodi, mentre per quanto concerne i dispositivi controllati in corrente vi sono gli obsoleti i BJT, e per i controllati in tensione vi sono MOSFET e IGBT, i quali si differenziano per via della tensione dell'applicazione

La conversione AC/DC, avviene in funzione dell'apertura e chiusura dei power switch, i quali sono specificamente selezionati a seconda dei valori di tensione e corrente a cui devono essere sottoposti. Un altro aspetto importante legato alla scelta del componente è relativo alle perdite (conduction losses) dovute alla conduzione di corrente, le quali si presentano nel momento in cui i dispositivi conducono fisicamente corrente. Altri aspetti legati alla selezione, sono la dinamica di apertura e chiusura dello switch stesso (switching losses) e la tensione inversa massima sopportabile dal componente stesso. Generalmente, per una conversione AC/DC a monte di un altro stadio di conversione e filtro di uscita, viene adottato il metodo di raddrizzatore a

ponte a diodi (non controllato). Di seguito sono riportati gli schemi circuitali e le varie forme d'onda del processo di conversione attraverso un raddrizzatore a ponte a diodi.

In figura 1.25 è riportato lo schema circuitale del raddrizzatore monofase a diodi, seguito dalle figure 1.26 e 1.27, le quali valutano rispettivamente il flusso di corrente in merito alla semionda positiva e negativa.

Generalmente, i PFC degli OBC automobilistici sono trifase, ma a scopo di una comprensione concettuale più agevole in questa sezione è trattato un PFC monofase dato anche dal fatto che, tale PFC è la base sulla quale è sviluppato il convertitore trifase, aggiungendoci un terzo ramo.

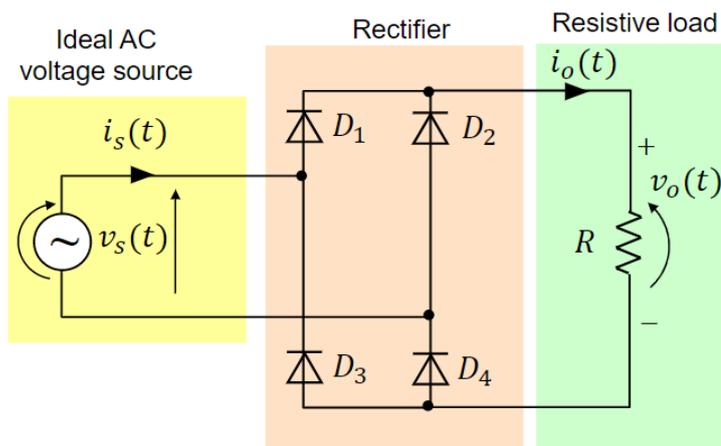


Figura 1.25. Raddrizzate monofase a ponte a diodi [2]

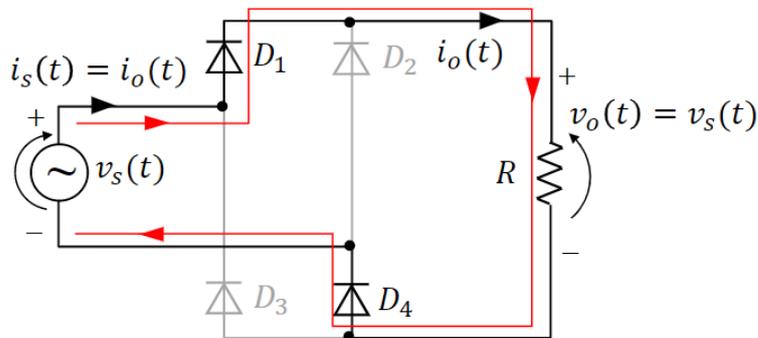


Figura 1.26. Raddrizzate monofase a ponte a diodi - Semionda positiva [2]

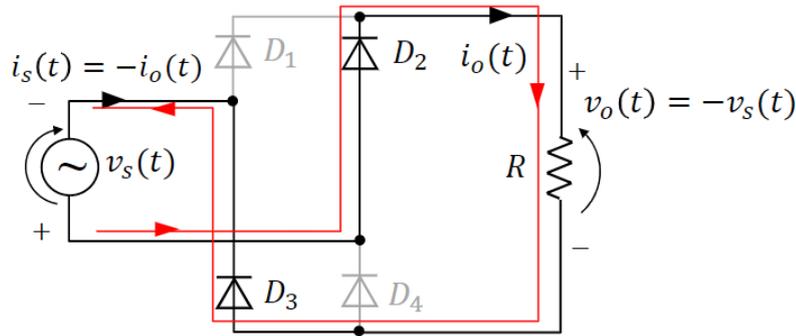


Figura 1.27. Raddrizzate monofase a ponte a diodi - Semionda negativa [2]

In figura 1.29 sono riportati gli andamenti di tensione e corrente in output al raddrizzatore. Tali forme d'onda assumono la stessa forma d'onda delle grandezze in input durante la semionda positiva, mentre assumono forme d'onda e conseguentemente valori, ribaltati rispetto riferimenti 0, durante la semionda negativa.

Nella figura 1.30 è presente la forma d'onda di corrente condotta dai diodi, assumendo un comportamento sinusoidale positivo, durante la polarizzazione diretta di essi, ed un comportamento nullo, durante la polarizzazione inversa. Conseguentemente alla corrente, in figura 1.31 è riportato l'andamento della tensione a cui è sottoposto il diodo, del quale è possibile notare come esso durante la polarizzazione diretta, si comporti idealmente come un cortocircuito, assumendo tensione nulla, mentre durante la polarizzazione inversa, assume un comportamento ideale di circuito aperto.

Nell'applicazioni automotive, il convertitore PFC, ha spesso in uscita dal DC-link un convertitore DC/DC boost.

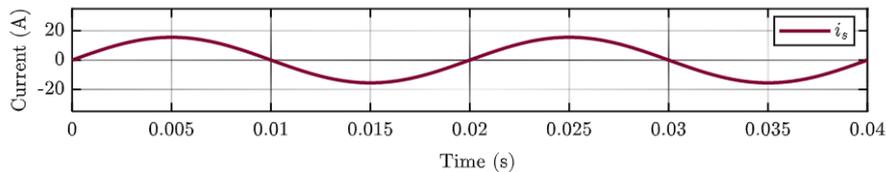


Figura 1.28. Profilo di corrente AC - Raddrizzatore monofase a ponte a diodi [2]

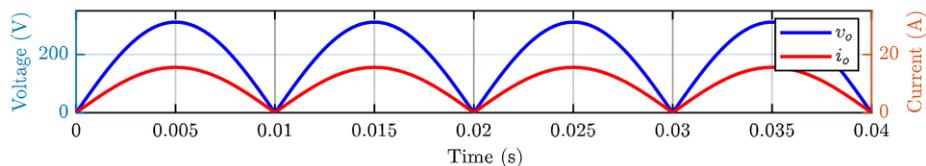


Figura 1.29. Profilo di corrente e tensione - Raddrizzatore monofase a ponte a diodi [2]

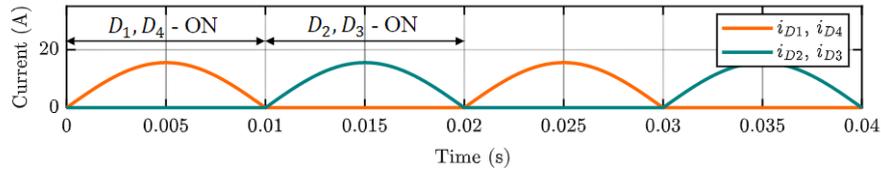


Figura 1.30. Profilo di corrente diodi- Raddrizzatore monofase a ponte a diodi [2]

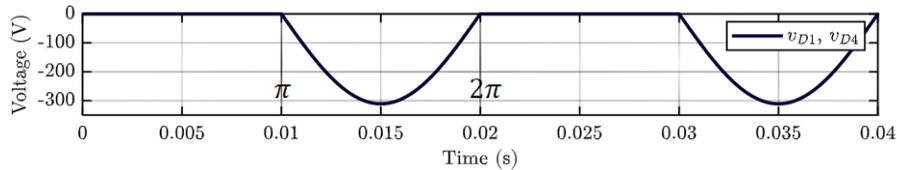


Figura 1.31. Analisi forme d'onda - Raddrizzatore monofase a ponte a diodi [2]

- **Convertitore DC/DC:** Il convertitore DC/DC è un convertitore, il quale a seconda dell'applicazione, attraverso l'apertura e la chiusura dei power switch costituenti, restituisce in uscita dei valori di tensione e corrente più alti o più bassi rispetto ai valori di input. In particolare, in tale documento è descritto il convertitore boost, il quale è capace di ottenere in uscita valori di tensione e corrente più alti rispetto ai valori di ingresso attraverso l'utilizzo di power switch controllati e non, presentando al suo interno degli elementi reattivi - induttori e condensatori – che filtrano il ripple di tensione (condensatori) e corrente (induttori) in modo da alimentare la batteria con grandezze quanto più continue possibili e ripple prossimi a zero.

Il convertitore Boost è costituito da un induttore in ingresso, il quale ha il compito di filtrare la forma d'onda di corrente in input, un diodo il quale rappresenta il ramo di ricircolo nel momento in cui lo switch di potenza risulta aperto, ed un pacco di condensatori in uscita, i quali hanno il compito di filtrare il ripple di tensione e conseguentemente ricaricare la batteria sottoponendola ad un tensione e corrente pressoché costanti.

Di seguito sono riportate le equazioni cardini del convertitore, seguite in figura 1.32 dallo schema circuitale del componente.

$$V_L = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} v_L(t) dt = 0 = d \cdot T_s \cdot V_{in} + (V_{in} - V_o) \cdot (1 - d) \cdot T_s \quad (1.5)$$

da cui:

$$V_0 = \frac{V_{in}}{1 - d} \quad (1.6)$$

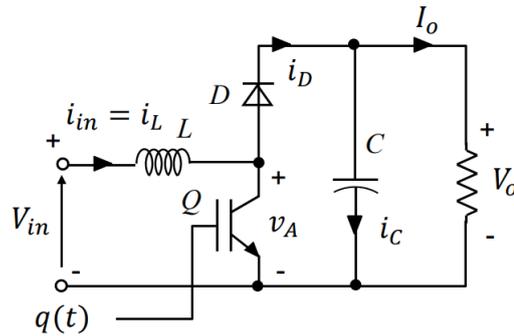


Figura 1.32. Schema circuitale convertitore Boost [2]

La tecnica di controllo e quindi di comando dello switch, avviene con tecnica PWM - Pulse Width Modulation - la quale attraverso un segnale di riferimento ed un segnale portante, definisce il duty cycle, il quale risulta essere il rapporto matematico capace di elevare le grandezze di uscita rispetto alle grandezze di ingresso, del convertitore. Nelle figure 1.35 e 1.34 sono riportati i flussi di corrente a seconda della conduzione o meno del power switch.

In condizione di CCM dell'induttore, il valor medio di tensione ai suoi capi è nullo, il quale è dimostrabile attraverso l'equazione 1.6

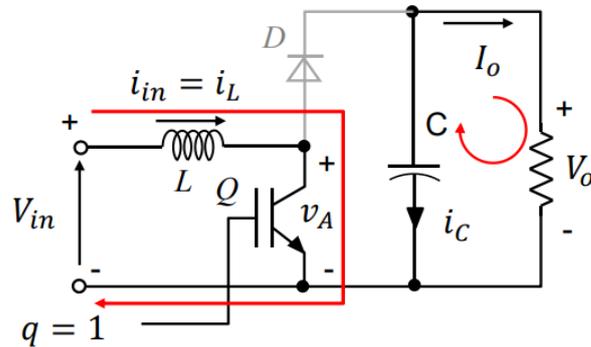


Figura 1.33. Percorso di corrente convertitore boost Ton [2]

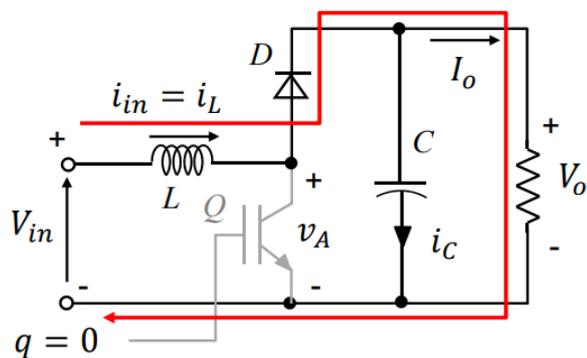


Figura 1.34. Percorso di corrente convertitore boost Toff [2]

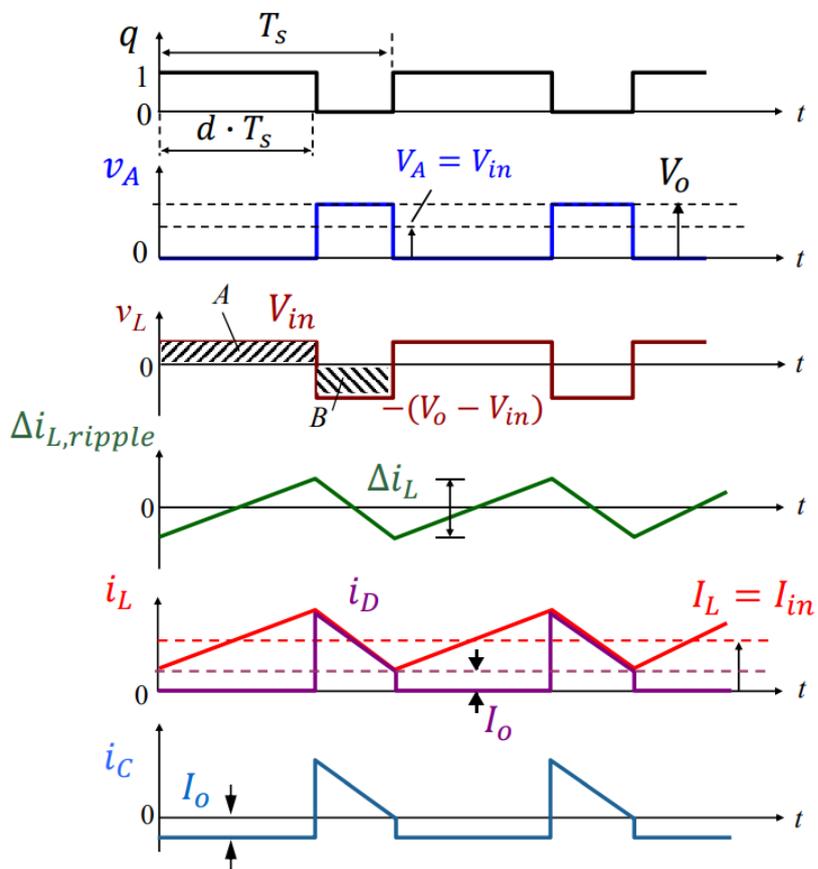


Figura 1.35. Forme d'onda convertitore boost [2]

Dai grafici è possibile notare come le grandezze varino a seconda del valore del segnale di comando q dell'IGBT, il quale lega conseguentemente le grandezze elettriche al duty cycle. Le osservazioni principali riguardano il $\Delta i_{L_{Ripple}}$ il quale risulta essere la componente di disturbo - componente alternata - della grandezza continua.

L'obiettivo, a seguito di tali analisi, è dimensionare un induttore in modo che all'uscita, il ripple di corrente sia prossimo a zero. Tale sizing comporta, conseguentemente il dimensionare un condensatore equivalente, in modo che il valor medio di corrente al suo interno sia zero, filtrando a sua volta il ripple di tensione. Con l'equazione 1.7 viene esplicitata la relazione tra ripple di corrente e frequenza di switching, in modo da poter comprendere il legame tra le varie grandezze attraverso l'espressione risultante in eq. 1.8.

$$\Delta i_L = \frac{1}{L} \cdot (V_{in} - V_o) \cdot d \cdot T_s = \frac{1}{L} \cdot V_o \cdot [(1 - d) \cdot T_s] \quad (1.7)$$

$$d = \frac{T_{ON}}{T_S}; \quad f_s = \frac{1}{T_s};$$

$$\Delta i_L = \frac{1}{L} \cdot \frac{V_o \cdot (1 - d) \cdot d}{f_s} \quad (1.8)$$

Come descritto precedentemente, il ripple di corrente genera, conseguentemente, un ripple di tensione il quale è descritto dall'equazione 1.3 di seguito.

$$\Delta v_o = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{T_s}{2} \cdot i_{max} \right) \cdot \frac{1}{C} = \frac{1}{8} \cdot \frac{\Delta i_L}{C \cdot f_s} \quad (1.9)$$

Spesso nel campo automotive, viene posto in uscita al convertitore boost un convertitore DC/AC, il quale ha il compito di trasformare le grandezze continue in ingresso, in alternate. Tale stadio ulteriore è necessario poiché all'uscita di esso è posto un trasformatore ad alta frequenza che uniforma i valori di tensione e corrente in input alla batteria indipendentemente dalla rete di alimentazione. Successivamente a tale stadio, è nuovamente richiesto di ritrasformare le grandezze alternate in continue attraverso un convertitore AC/DC, seguito da un sistema di filtraggio.

Il convertitore DC/AC è composto principalmente da degli interruttori elettronici di potenza, IGBT con diodi in antiparallelo (in modo da garantire il ricircolo del flusso di corrente), i quali sono comandati attraverso tecnica PWM.

Di seguito, in figura 1.36 è riportato lo schema circuitale monofase.

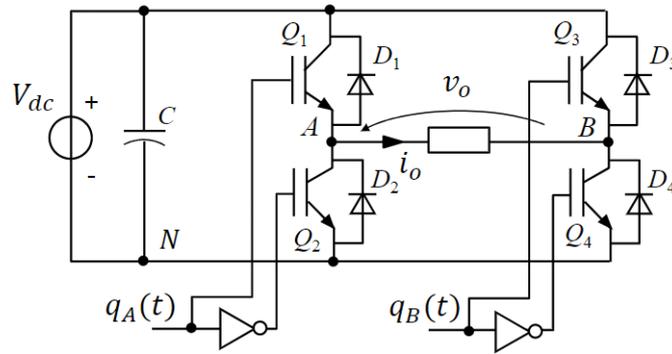


Figura 1.36. Schema circuitale convertitore DC/AC [2]

A fine di tale panoramica, è possibile concludere la composizione dell'On Board Charger con uno schema più dettagliato, in figura 1.37, nel quale sono esplicitati i vari stadi, identificando cronologicamente un convertitore AC/DC, composto da PFC e boost, DC-Link, convertitore DC/DC, il quale a sua volta è composto da convertitore DC/AC, trasformatore ad alta frequenza, convertitore AC/DC, a ponte a diodo, e sistema di filtraggio d'uscita.

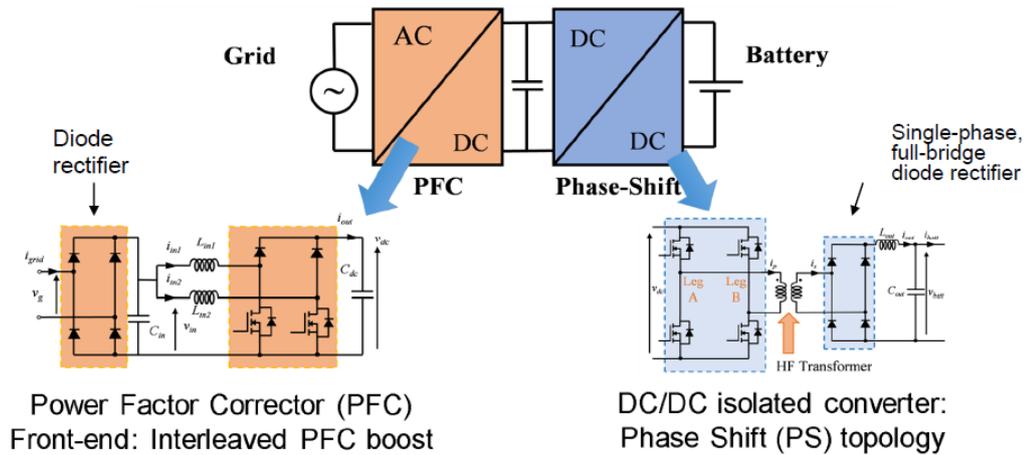


Figura 1.37. Schema circuitale On Board Charger dettagliato [2]

1.7 Cenni su Battery Charging

Al nome autovettura elettrica è indissolubilmente associata la richiesta cercare costantemente metodi alternativi per ottenere una ricarica quanto più veloce possibile senza gravare sulla vita della batteria stessa. In questa sezione sono fornite in modo semplice, le fasi di ricarica della batteria del veicolo elettrico.

Il metodo attualmente utilizzato per ricaricare le batterie è il metodo CC/CV, il quale significa rispettivamente "Constant Current" e "Constant Voltage". Di seguito è fornita una breve spiegazione dei singoli metodi, in modo da comprendere il motivo di tale tecnica.

- Constant Current: è un metodo semplice da controllare ai fini della ricarica, il quale risulta essere efficiente dal minimo valore del SOC, sino a circa un valore pari al 70%. I difetti di tale metodo sono legati al valore di corrente, il quale risultando basso comporta una ricarica lenta, mentre risultando alto provoca un sovraccarico di corrente sulle celle comportandone il danneggiamento.
- Constant Voltage: è un metodo che risulta essere efficiente per stabilizzare la carica all'interno delle celle da circa il 70% di SOC al completamento, in modo da evitare il sovraccarico delle celle da parte della tecnica CC. Il difetto di questo metodo, si manifesta nel momento in cui la tensione di cella è molto bassa, principalmente quando il valore del SOC risulta essere circa 0%, poiché la corrente in questa fase risulta essere molto elevata, provocandone il danneggiamento del pacco batteria.

Il metodo CC/CV concilia in conclusione una prima fase di ricarica a corrente costante, fino al raggiungimento di circa il 70% del SOC, ed una seconda fase di ricarica a tensione costante, in modo da stabilizzare le cariche presenti nelle celle diminuendo conseguentemente la richiesta di corrente fino al raggiungimento del 100% del SOC. Di seguito è riportato l'andamento del processo di carica a due stadi.

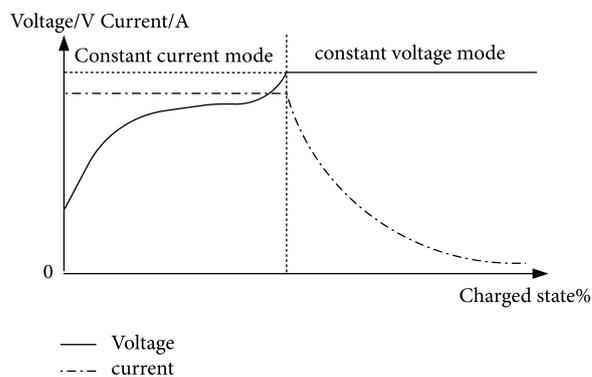


Figura 1.38. Metodo di ricarica CC/CV

Capitolo 2

Normative e strumentazione utilizzata

Con l'avvento della mobilità elettrica è stato necessario definire delle nuove normative che regolamentassero l'intero processo di ricarica. Esse, infatti definiscono a seconda della ricarica in esame, procedure specifiche a cui sia i costruttori di stazioni di ricarica che aziende automobiliste devono rispettare al fine dell'omologazione del proprio prodotto.

Le norme a cui fa riferimento questo documento sono la SAE J1772 e CEI EN 61851.

In questo capitolo sono analizzate le rispettive normative, analizzando nello specifico i segnali di controllo ed i legami tra le grandezze elettriche che caratterizzano la ricarica AC dei veicoli elettrici.

2.1 CEI EN 61851

La norma CEI EN 61851 riporta testualmente la norma internazionale di riferimento, la quale è EN 61851, con la particolarità che è redatta dal CEI, ovvero il Comitato Elettrotecnico Italiano. La presente Norma si applica alle apparecchiature per la ricarica di veicoli elettrici stradali, a bordo e fuoribordo, alle tensioni di alimentazione normalizzate in AC fino a 1000 V, ed a tensioni in CC fino a 1500 V. Tale norma definisce le specifiche necessarie, delle stazioni di ricarica, con le quali deve interagire il veicolo elettrico durante il processo di carica.

In primo luogo, è importante definire il concetto di carica, il quale identifica tutti i processi necessari alla regolazione di tensione, corrente e frequenza al fine di ottenere un corretto ripristino del SOC del veicolo, in totale sicurezza sia per salvaguardare i componenti veicolo e EVSE, sia per la sicurezza delle persone. Tale norma identifica diverse classi di veicoli elettrici, i quali si differenziano in:

- EV classe I: classe identificata da tutti i veicoli i quali connettono tutte le masse presenti su di essi al conduttore di terra;

- EV classe II: classe identificata da tutti i veicoli i quali sono costituiti da masse con doppio isolamento, le quali non sono collegate al conduttore di terra, in modo da essere isolate elettricamente da eventuali dispersioni di corrente attraverso il conduttore di protezione.

La norma in oggetto regola la sequenza di ricarica, la quale è riportata di seguito:

- Verifica che il veicolo sia correttamente connesso;
- Controllo continuo della continuità del conduttore di protezione;
- Alimentazione del sistema;
- Disalimentazione del sistema.

È possibile affermare, quindi, che durante il processo di carica è essenziale monitorare costantemente la connessione tra EVSE e veicolo, attraverso la funzione di prossimità, regolando la ricarica attraverso il segnale pilota, in modo da alimentare e disalimentare il sistema rispettando i limiti costruttivi dei componenti in relazione al programma di ricarica prescelto. Analizzando la specifica di protezione contro la scossa elettrica, tale norma raccomanda i seguenti punti.

- Le parti attive pericolose non devono essere accessibili;
- Le masse non devono diventare parti attive pericolose. In caso di mancanza di tale vincolo, in alcuni paesi, come l'Italia, viene imposto che il veicolo assumi determinati comportamenti o venga provvisto di interruttori, sezionatori, in grado di disalimentare l'alimentazione - aprendo il circuito - o cercare di non far entrare in contatto l'utente con le masse in tensione.
- La protezione dai contatti diretti è regolamentata dalla ISO 6469-3. Per evitare un contatto indiretto in caso di guasto della protezione principale e/o della protezione dai guasti o di negligenza da parte degli utilizzatori, sono prescritte protezioni aggiuntive contro la scossa elettrica. Tali protezioni sono ad esempio la presenza di un RCD (interruttore differenziale con una corrente di intervento AC di 30 mA) di tipo A il quale identifica anche una corrente differenziale continua.

Conseguentemente sono riportati i limiti di corrente di contatto, i quali si differenziano a seconda della classe del veicolo a cui ci si riferisce:

	Classe I	Classe II
Tra qualsiasi punto della rete e le parti metalliche accessibili (masse) collegate tra loro e con un foglio metallico che copre le parti esterne isolate	3,5 mA	0,25 mA
Tra qualsiasi punto della rete e le parti metalliche inaccessibili (masse) normalmente disattivate (in caso di doppio isolamento)	Non applicabile	3,5 mA
Tra le parti inaccessibili e quelle accessibili collegate tra loro con un foglio metallico che copre le parti esterne isolate (isolamento supplementare)	Non applicabile	0,5 mA

Figura 2.1. Limiti di corrente di contatto - CEI EN 61851 [4]

2.1.1 Funzione pilota - Control Pilot

La funzione pilota, tecnicamente denominato Control Pilot, ha la responsabilità di coordinare le varie fasi di ricarica e conseguentemente, alla regolazione della corrente di ricarica. In questo documento viene analizzata tale funzione con tecnica PWM (Pulse Width Modulation) la quale deve rispettare i requisiti imposti da SAE J1772. Tale funzione è il riferimento a cui deve attenersi una stazione di ricarica durante il processo di charging. Tale CP, infatti, assume diversi valori di tensione, diverse forme d'onda con differenti valori di duty-cycle a seconda dello stato del processo di carica.

Di seguito sono definiti i differenti stati di carica che descrivono il processo di carica relativo all'EVSE:

- **STATE A:** stato in cui è descritto che la stazione di ricarica ed il veicolo non sono fisicamente connessi. Tale stato deve assumere un valore di tensione continua di 12 V con tolleranza di ± 0.6 V;
- **STATE B1:** stato il quale identifica che tra veicolo e stazione di ricarica vi è una connessione fisica. In questo stato la colonnina effettua dei check interni al fine dell'erogazione di potenza da essa stessa. In questo stato, in genere, vengono effettuati i check su pagamenti abilitanti la ricarica. Tale stato assume un valore di tensione continua di 9 V con tolleranza superiore di 0.59 V, ed una tolleranza inferiore di -0.64 V;
- **STATE B2:** stato caratterizzato da tecnica PWM con una frequenza di 1000 Hz con valore massimo positivo di 9 V con tolleranza superiore di 0.59 V, tolleranza inferiore di -0.64 V, e valore massimo negativo di -12 V con tolleranza di ± 0.6 V. Questo stato definisce che la stazione di ricarica è pronta ad erogare energia, ma il veicolo è impossibilitato a ricevere energia. In questa fase, è il veicolo che effettua dei suoi controlli interni per garantire la una ricarica corretta, come anche ad esempio la chiusura dei rispettivi contattori di batteria;

- **STATE C:** stato caratterizzato da tecnica PWM il quale identifica lo stato di carica con scambio di energia tra stazione di ricarica e veicolo. Tale stato assume un duty-cycle di T_{ON} variabile a seconda del valore di corrente di carica erogabile dalla colonnina. Il segnale PWM ha un valore massimo di 6 V con tolleranza di ± 0.53 V ed un valor minimo di -12 V con tolleranza di ± 0.6 V;
- **STATE D:** stato che si differenzia rispetto allo stato C solo per la presenza di raffreddamento tramite ventola connessa all'IDCM/OBC del veicolo. Esso è caratterizzato da tecnica PWM con valor massimo di 3 V con tolleranza superiore di 0.28 V e tolleranza inferiore di 0.42 V;
- **STATE E:** stato che identifica un problema alla rete di alimentazione, il quale comporta la cortocircuitazione del CP a potenziale 0;
- **STATE F:** stato di errore in cui la stazione di ricarica non è in grado di erogare energia per un fault interno, quale potrebbe essere legato a diversi fattori come perdita di isolamento, disalimentazione circuito di comando, cortocircuito tra componenti, correnti di dispersione, problematiche legate al veicolo;

Di seguito sono riportati i valori di riferimento definiti dalla SAE J1772 al quale fa riferimento la IEC 61851.

State	Min Voltage	Nominal Voltage	Max Voltage
State A	11.40	12.00	12.60
State B1	8.36	9.00	9.59
State B2	8.36	9.00	9.59
State C	5.47	6.00	6.53
State D	2.58	3.00	3.28

Figura 2.2. Tensioni di stato - SAE J1772 [4]

In figura 2.3 è rappresentato il circuito del Control Pilot, il quale è composto da un generatore PWM, resistenza e condensatore - utilizzati come filtro - diodo in modo da garantire la unidirezionalità del circuito, resistenze di uscita commutate a seguito della chiusura del contatto S_2 da parte del veicolo -permette lo scambio di energia tra stazione di ricarica e veicolo - a seguito dei controlli interni delle due parti costituenti il sistema.

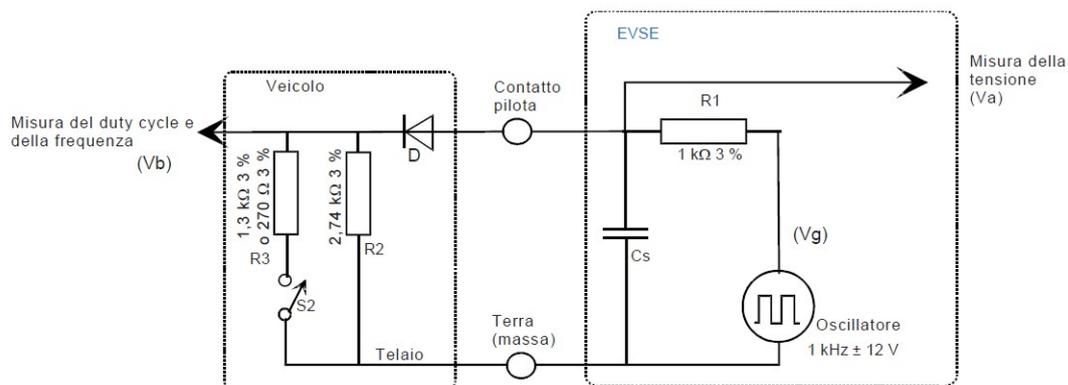


Figura 2.3. Circuito Control Pilot - CEI EN 61851 [4]

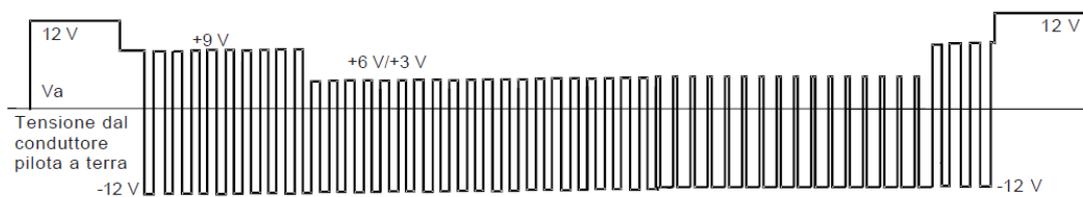


Figura 2.4. Forma d'onda Control Pilot - CEI EN 61851 [4]

Dalla figura 2.4 è possibile analizzare tutte le fasi che assume la funzione pilota durante il processo di carica. In primo luogo, è importante analizzare come la funzione assuma un comportamento PWM nel momento in cui la stazione di ricarica è disponibile per erogare energia, ma resta in attesa del feedback da parte del veicolo. In questa fase il PWM definisce un duty cycle del 50% in T_{ON} e 50% in T_{OFF} , a frequenza di 1 kHz. Lo stato di carica effettivo è durante lo stato C (o stato D se il veicolo necessita di ventilazione), nel quale il segnale PWM ha una frequenza di 1 kHz, ma assume un valore di duty cycle in T_{ON} differente a seconda della corrente di carica prescelta/disponibile. La norma, infatti, definisce una prima fascia di duty cycle per un range di corrente che varia da 6 A a 51 A, ed una seconda fascia per correnti da 51 A a 80 A. Di seguito, alla figura 2.5, è riportata la tabella cardine che definisce il tipo di rapporto tra le grandezze in esame:

Interpretazione del duty cycle nominale da parte del veicolo	Massima corrente prelevabile dal veicolo
Duty cycle < 3 %	Carica non consentita
3 % ≤ duty cycle ≤ 7 %	Indica che si utilizza la comunicazione digitale per controllare un caricabatteria esterno in c.c. o per comunicare la disponibilità di una corrente di linea a un caricabatteria interno. La comunicazione digitale può essere utilizzata anche con altri duty cycle. La carica non è consentita in assenza di comunicazione digitale. Deve essere utilizzato il 5 % del duty cycle se il conduttore della funzione pilota è utilizzato per la comunicazione digitale
7 % < duty cycle < 8 %	Carica non consentita
8 % ≤ duty cycle < 10 %	6 A
10 % ≤ duty cycle ≤ 85 %	Corrente disponibile = (% duty cycle) × 0,6 A
85 % < duty cycle ≤ 96 %	Corrente disponibile = (% duty cycle - 64) × 2,5 A
96 % < duty cycle ≤ 97 %	80 A
Duty cycle > 97 %	Carica non consentita
Se il segnale PWM è compreso tra 8 % e 97 %, la corrente massima non può superare i valori indicati dal PWM anche se il segnale digitale indica una corrente più elevata.	

Figura 2.5. Duty cycle - CEI EN 61851 [4]

L'importanza di tale relazione, oltre a dover rispettare i valori imposti dalla norma al fine dell'omologazione, permette di conoscere la corrente assorbita dal veicolo attraverso il valore del duty cycle e viceversa. La SAE J1772 riporta anche una relazione grafica tra duty cycle e corrente di ricarica. Tale legame assume un comportamento lineare, il quale si differenzia a seconda del livello di corrente utilizzata. In 2.6.

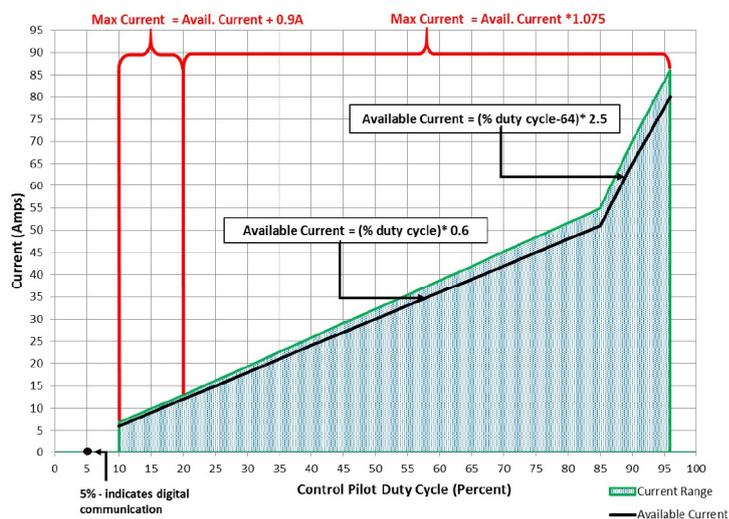


Figura 2.6. Relazione corrente- duty cycle - SAE J1772 [9]

2.1.2 Funzione prossimità - Proximity

La funzione proximity è un segnale di riferimento che identifica la connessione del veicolo alla stazione di ricarica. Esso, infatti, è un segnale riferito principalmente al veicolo, il quale presenta un valore maggiore di 3 V quando il veicolo non è connesso con potenziale di riferimento a telaio (in condizioni in cui la misura di tensione venga effettuata sul veicolo). Avvenuta la connessione tra le parti, tale segnale presenta una diminuzione di tensione, in linea con la tensione a cui viene sottoposta la resistenza presente all'interno della pistola di connessione.

In figura 2.7 è riportato lo schema circuitale dell'accoppiamento tra EVSE e veicolo, contenete la logica di connessione della funzione prossimità. È possibile notare come il parametro cardine di tale funzione è la resistenza di spina, R_c , la quale è oggetto di norma. Analizzando quest'ultimo schema, è possibile notare la presenza dell'alimentazione della rete, un circuito funzionale alla generazione del PWM con una tensione continua e resistenza interna e presenza di un RCD (interruttore differenziale) lato colonna.

Lato veicolo (successivamente alla spina di connessione), è osservabile la presenza della resistenza R_c che identifica l'oggetto modulante - tensione - della funzione di prossimità, la quale a seguito della connessione, istituisce un parallelo con l'altra resistenza presente sulla sinistra, la quale comporta la diminuzione di tensione come d'aspettativa.

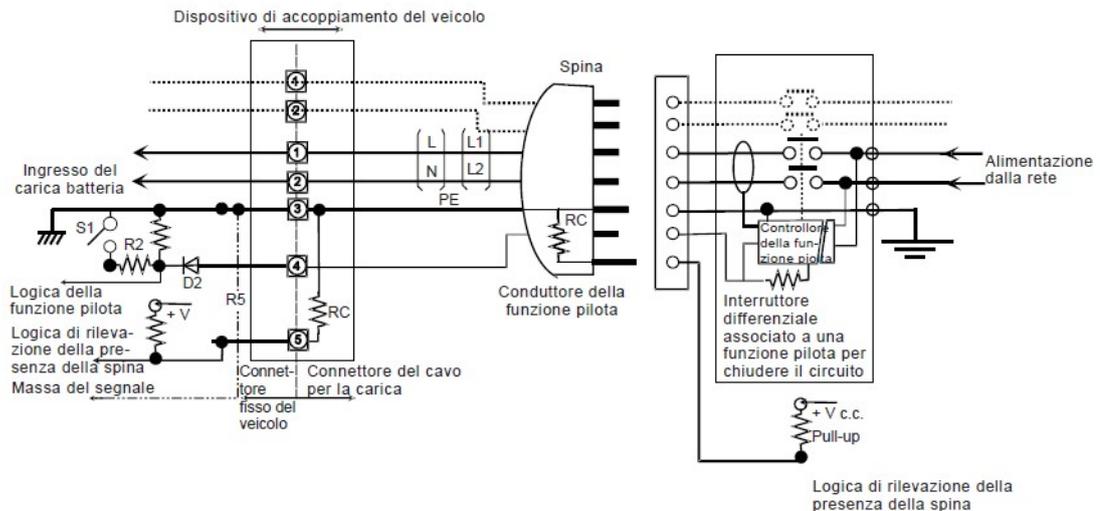


Figura 2.7. Circuito monofase proximity - CEI EN 61851 [4]

Il parametro della resistenza R_c oltre all'identificazione della corretta connessione del veicolo con la stazione di ricarica, ha il compito di comunicare all'EVSE la massima corrente sopportabile dal cavo, per non intaccare in problemi di surriscaldamento del conduttore e conseguentemente accelerare la perdita di vita dello stesso. La norma, infatti prevede che a seconda del cavo utilizzato durante la ricarica, e conseguentemente alla sua massima corrente sopportabile, la resistenza equivalente della R_c rispetti i valori riportati in figura 2.8. Questa funzione, a differenza della funzione pilota, non presenta dei valori specifici normali, affinché avvenga la ricarica, ma la norma prevede dei valori di resistenza -costituenti la pistola - che i fornitori di tali componenti devono prevedere a seconda della tipologia di ricarica.

Capacità di corrente dell'insieme del cavo	Resistenza equivalente di R_c Tolleranza $\pm 3\%$ ^(c)
13 A	1,5 k Ω 0,5 W ^(a, b)
20 A	680 Ω 0,5 W ^(a, b)
32 A	220 Ω 0,5 W ^(a, b)
63 A (3 fasi) / 70 A (1 fase)	100 Ω 0,5 W ^(a, b)

Figura 2.8. Resistenza equivalente R_c - CEI EN 61851 [4]

2.2 Strumentazione utilizzata

In questa sezione è fornita la panoramica degli strumenti di misura utilizzati durante le prove, definendone le principali caratteristiche ed il motivo di scelta. Durante l'attività svolta l'obiettivo è stato validare una serie di wallbox con differenti veicoli elettrificati. In primo luogo, è importante definire quali sono state le grandezze di interesse durante le prove e capirne le varie criticità riscontrate a seconda della diversa tipologia di OBC accoppiato.

L'attività ha trattato sia la tipologia di ricarica monofase, sia ricarica trifase, delle quali, per semplicità, si riporteranno principalmente gli studi sulla ricarica monofase.

Le grandezze di interesse sono state:

- Tensione di alimentazione dell'On Board Charger;
- Tensione del segnale di prossimità, prelevata dal conduttore mobile di ricarica;
- Corrente di ricarica;
- Tensione e andamento del segnale pilota.

Al fine di valutare tali grandezze, è stato utilizzato un oscilloscopio digitale anziché di un oscilloscopio analogico, per via di una maggiore praticità negli spostamenti con i vari veicoli a discapito della risoluzione dello strumento stesso, la quale però è stata comunque idonea alle prove in esame. Per quanto concerne la misurazione delle tensioni, sono state utilizzate tre sonde di tensione differenziali, uguali tra loro, ed una sonda di corrente per l'analisi della corrente di ricarica.

L'azienda fornitrice di tali strumenti è la Pico Technology.

Un altro aspetto importante è stato estrapolare le varie grandezze dal cavo di ricarica. È stato necessario realizzare un quadro elettrico entra-esci. Tale quadro è costituito dall'ingresso delle tre fasi – ognuna delle quali è sezionabile dal corrispettivo interruttore di manovra – conduttore di neutro e conduttore di protezione. Per quanto concerne la lettura di corrente, è stato ideato di portar fuori i vari conduttori delle fasi, in modo da inserirne attorno al conduttore in esame una pinza amperometrica. Per la valutazione dei segnali di control pilot e proximity, è stato necessario tirar fuori il potenziale positivo di entrambi, e confrontarli con il potenziale di riferimento comune.

Una criticità riscontrata durante quest'ultima fase ha interessato il segnale di prossimità, poiché la tensione di tale segnale è presente sulla resistenza presente internamente alla pistola di ricarica, provocando la mancata presenza del conduttore di tale segnale lungo tutto il cavo “modificato a fine della misura”. È stato quindi necessario aprire la pistola con un'attrezzatura specifica, e tirar fuori un potenziale parallelo alla resistenza governante il potenziale positivo del proximity. A monte del quadro, il quale assume denominazione di Break Out Box, è stato necessario utilizzare un secondo quadro, il quale ha il compito di protezione per contatti diretti/indiretti, con differenziale di tipo A, il quale oltre a garantire la protezione da eventuali dispersioni di correnti alternate, garantisce la protezione anche per dispersioni di correnti continue che potrebbero svilupparsi durante la prova a causa di un mal funzionamento. Completano la strumentazione i differenti veicoli

utilizzati, dei quali si omettono i rispettivi nomi commerciali per motivi di privacy. Di seguito sono fornite le taglie degli OBC analizzati:

- OBC con potenza massima 11 kW;
- OBC con potenza massima 6.6 kW;
- OBC con potenza massima 11 kW, il quale non presenta la possibilità di ricarica monofase;
- OBC con potenza massima 7 kW, il quale non presenta la possibilità di ricarica trifase;

Gli strumenti della famiglia Pico technology utilizzati sono i seguenti, di cui in seguito sono riportate le caratteristiche fornite dai datasheet:

- Oscilloscopio 4444;
- Tre sonde di tensione differenziali 442 1000V CAT III;
- La sonda di corrente TA301 è una sonda di AC/DC con possibilità di commutare la misurazione con un range fino a 2000 A con larghezza di banda di 20 kHz, per l'uso fino a 150 V CAT II su conduttori non isolati.

Specifiche		
VERTICALE	SPECIFICHE OSCILLOSCOPIO	SPECIFICHE CON SONDA PICOCONNECT 442 1000 V CAT III
Canali di ingresso	4 canali	Una coppia differenziale per ogni sonda collegata
Larghezza di banda analogica (-3 dB)	20 MHz con adattatori D9-BNC 15 MHz con sonda PicoConnect 441	10 MHz
Tempo di salita (calcolato)	17,5 ns con adattatori D9-BNC 23,3 ns con sonda PicoConnect 441	35 ns
Limitatore larghezza di banda	100 kHz o 1 MHz (selezionabile)	100 kHz o 1 MHz (selezionabile)
Risoluzione verticale, modalità 12 bit	12 bit sulla maggioranza degli intervalli d'ingresso 11 bit nell'intervallo ± 10 mV	12 bit
Risoluzione verticale, modalità 14 bit	14 bit sulla maggioranza degli intervalli d'ingresso 13 bit nell'intervallo ± 20 mV 12 bit nell'intervallo ± 10 mV	14 bit
Risoluzione verticale migliorata (software PicoScope 6), modalità 12 bit	Fino a 16 bit sulla maggioranza degli intervalli d'ingresso Fino a 15 bit nell'intervallo ± 10 mV	Fino a 16 bit
Risoluzione verticale migliorata (software PicoScope 6), modalità 14 bit	Fino a 18 bit sulla maggioranza degli intervalli d'ingresso Fino a 17 bit nell'intervallo ± 20 mV Fino a 16 bit nell'intervallo ± 10 mV	Fino a 18 bit
Tipo d'ingresso	Differenziale 9-pin D-Sub, femmina	Differenziale prese 2 x 4 mm, rivestite
Caratteristiche d'ingresso	1 M Ω $\pm 1\%$, in parallelo con 17,5 pF ± 1 pF (ogni ingresso differenziale di messa a terra dell'oscilloscopio). <1 pF differenza tra intervalli.	16,7 M Ω $\pm 1\%$, in parallelo con 9,3 pF ± 1 pF (ogni ingresso differenziale di messa a terra dell'oscilloscopio)
Accoppiamento d'ingresso	AC o DC (selezionabile)	AC o DC (selezionabile)
Sensibilità d'ingresso	Da 2 mV/div a 10 V/div	Da $\pm 0,5$ V/div a ± 200 V/div
Intervalli d'ingresso (scala completa)	± 10 mV, ± 20 mV, ± 50 mV, ± 100 mV, ± 200 mV, ± 500 mV, ± 1 V, ± 2 V, ± 5 V, ± 10 V, ± 20 V, ± 50 V	$\pm 2,5$ V, ± 5 V, $\pm 12,5$ V, ± 25 V, ± 50 V, ± 125 V, ± 250 V, ± 500 V, ± 1000 V
Intervallo d'ingresso di modo comune	5 V su intervalli da ± 10 mV a ± 500 mV 50 V su intervalli da ± 1 V a ± 50 V	125 V su intervalli da $\pm 2,5$ V a $\pm 12,5$ V 1000 V su intervalli da ± 25 V a ± 1000 V
Precisione DC (DC a 10 kHz)	$\pm 1\%$ della scala completa, ± 500 μ V ± 250 mV su intervalli da ± 10 mV a ± 500 mV $\pm 2,5$ V su intervalli da ± 1 V a ± 5 V ± 25 V su intervalli da ± 10 V a ± 50 V	$\pm 3\%$ della scala completa, $\pm 12,5$ mV $\pm 6,25$ V su intervalli da $\pm 2,5$ V a $\pm 12,5$ V $\pm 62,5$ V su intervalli da ± 25 V a ± 125 V ± 625 V su intervalli da ± 250 V a ± 1000 V
Intervallo di compensazione analogica		
Precisione offset analogica	1% di impostazione offset in aggiunta all'accuratezza DC di base	1% di impostazione offset in aggiunta all'accuratezza DC di base
Protezione da sovratensione	± 100 V DC + picco AC (qualsiasi ingresso differenziale a terra) ± 100 V DC + picco AC (tra ingressi differenziali)	1000 V CAT III (qualsiasi ingresso differenziale a terra) 1000 V CAT III (tra ingressi differenziali)

Figura 2.9. Caratteristiche oscilloscopio e sonda differenziale di tensione [1]

Nelle figure seguenti è riportato l'intero setup utilizzando durante la validazione:



Figura 2.10. Setup Break Out Box

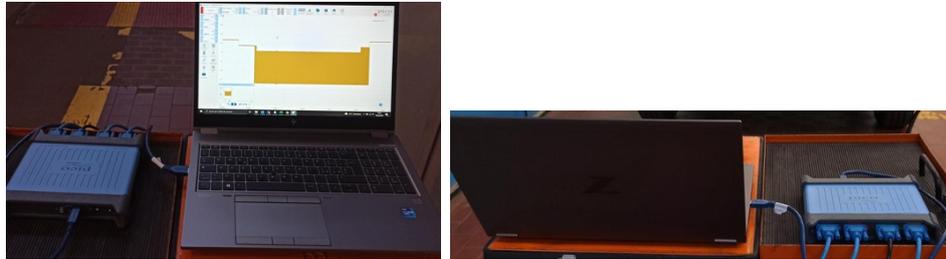


Figura 2.11. Setup PC - oscilloscopio

Capitolo 3

Dati sperimentali

In questo capitolo sono forniti i dati sperimentali acquisiti durante la validazione con la strumentazione ed il setup citato al capitolo precedente. In primo luogo, è necessario comunicare che l'attività riguarda principalmente la validazione di wallbox verificandone la compatibilità con i veicoli sul mercato. Durante l'attività ci si è concentrati a validare la compatibilità con la ricarica monofase, visto il suo utilizzo più espanso considerando anche l'uso della ricarica domestica. Tra le wallbox analizzate, vi è solo una capace di erogare univocamente una ricarica monofase, mentre con le altre restanti, è possibile scegliere quale tipologia di ricarica effettuare, a seconda della potenza dell'impianto a cui è connessa.

I veicoli analizzati sono anch'essi di diversa tipologia oltre ad essere costituiti da diversi On Board Charger. Per motivi di segretezza, in questo documento non sono riportati i nomi commerciali dei veicoli, ma saranno denominati con il seguente elenco:

- Veicolo con OBC 7 kW = Veicolo A;
- Veicolo con OBC 6.6 kW = Veicolo B;
- Veicolo con OBC 11 kW = Veicolo C;

Nel definire l'attività, è stato necessario fornire una checklist coerente con quanto richiesto dalla normativa vigente al fine della messa in commercio del prodotto. Tale checklist, prevede principalmente l'analisi della tensione e corrente di alimentazione, i rispettivi valori assunti dal segnale pilota durante le varie fasi di ricarica e la tensione sul segnale di prossimità nel momento in cui c'è il plug al veicolo. È necessario fare un piccolo appunto su tale funzione, poiché non essendo normata è stato necessario analizzare se a seguito della connessione al veicolo, si presenta il cambio di stato, prelevando il segnale pilota dalla pistola di ricarica e non direttamente dal pin di centralina.

Per ogni veicolo è stato necessario validare tre differenti wallbox, le quali hanno richiesto di effettuare 42 test per veicolo, per un totale di test effettuati di 126. Le sezioni che seguiranno a questa breve introduzione si suddivideranno in funzione delle wallbox, le quali saranno denominate nel modo seguente:

- Wallbox univocamente monofase = Wallbox 1;

- Wallbox con possibilità di ricaricare sia in monofase che trifase = Wallbox 2;
- Wallbox con possibilità di ricaricare sia in monofase che trifase a seconda degli adattatori connessi in ingresso = wallbox 3.

Nella pratica, a seguito della configurazione del setup - delle sonde e dell'oscilloscopio - è stata seguita la checklist - con notevole contributo personale - rispettando la normativa vigente. Come aspetti importanti durante l'analisi, vi è una tensione e corrente di alimentazione circa zero in termini di RMS durante lo stato A e lo stato B1 del segnale pilota, cambio di stato del segnale di prossimità a seguito della connessione tra veicolo e stazione di ricarica, e monitoraggio del segnale pilota, tenendo in considerazione i range di valori per ogni rispettivo stato, frequenza e valore di duty cycle coerentemente ai valori di corrente. Senza entrare troppo nei dettagli della checklist, sono stati valutati:

- Tensione di alimentazione durante i diversi stati del CP - segnale blu;
- Corrente di alimentazione durante i diversi stati del CP - segnale verde;
- Tensione e andamento del CP durante la carica - segnale giallo;
- Tensione e andamento del segnale di prossimità durante la carica - segnale rosso;
- Comportamento della wallbox durante la simulazione di blackout.

3.1 Wallbox 1

Questa stazione di ricarica ha la particolarità di ricaricare i veicoli in monofase, necessitando di una semplice installazione all'impianto esistente, con un'accortezza di installare a monte di essa un differenziale di tipo A per prevenire le varie dispersioni di correnti sia alternate che continue durante la ricarica. Per quanto concerne il comportamento della stazione di ricarica durante il blackout, è importante precisare alcuni aspetti costruttivi della wallbox.

Nello specifico tale wallbox, assume un comportamento designato dai propri progettisti, presentando un'interruzione della ricarica preventiva a seguito della prima erogazione di potenza, in modo di effettuare dei check interni della stazione stessa. A seguito di questo check interno, la ricarica assume andamento corretto e continuativo.

3.1.1 Veicolo A

La potenza di dimensionamento dell'OBC presente su questo veicolo, corrisponde ad una massima di 7 kW circa, la quale risulta essere concorde con la potenza massima erogabile dalla wallbox in esame.

Le misure sono state realizzate con una frequenza di campionamento di 100 kHz, alimentando la ricarica a 32 A, di cui di seguito sono riportati in primis l'andamento generale del normale funzionamento, ed in secondo luogo gli andamenti della tensione di fase e corrente di carica in input all'OBC, seguite dalle diverse dinamiche assunte dal segnale pilota.

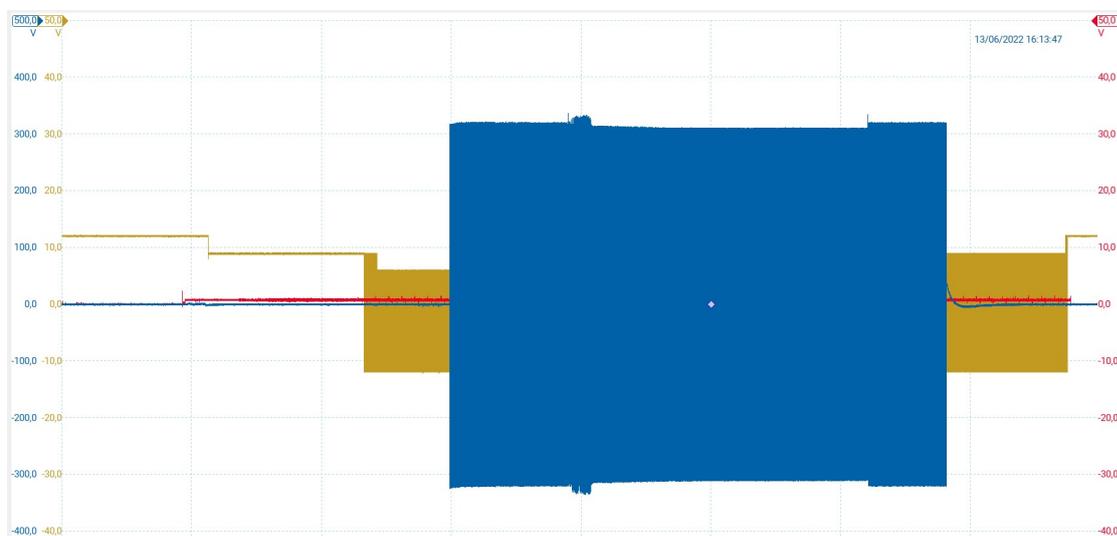


Figura 3.1. Andamento ricarica Wallbox 1 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo A

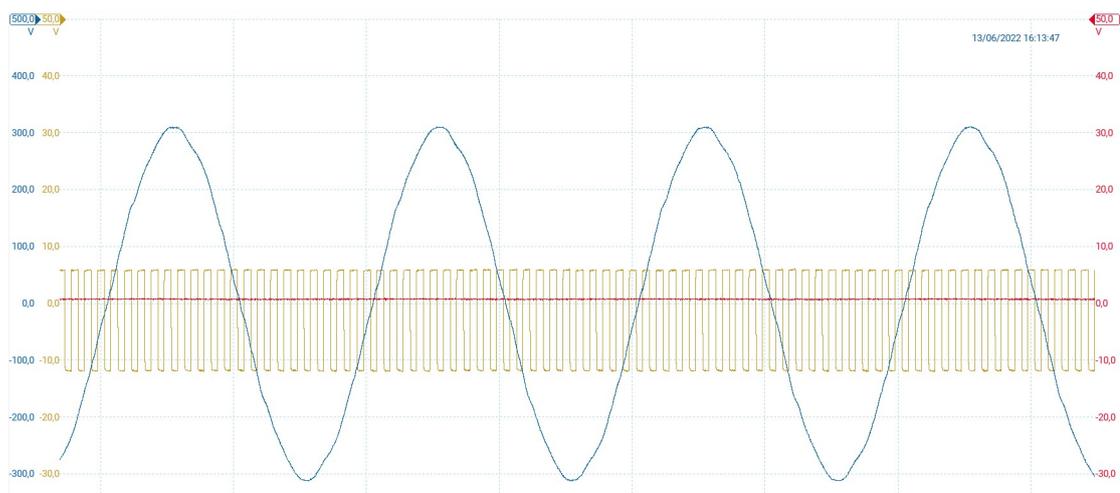


Figura 3.2. Andamento ricarica Wallbox 1 - Profilo di tensione, PP, CP durante stato C - Veicolo A

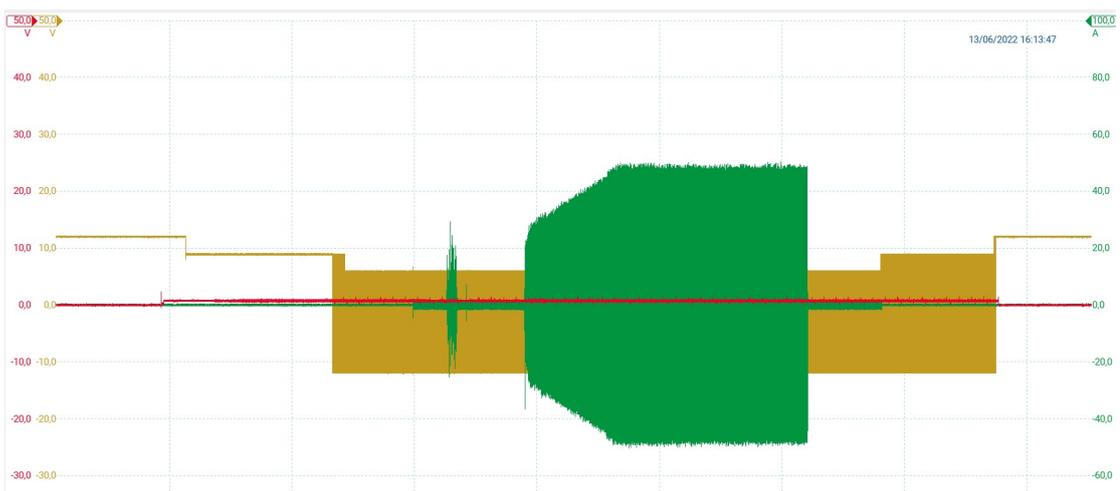


Figura 3.3. Andamento ricarica Wallbox 1 - Profilo corrente, PP, CP - veicolo A

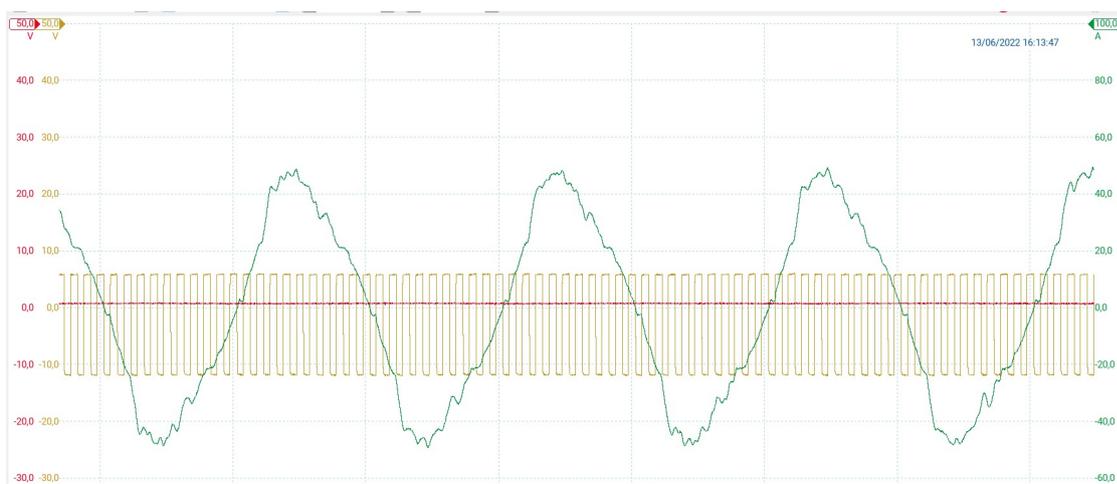


Figura 3.4. Andamento ricarica Wallbox 1 - Profilo di corrente, PP, CP durante stato C - Veicolo A

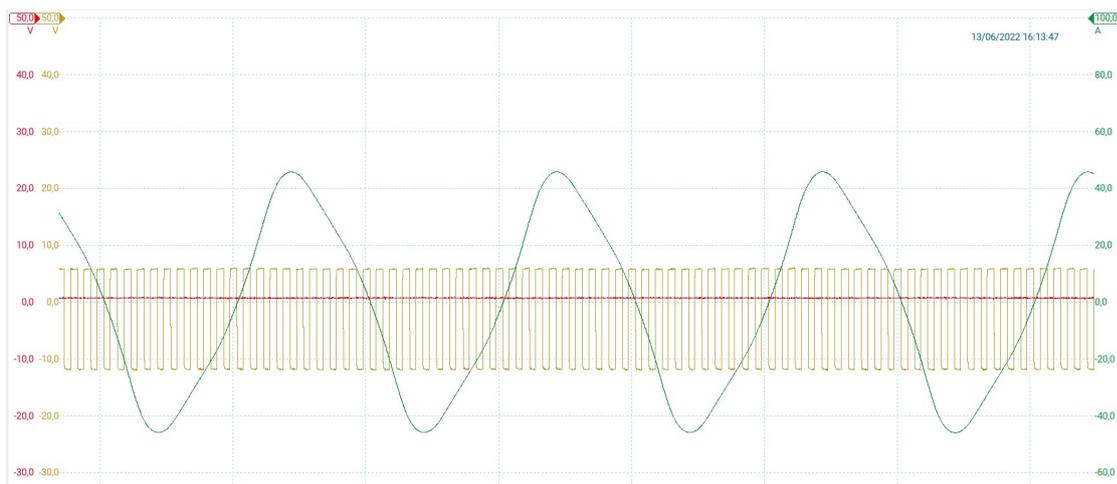


Figura 3.5. Andamento ricarica Wallbox 1 - Profilo di corrente, PP CP con filtro passa basso a 150 Hz durante stato C - Veicolo A

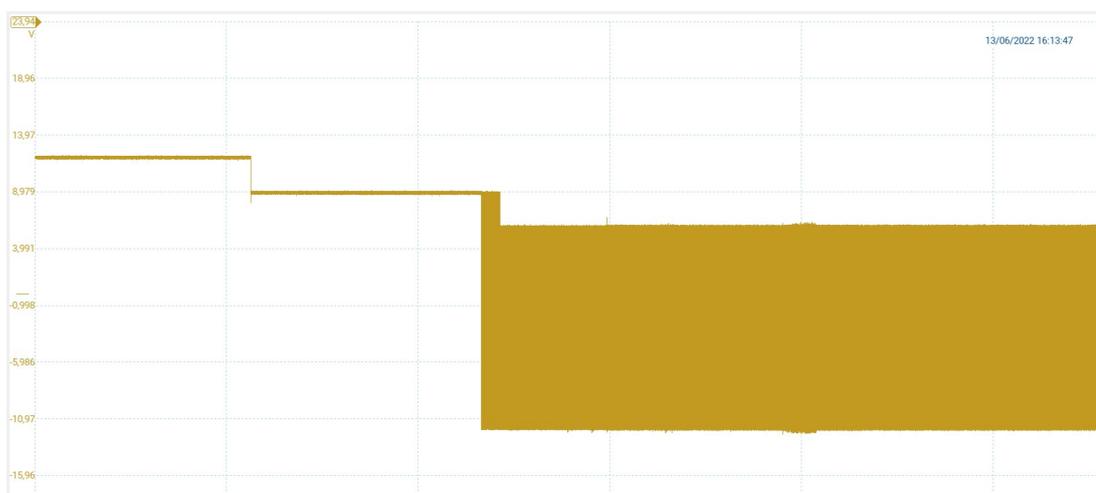


Figura 3.6. Andamento segnale pilota durante la ricarica Wallbox 1 - Veicolo A

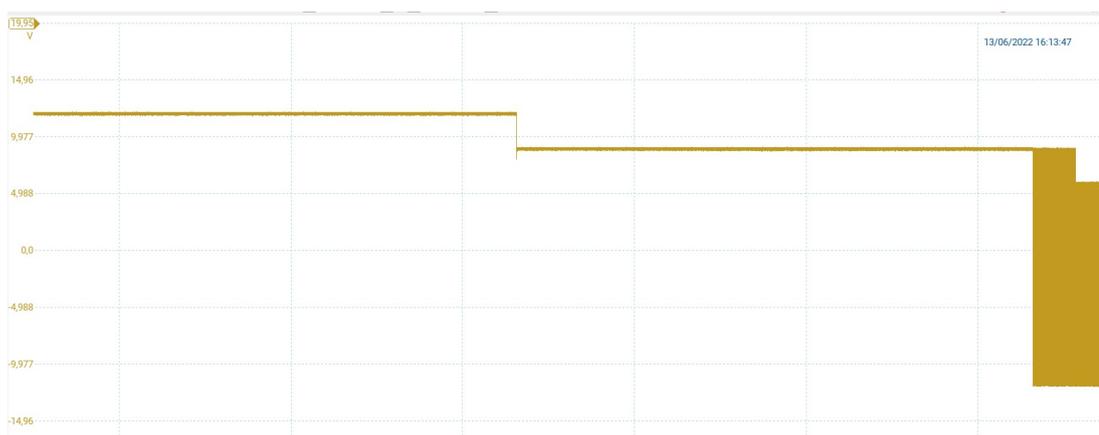


Figura 3.7. Stato A e B1 CP Wallbox 1 - Veicolo A



Figura 3.8. Stato B2 CP Wallbox 1 - Veicolo A



Figura 3.9. Stato C CP Wallbox 1 - Veicolo A

Definendone un'analisi dettagliata delle figure soprariportati, e riportando i valori assunti dalle grandezze in 3.10, possiamo affermare:

- Il profilo di tensione coerentemente alla qualità che devono garantire i fornitori di energia elettrica, risulta essere priva di disturbi notevoli, assumendo differenti valori a seconda dello stato di carica;
- Il profilo di corrente, a differenza di quello di tensione, risulta affetto da disturbi armonici, questo dato dal fatto che - come ben noto in elettrotecnica - in regime monofase, è presente la terza armonica, la quale comporta un disturbo notevole della grandezza in esame. Come prova di tale tesi, è stato implementato in modo simulato, un filtro passa basso con frequenza di taglio a 150 Hz, comprovando un andamento decisamente migliore in termini di contenuto armonico, riportato in figura 3.5;
- Il profilo del segnale di prossimità assume un cambiamento di stato nel momento in cui avviene la connessione EVSE-veicolo, come d'attesa, osservabile in 3.1 e 3.3;
- Il segnale pilota assume coerentemente alla norma IEC 61851, tutti i vari stadi caratterizzanti la ricarica.

E' osservabile il cambiamento di stato da stato A in stato B1, a seguito della connessione del cavo di ricarica al veicolo, in cui la stazione non è capace ad erogare potenza e successivamente con l'accensione del segnale PWM - cambiando in stato B2 - l'EVSE è pronto ad erogare potenza, ma resta in attesa di autorizzazione dal veicolo, il quale autorizzando commuta il CP in stato C, definendone il duty cycle coerentemente al valore di corrente di carica.

	STATO A	STATO B1	STATO B2 Max	STATO B2 Min	STATO C Max	STATO C Min
Tensione RMS [V]	0,398	0,398	0,398	0,398	217,10	217,10
Corrente RMS [A]	0,0413	0,0413	0,0413	0,0413	30,80	30,80
PP media [mV]	-2,02	794,50	794,50	794,50	794,50	794,50
CP media [V]	12,02	8,94	9,03	-11,94	6,12	-11,99
CP frequenza [Hz]	//	//	999,60	999,60	999,60	999,60
CP Duty Cycle [%]	//	//	50,00	50,00	51,50	51,50

Figura 3.10. Risultati valori ricarica Wallbox 1 - Veicolo A

Il comportamento atteso durante la situazione di blackout e post blackout è che le grandezze siano circa zero durante il blackout, e che a seguito della rialimentazione da parte della rete, vi sia una prima ricarica interrotta (normale funzionamento), ed a seguito di essa, la ricarica riprenda correttamente.

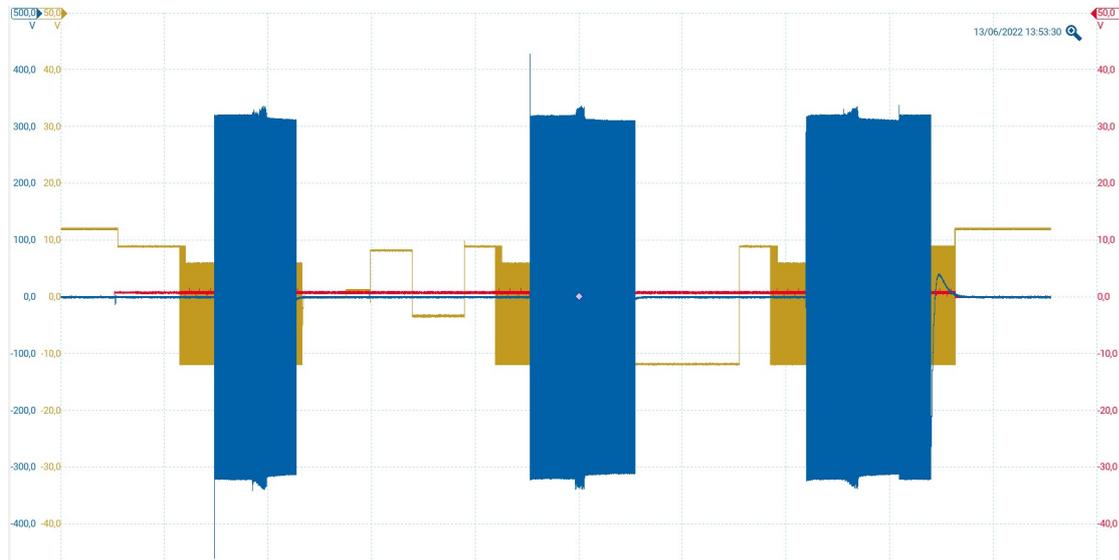


Figura 3.11. Andamento ricarica durante blackout Wallbox 1 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo A

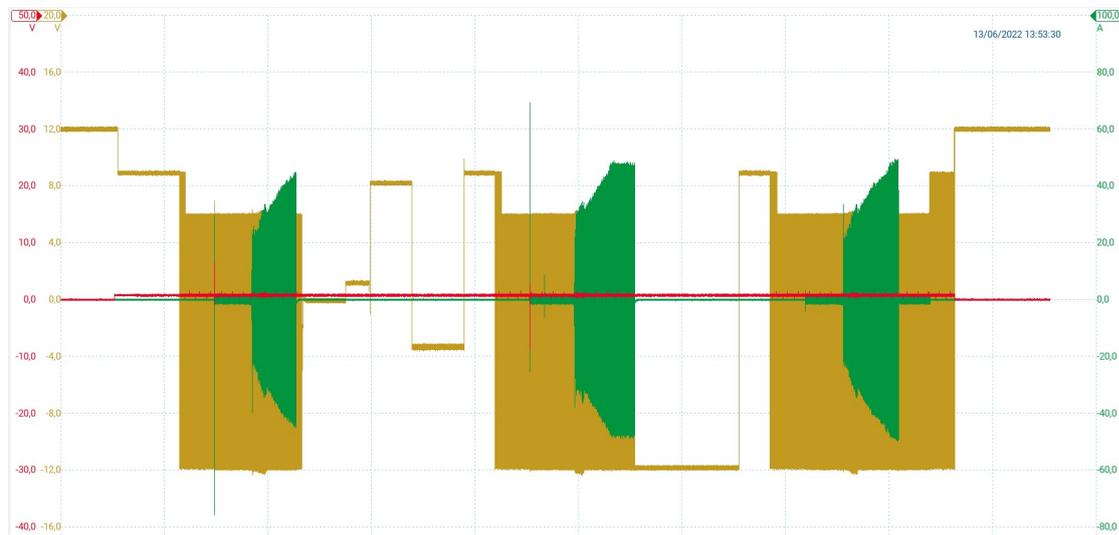


Figura 3.12. Andamento ricarica durante blackout Wallbox 1 - Profilo corrente, PP, CP - Veicolo A

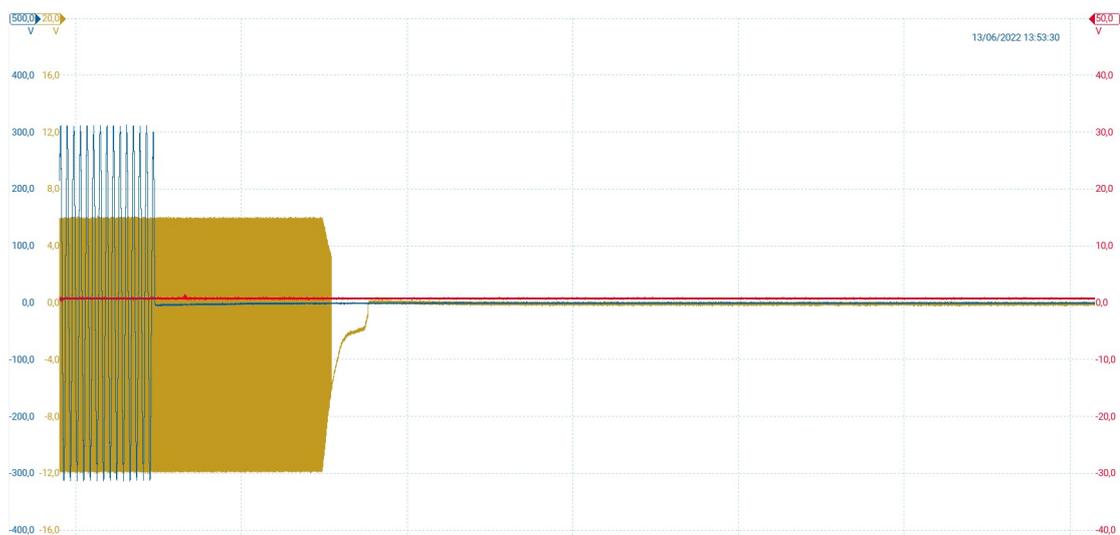


Figura 3.13. Comportamento in assenza di alimentazione da parte della rete alla stazione di ricarica Wallbox 1 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo A

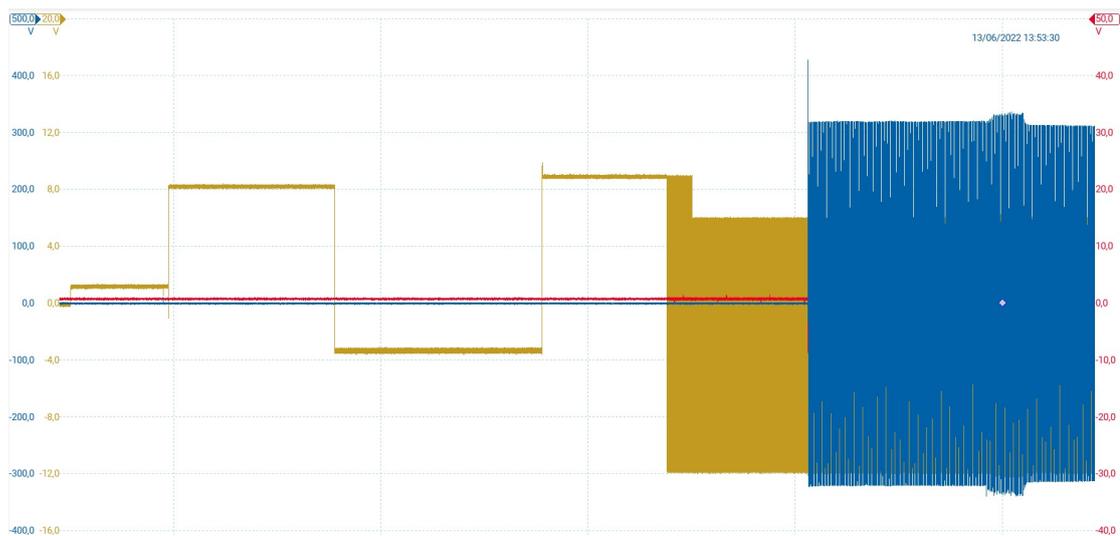


Figura 3.14. Comportamento del ritorno dell'alimentazione da parte della rete alla stazione di ricarica Wallbox 1 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo A

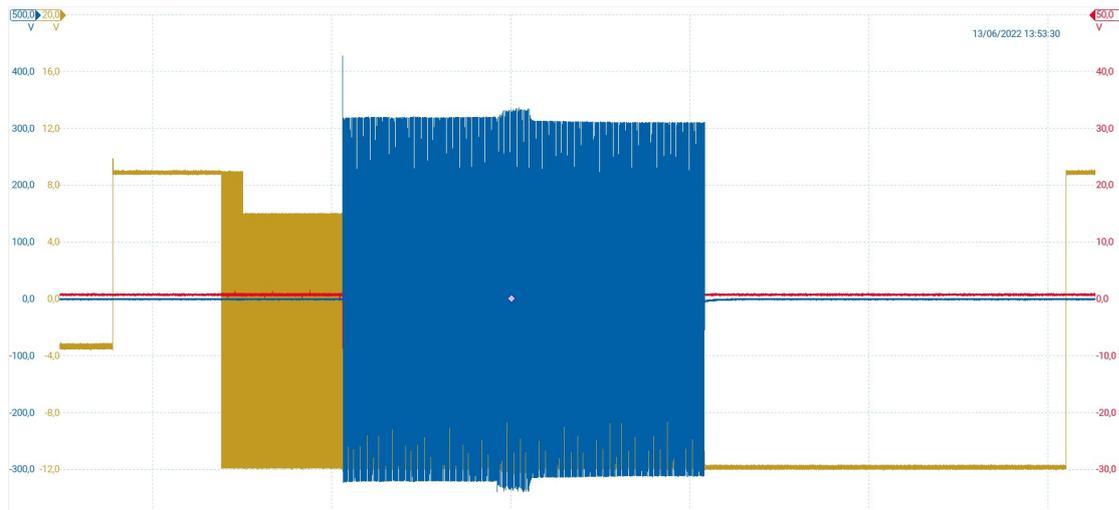


Figura 3.15. Ricarica preventiva a seguito della rialimentazione Wallbox 1 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo A

Come si evince dai risultati riportati in 3.16, è possibile notare come tutte le grandezze raggiungono circa zero durante il blackout, e che in fase di rialimentazione della rete, la prima grandezza ad assumere un cambiamento di stato è il segnale pilota, poichè responsabile di ripristinare le condizioni per riprendere con la ricarica del veicolo.

	BLACKOUT	AFTER BLACKOUT
Tensione RMS [V]	0,486	0,486
Corrente RMS [A]	0,0820	0,0820
PP media [mV]	0,80	0,80
CP media [V]	-0,06	1,187 8,216 -3,333 8,914 Carica preventiva

Figura 3.16. Risultati valori ricarica durante blackout e post blackout Wallbox 1 - Veicolo A

3.1.2 Veicolo B

La potenza massima erogabile dalla wallbox è di 7 kW, la quale è interfacciata con un OBC di potenza massima in ingresso di 6.6 kW. Tale veicolo è caratterizzato da 3 pacchi batteria, i quali identificano 6 contattori al fine della chiusura del circuito di ricarica, presentando i relativi picchi di corrente in fase di chiusura, completamente d'accordo con la compatibilità elettromagnetica di accoppiamento di sorgente e carico, entrambi capacitivi.

Il test è stato effettuato con una corrente di carica di 20 A e frequenza di campionamento di 100 kHz.

Di seguito sono riportati in primis l'andamento generale del normale funzionamento, in secondo luogo gli andamenti della tensione di fase e corrente di carica in input all'OBC, ed a seguire le diverse dinamiche assunte dal segnale pilota.

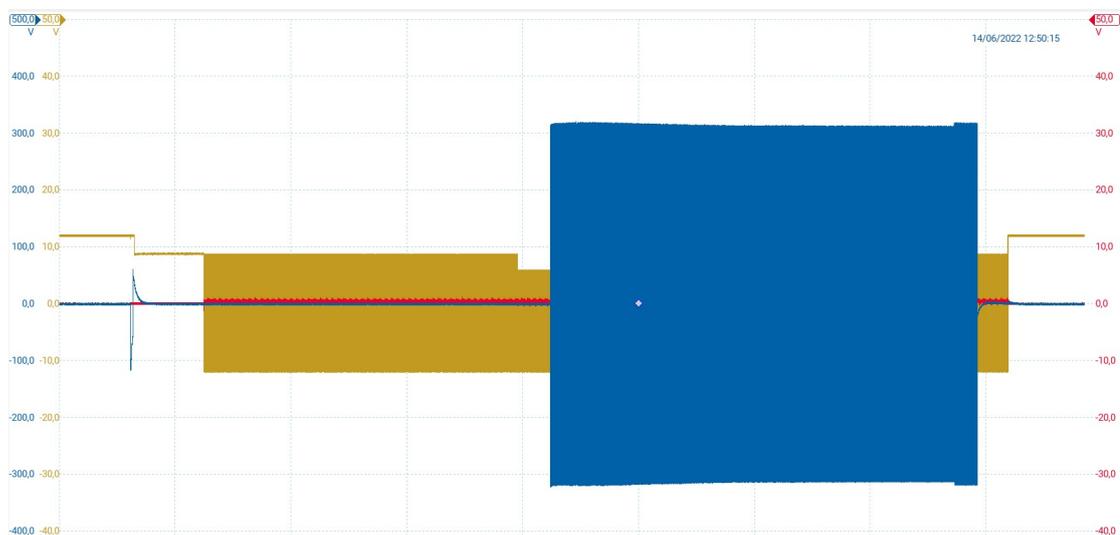


Figura 3.17. Andamento ricarica Wallbox 1 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo B

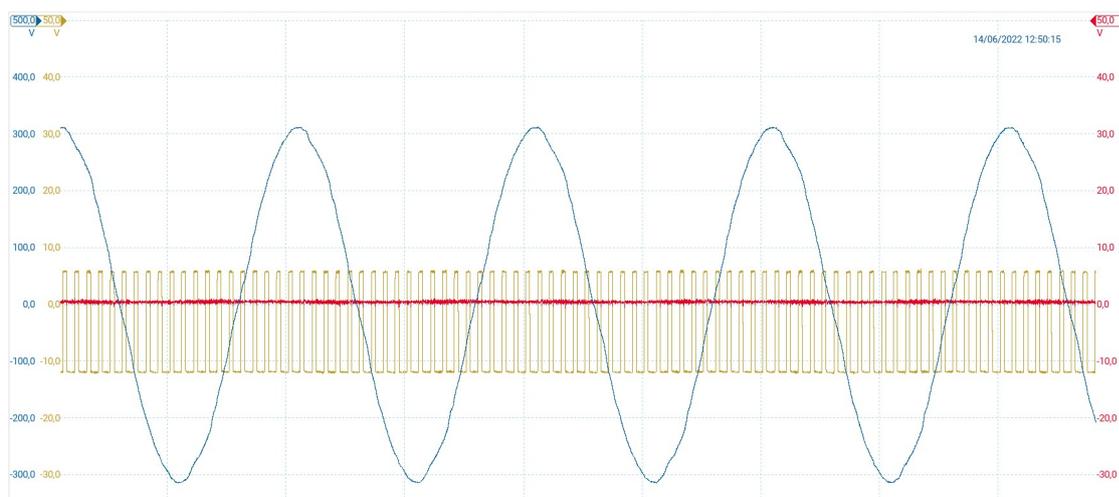


Figura 3.18. Andamento ricarica Wallbox 1 - Profilo di tensione, PP, CP durante stato C - Veicolo B

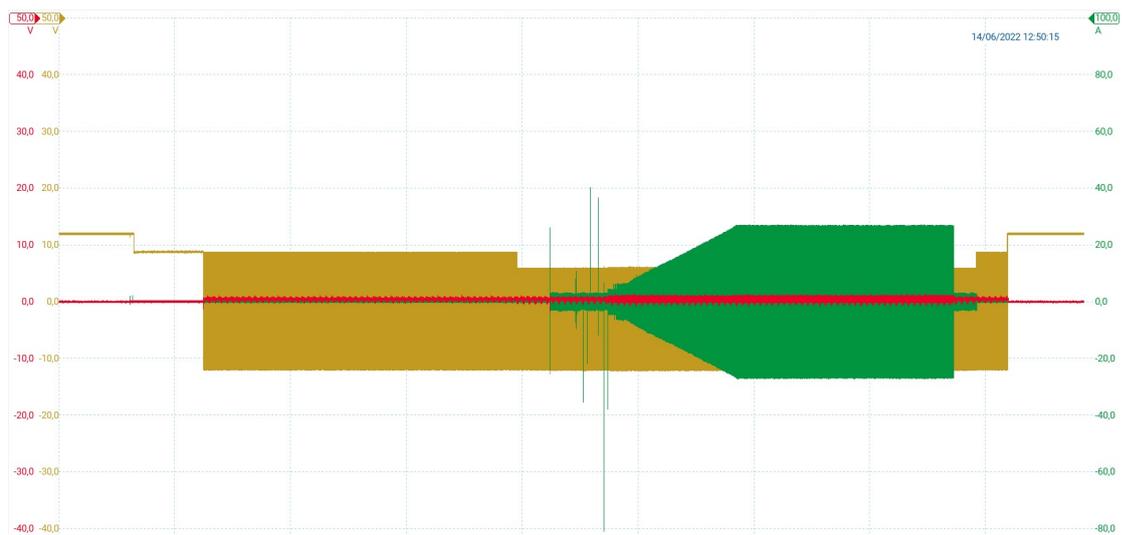


Figura 3.19. Andamento ricarica Wallbox 1 - Profilo corrente, PP, CP - veicolo B

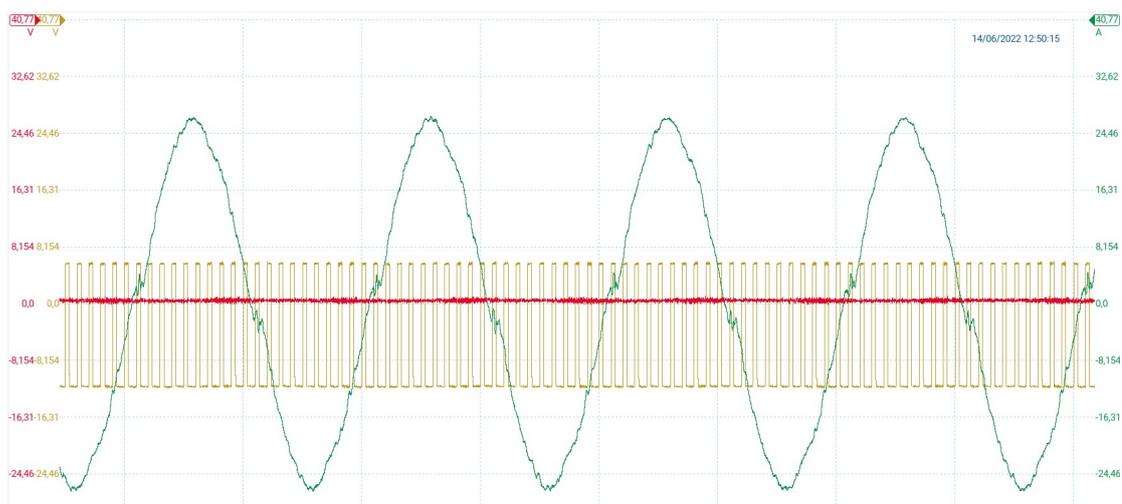


Figura 3.20. Andamento ricarica Wallbox 1 - Profilo di corrente, PP, CP durante stato C - Veicolo B

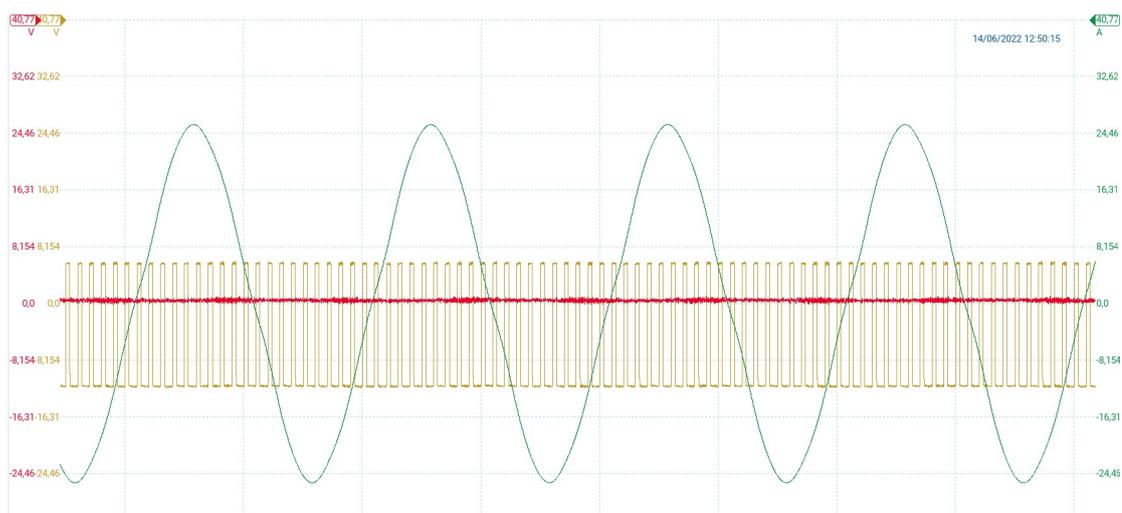


Figura 3.21. Andamento ricarica Wallbox 1 - Profilo di corrente, PP, CP con filtro passa basso a 150 Hz durante stato C - Veicolo B

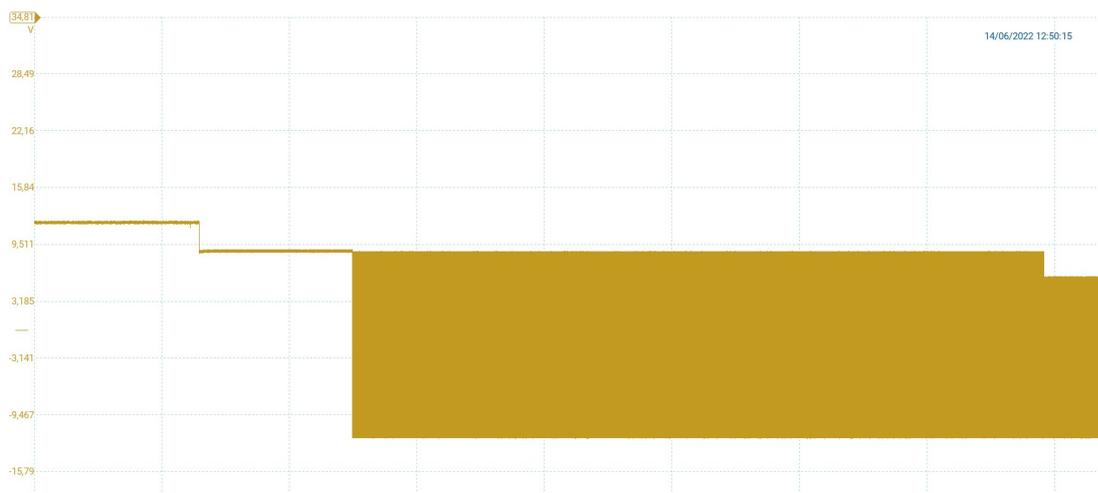


Figura 3.22. Andamento segnale pilota durante la ricarica Wallbox 1 - Veicolo B

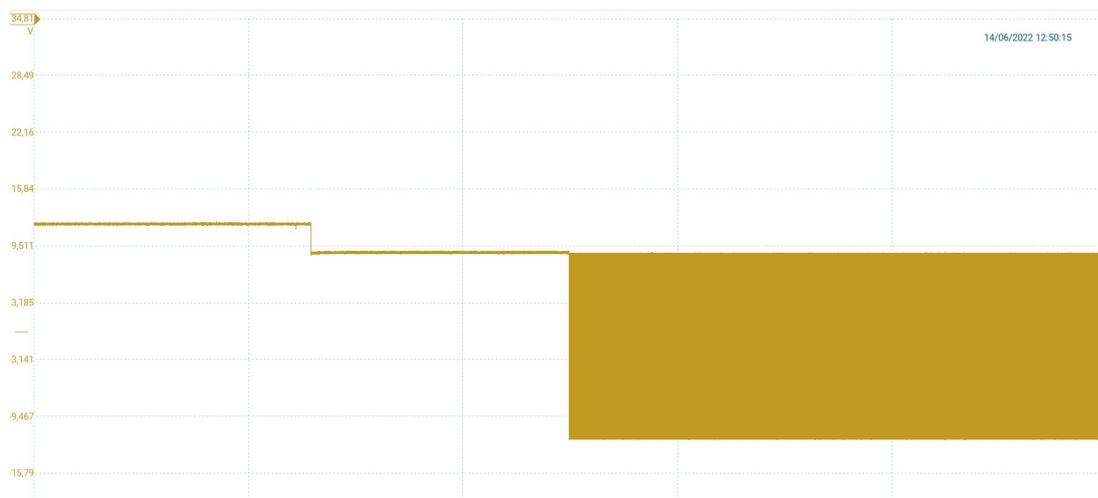


Figura 3.23. Stato A e B1 CP Wallbox 1 - Veicolo B

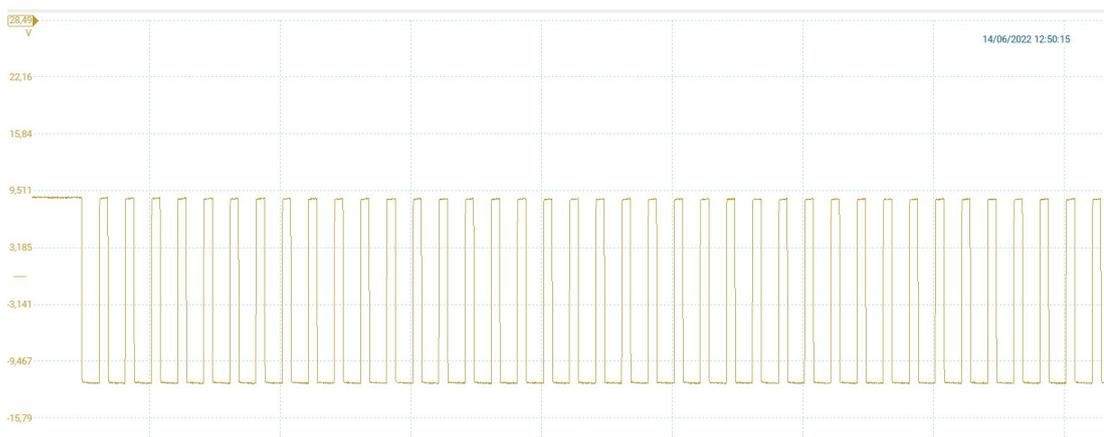


Figura 3.24. Stato B2 CP Wallbox 1 - Veicolo B

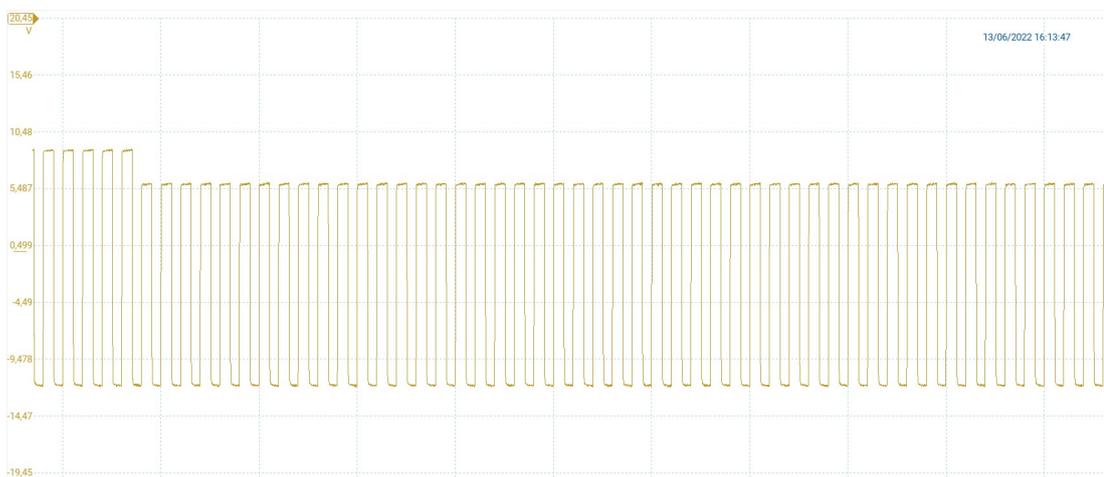


Figura 3.25. Stato C CP Wallbox 1 - Veicolo B

Definendone un'analisi dettagliata delle figure soprariportati e riportando i valori assunti dalle grandezze in 3.26, possiamo affermare:

- Il profilo di tensione coerentemente alla qualità che devono garantire i fornitori di energia elettrica, risulta essere priva di disturbi notevoli, assumendo differenti valori a seconda dello stato di carica;
- Il profilo di corrente, a differenza di quello di tensione, risulta affetto da disturbi armonici, dato dalla presenza della terza armonica, ed infatti simulando un filtro passa basso con frequenza di taglio di 150 Hz si osserva un andamento decisamente migliore in termini di contenuto armonico, riportato in figura 3.21. Il valore dei picchi di corrente, assumono un valore massimo picco-picco di circa a 121 A per una durata inferiore a 100 μ s;
- Il profilo del segnale di prossimità assume un cambiamento di stato nel momento in cui avviene la connessione EVSE-veicolo, il quale assume un valore più rilevante - in termini di valor medio - quando la stazione di ricarica assume lo stato B1, come riportato dalle figure 3.17 e 3.19;
- Il segnale pilota assume coerentemente alla norma IEC 61851, tutti i vari stadi caratterizzanti la ricarica.

È osservabile il cambiamento di stato da stato A in stato B1, a seguito della connessione del cavo di ricarica al veicolo, in cui la stazione non è capace ad erogare potenza e successivamente con l'accensione del segnale PWM - cambiando in stato B2 - l'EVSE è disponibile al fornimento di energia, ma resta in attesa di autorizzazione da parte del veicolo, il quale autorizzando commuta il CP in stato C, definendone il duty cycle coerentemente al valore di corrente di carica.

	STATO A	STATO B1	STATO B2 Max	STATO B2 Min	STATO C Max	STATO C Min
Tensione RMS [V]	0,517	0,518	0,519	0,519	218,30	218,30
Corrente RMS [A]	0,0196	0,0196	0,0196	0,0196	17,52	17,52
PP media [mV]	1,50	25,00	480,00	480,00	480,00	480,00
CP media [V]	11,99	8,80	8,82	-12,09	6,15	-12,15
CP frequenza [Hz]	//	//	1001,00	1001,00	1001,00	1001,00
CP Duty Cycle [%]	//	//	50,00	50,00	31,87	31,87

Figura 3.26. Risultati valori ricarica Wallbox 1 - Veicolo B

Il comportamento atteso durante la situazione di blackout e post blackout è che le grandezze siano circa zero durante il blackout, e che a seguito della rialimentazione da parte della rete, vi sia una prima ricarica interrotta (normale funzionamento), ed a seguito di essa, la ricarica riprenda correttamente.

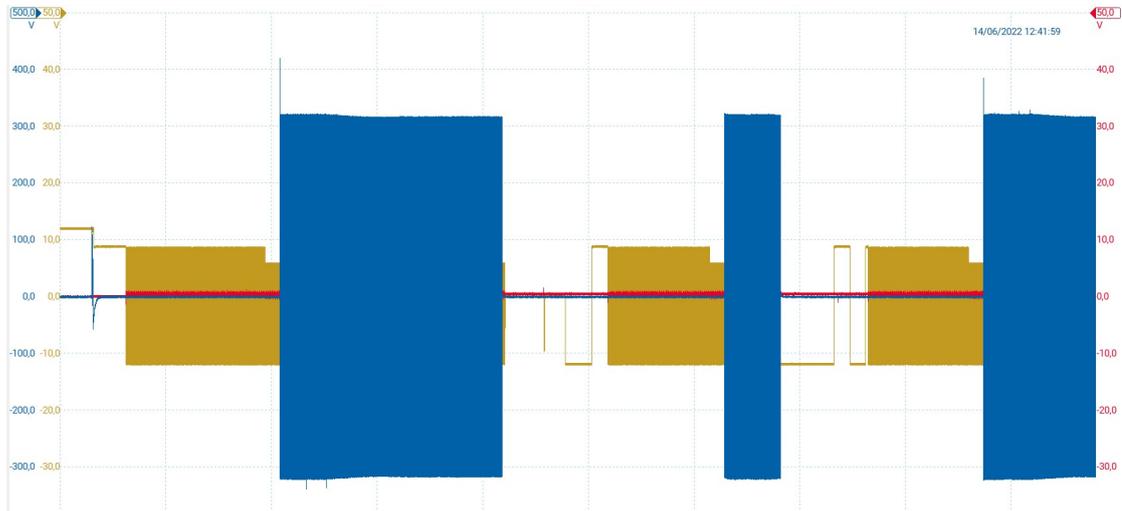


Figura 3.27. Andamento ricarica durante blackout Wallbox 1 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo B

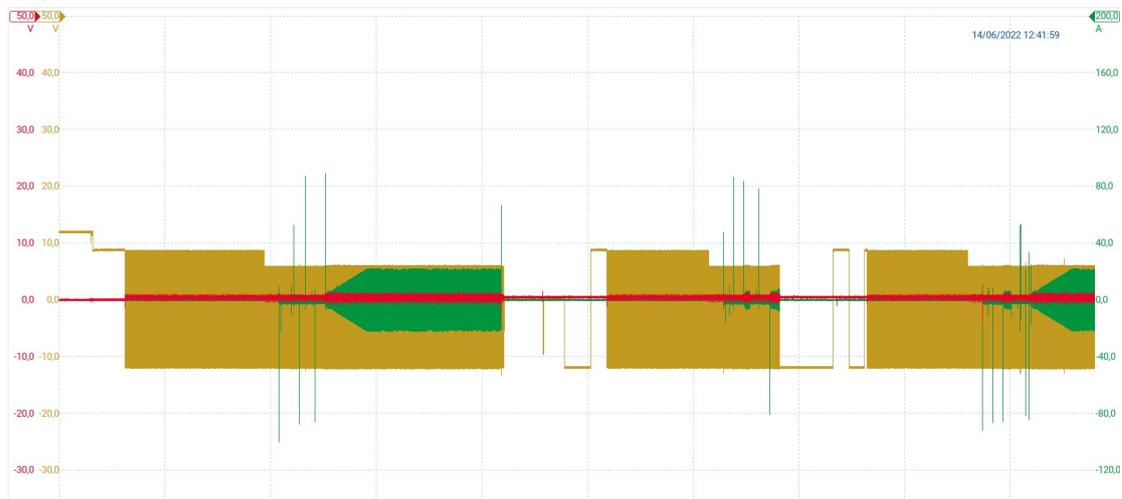


Figura 3.28. Andamento ricarica durante blackout Wallbox 1 - Profilo corrente, PP, CP - Veicolo B

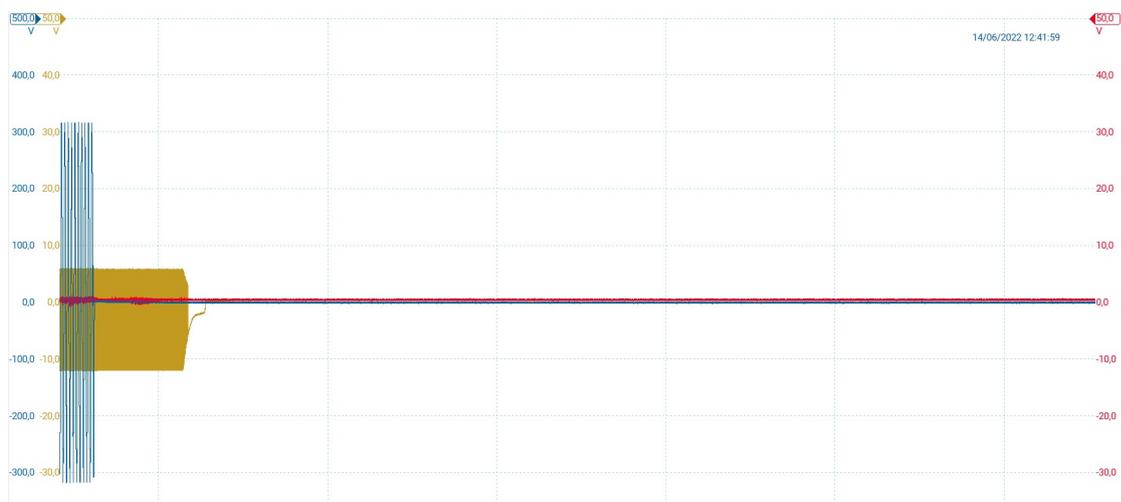


Figura 3.29. Comportamento in assenza di alimentazione da parte della rete alla stazione di ricarica Wallbox 1 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo B

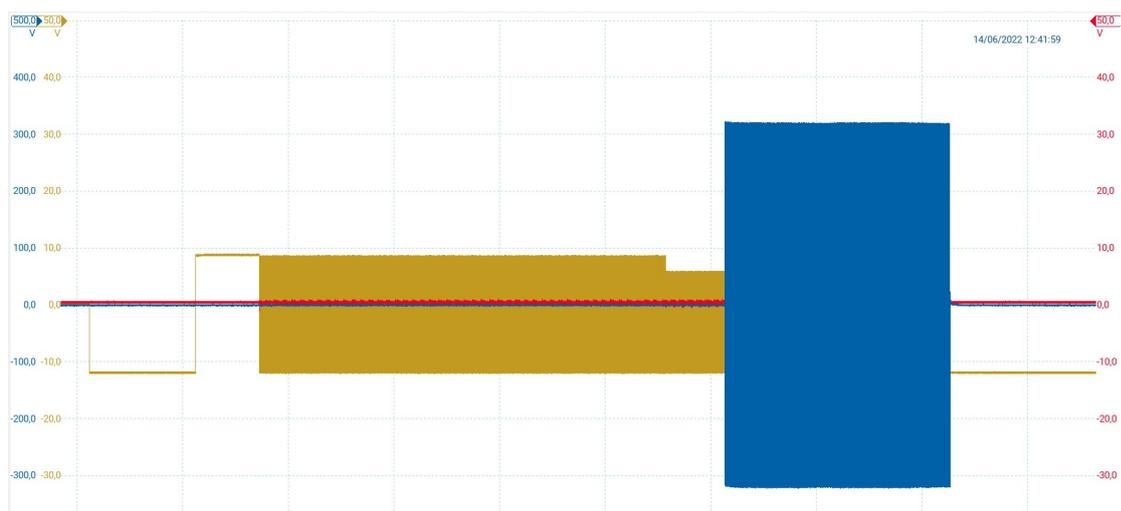


Figura 3.30. Comportamento del ritorno dell'alimentazione da parte della rete alla stazione di ricarica Wallbox 1 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo B

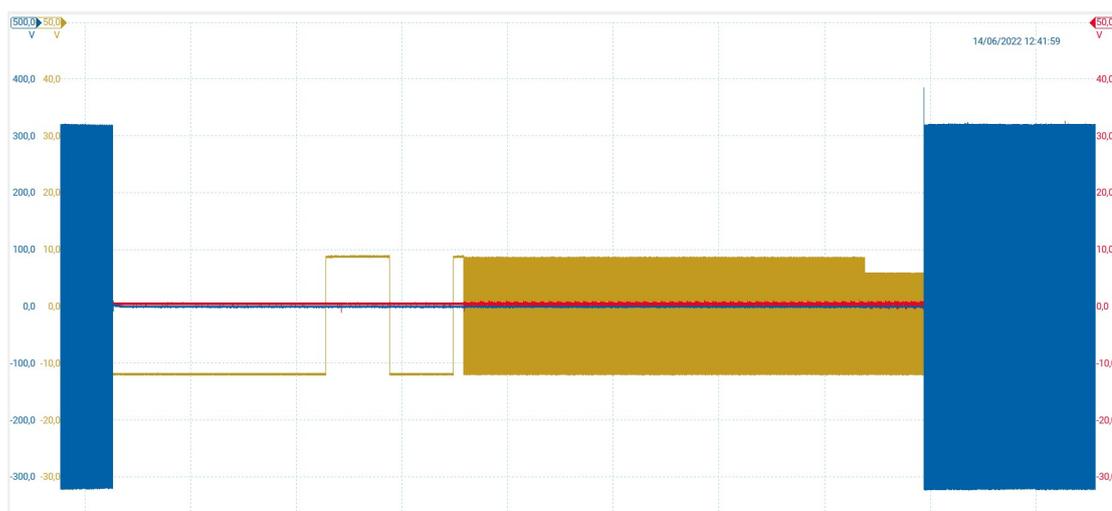


Figura 3.31. Ricarica permanente a seguito della ricarica preventiva Wallbox 1 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo B

Come si evince dai risultati riportati in 3.32, è possibile notare come tutte le grandezze raggiungono circa zero durante il blackout, e che in fase di rialimentazione della rete, in primo luogo è il segnale pilota ad assumere un cambiamento di stato, poiché responsabile di ripristinare le condizioni di carica, in modo da effettuare nuovamente la ricarica. I valori, quindi, che assume il CP, sono coerenti con la normativa e con progetto definito dai progettisti dell'EVSE stesso.

	BLACKOUT	AFTER BLACKOUT
Tensione RMS [V]	0,457	0,457
Corrente RMS [A]	0,0850	0,0850
PP media [mV]	480,00	480,00
CP media [V]	0,013	-11,89 8,82 Carica preventiva

Figura 3.32. Risultati valori ricarica durante blackout e post blackout Wallbox 1 - Veicolo B

3.1.3 Veicolo C

Il veicolo in esame presenta un OBC di potenza massima 11 kW, il quale è composto da cinque pacchi batteria e conseguentemente implementazione di dieci contattori per la connessione del circuito di ricarica. I risultati attesi da parte di questo veicolo sono legati ad una normale ricarica delle batterie con corretta successione delle fasi di essa. Dalle figure sottostanti, è possibile notare come questo non avviene.

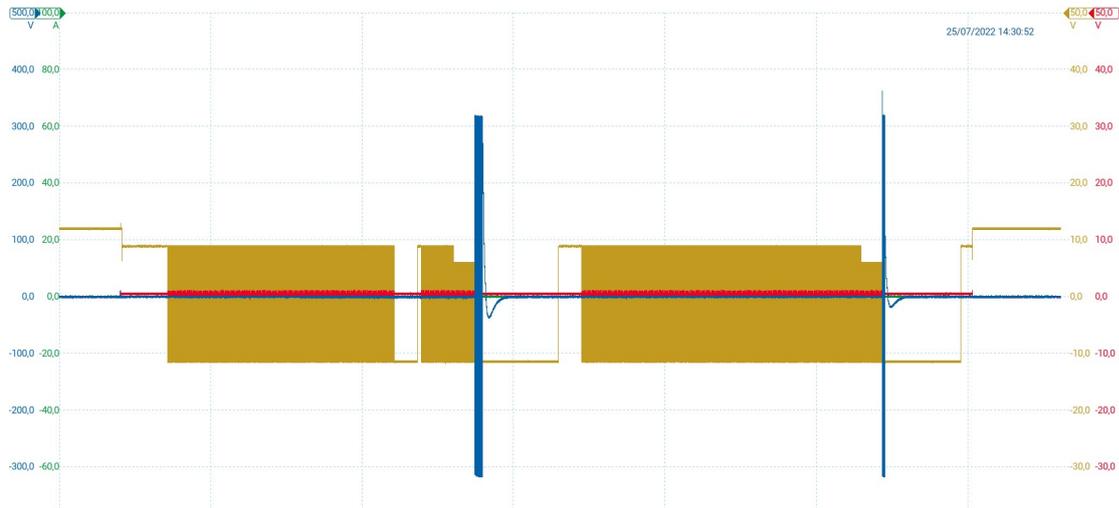


Figura 3.33. Andamento ricarica Wallbox 1 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo C

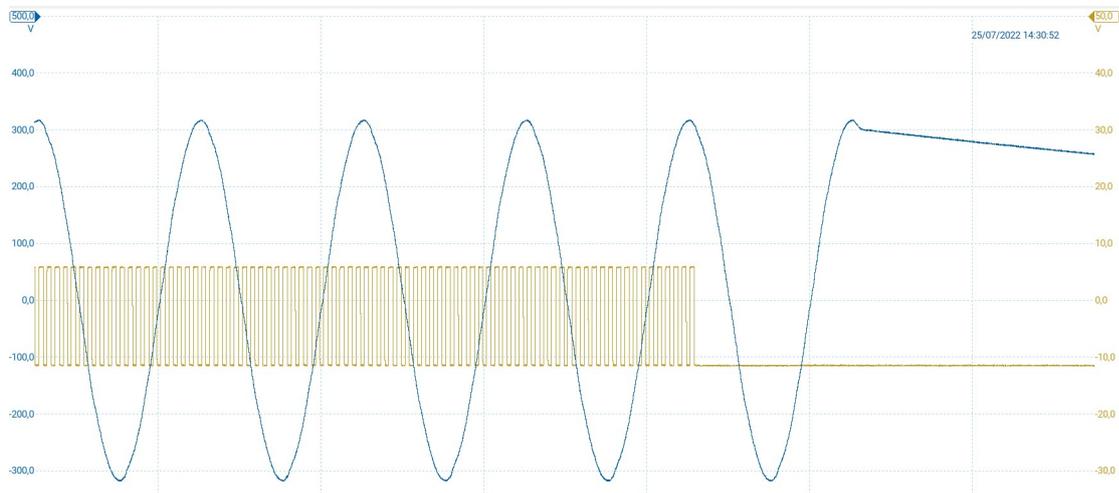


Figura 3.34. Andamento ricarica Wallbox 1 - Profilo di tensione, CP durante stato C - Veicolo C

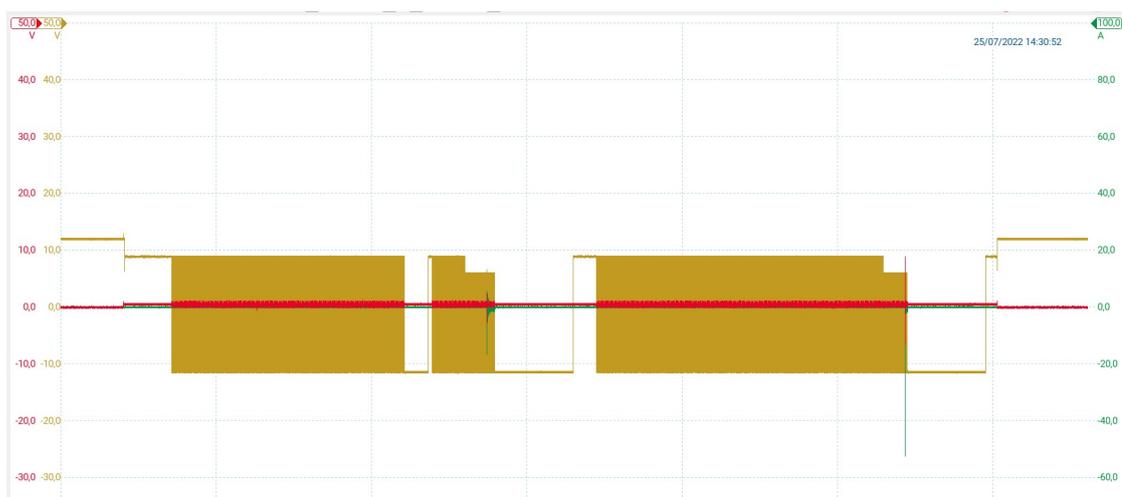


Figura 3.35. Andamento ricarica Wallbox 1 - Profilo corrente, PP, CP - veicolo C

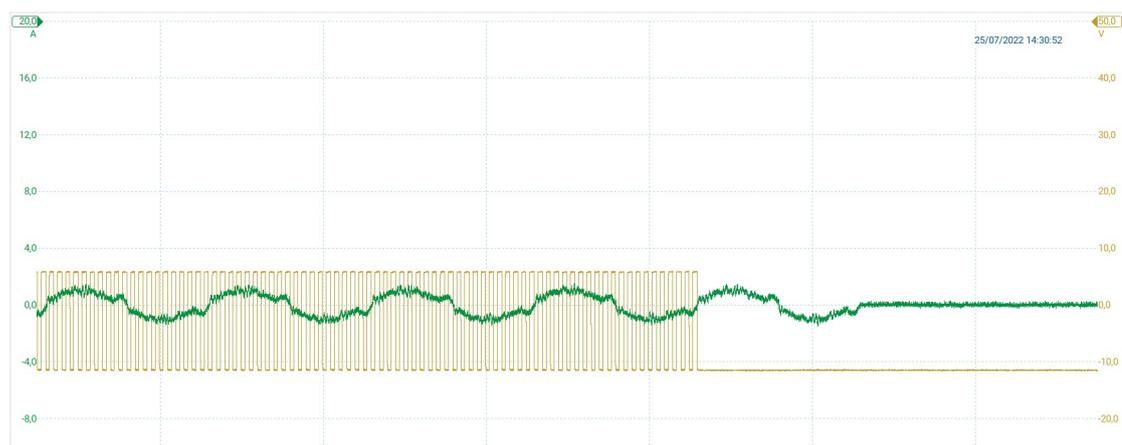


Figura 3.36. Andamento normale ricarica Wallbox 1 - Profilo di corrente, CP durante stato C - Veicolo C

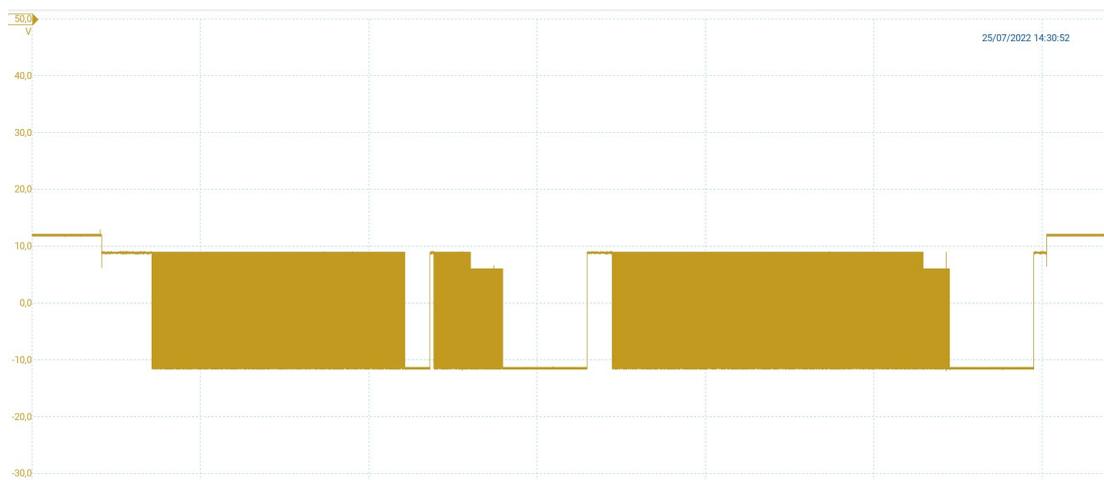


Figura 3.37. Andamento segnale pilota durante la ricarica Wallbox 1 - Veicolo C

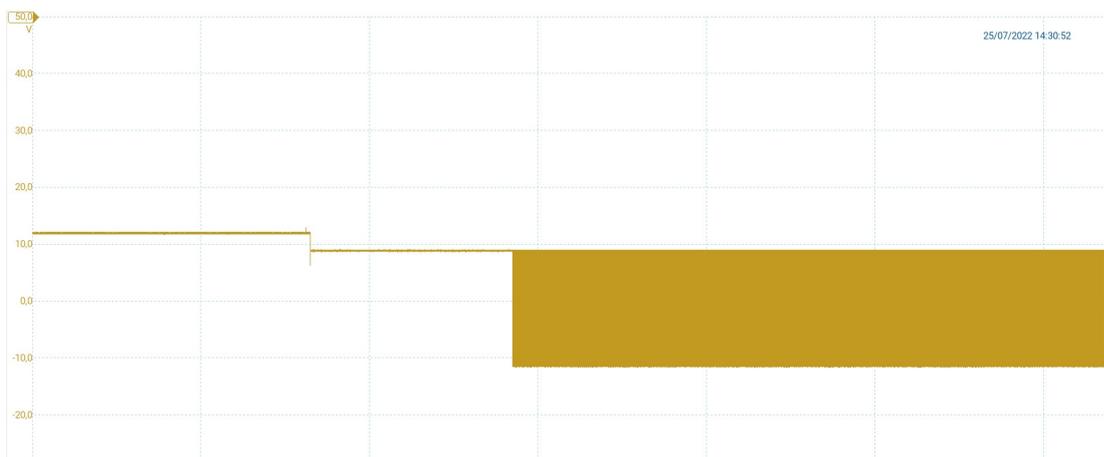


Figura 3.38. Stato A e B1 CP Wallbox 1 - Veicolo C

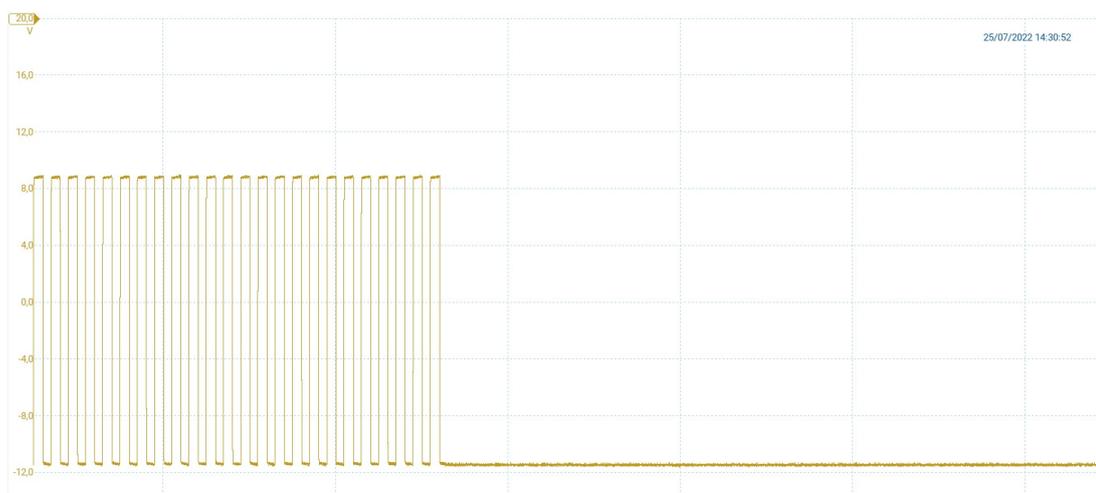


Figura 3.39. Stato B2 CP Wallbox 1 - Veicolo C



Figura 3.40. Stato C CP Wallbox 1 - Veicolo C

Definendone un'analisi dettagliata delle figure soprariportati e riportando i valori assunti dalle grandezze in 3.41, possiamo affermare:

- Analizzando il profilo di tensione, è possibile osservare come a seguito della commutazione in stato C da parte del CP, vi è un primo momento in cui l'OBC riceve in ingresso la tensione monofase, ma che successivamente ad un secondo, la tensione segue una dinamica decrescente, portando il valore di essa a circa zero;
- Per quanto concerne il profilo di corrente, in primo luogo è osservabile la presenza di picchi di corrente dovuti al circuito di precarica relativi alla chiusura dei contattori. In secondo luogo, successivamente alla chiusura, si identifica come tale profilo decresca a zero poiché il segnale pilota commuta nello stato F;
- Il segnale di prossimità commuta nel momento in cui vi è la connessione della stazione di ricarica e veicolo come da attese;
- Il segnale Control Pilot, assume diversi andamenti intrinsecamente correlato alla tre diverse prove di ricarica che la stazione di ricarica sviluppa autonomamente al fine di ricaricare il veicolo, successivamente ai fallimenti precedenti.

In primis si nota la prima carica, che raggiunge lo stato C e che negli istanti successivi assume stato F, dovuto ad un problema, il quale in prima approssimazione non definisce se a causa della stazione di ricarica o del veicolo. Successivamente la colonnina riprova con una nuova carica, ricevendo gli stessi risultati, così come la successiva terza prova.

A seguito di questo comportamento, sono stati eseguiti altri test monitorando con altri software ed applicazioni anche la rete di comunicazione dell'OBC, dai quali è emerso che il problema è legato ad un componente interno dell'OBC, il quale per motivo di segretezza non può essere affrontato in questo documento.

Naturalmente, per i risultati acquisiti, non è stato possibile eseguire il test con esame il comportamento della ricarica durante blackout.

	STATO A	STATO B1	STATO B2 Max	STATO B2 Min	STATO C Max	STATO C Min
Tensione RMS [V]	0,390	0,390	0,390	0,519	222,20	222,20
Corrente RMS [A]	0,0745	0,0745	0,0745	0,0196	1,03	1,03
PP media [mV]	-12,62	468,40	468,40	468,40	468,40	468,40
CP media [V]	11,98	9,10	9,10	-11,61	6,09	-11,59
CP frequenza [Hz]	//	//	1002,00	1002,00	1002,00	1002,00
CP Duty Cycle [%]	//	//	50,00	50,00	53,30	53,30

Figura 3.41. Risultati valori ricarica Wallbox 1 - Veicolo C

3.2 Wallbox 2

Questa stazione di ricarica permette di ricaricare i veicoli sia in monofase che in trifase, agendo su un rotary switch presente al suo interno. I test di seguito riportati sono stati eseguiti con l'EVSE impostata trifase, ma disalimentando tramite BOB le fasi L2 ed L3. Questo al fine di valutare anche delle eventuali dinamiche differenti dal normale funzionamento di carica.

Per quanto concerne il comportamento durante il blackout, tale stazione di ricarica, ha al suo interno dei condensatori, i quali sono incaricati di immagazzinare energia durante situazioni come, appunto, il blackout, al fine del monitoraggio della ricarica, in modo da ottimizzare od esaminare i dati al fine di risolvere delle problematiche connesse ad essa.

3.2.1 Veicolo A

L'OBC in esame ha una potenza massima di ingresso di 7 kW, ed il test è stato effettuato con una corrente di ricarica di 10 A, per una potenza di ricarica di 2.3 kW circa.

Le misure sono state realizzate con una frequenza di campionamento di 100 kHz, di cui di seguito sono riportati in primis l'andamento generale del normale funzionamento, in secondo luogo gli andamenti delle grandezze durante il blackout.

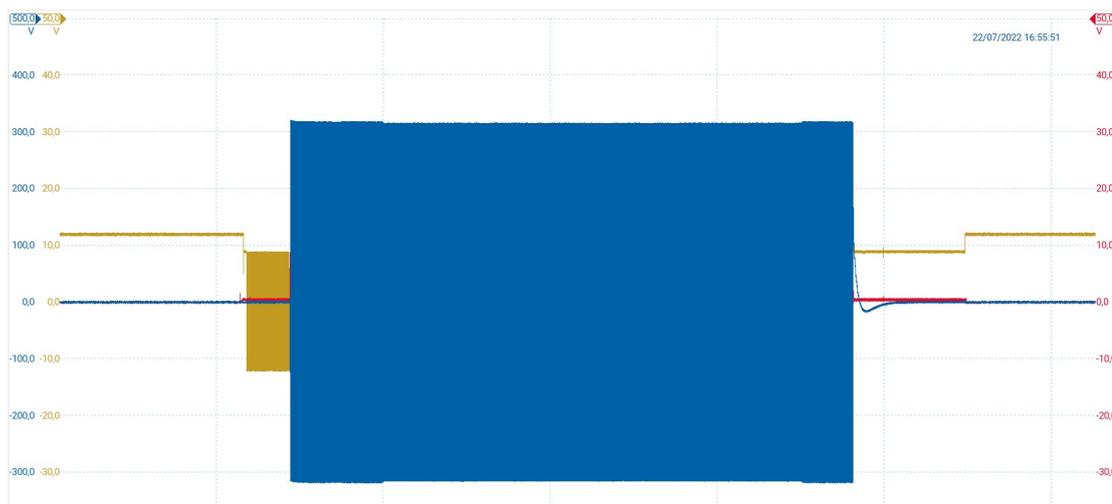


Figura 3.42. Andamento ricarica Wallbox 2 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo A

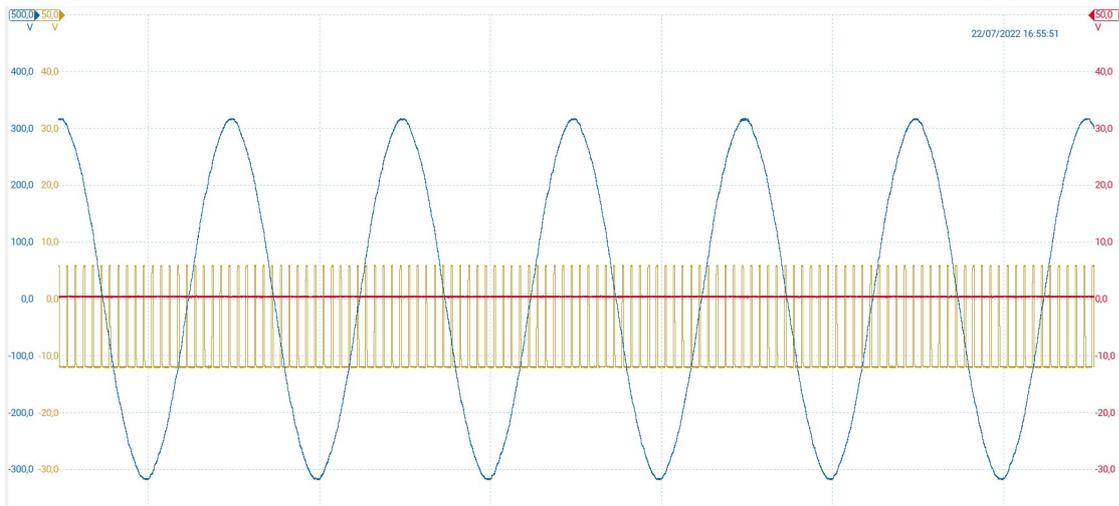


Figura 3.43. Andamento ricarica Wallbox 2 - Profilo di tensione, PP, CP durante stato C - Veicolo A

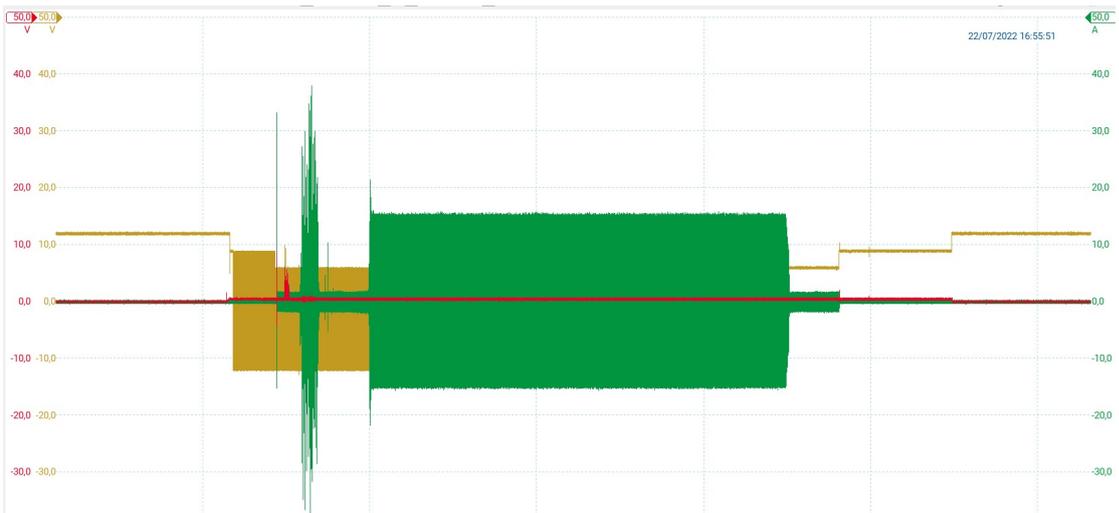


Figura 3.44. Andamento ricarica Wallbox 2 - Profilo corrente, PP, CP - veicolo A

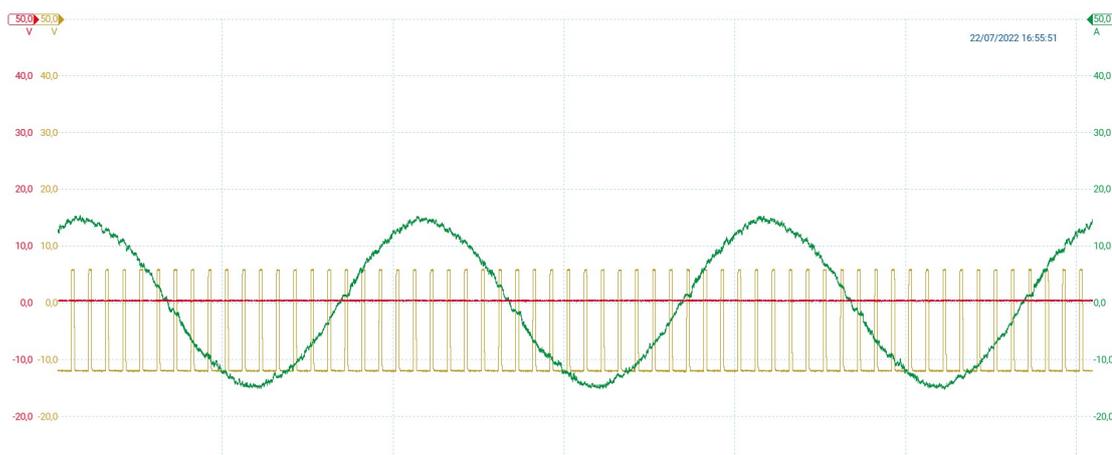


Figura 3.45. Andamento ricarica Wallbox 2 - Profilo di corrente, PP, CP durante stato C - Veicolo A

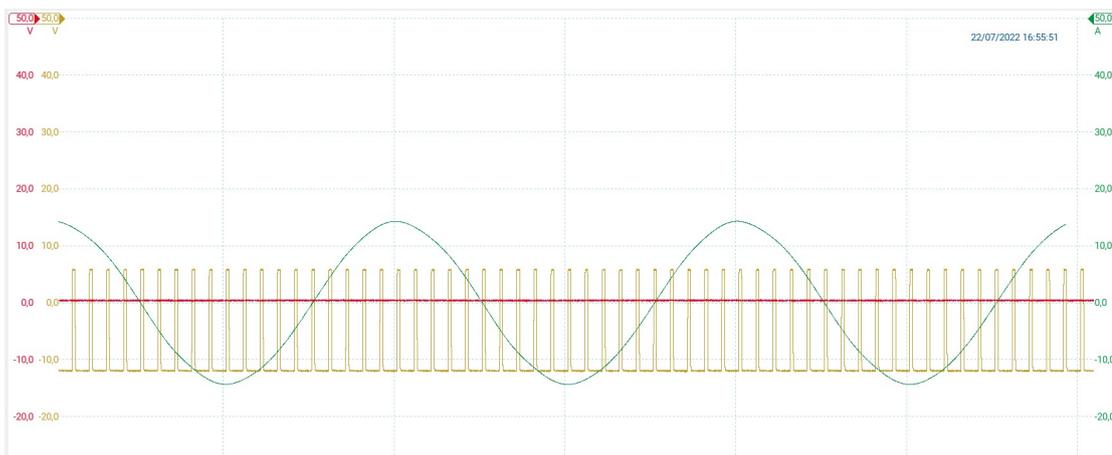


Figura 3.46. Andamento ricarica Wallbox 2 - Profilo di corrente, PP, CP con filtro passa basso a 150 Hz durante stato C - Veicolo A

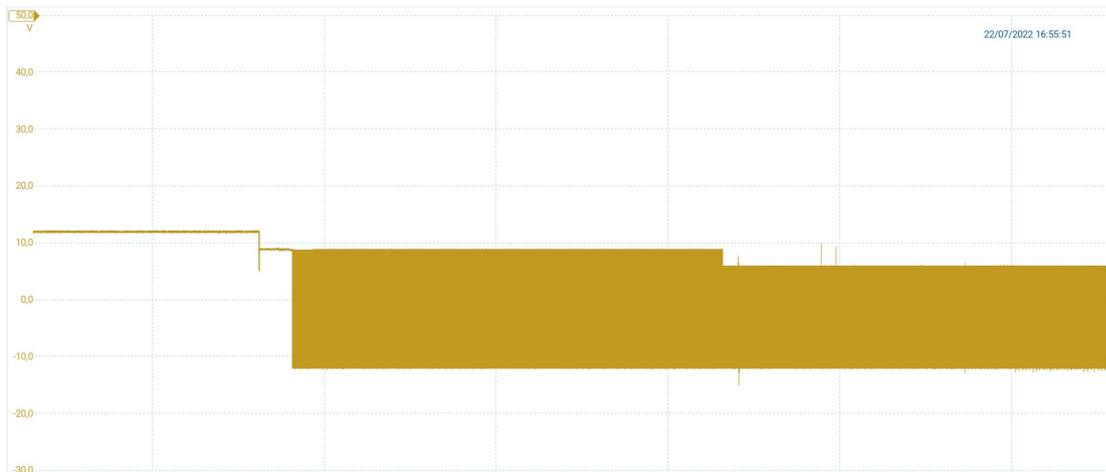


Figura 3.47. Andamento segnale pilota durante la ricarica Wallbox 2 - Veicolo A

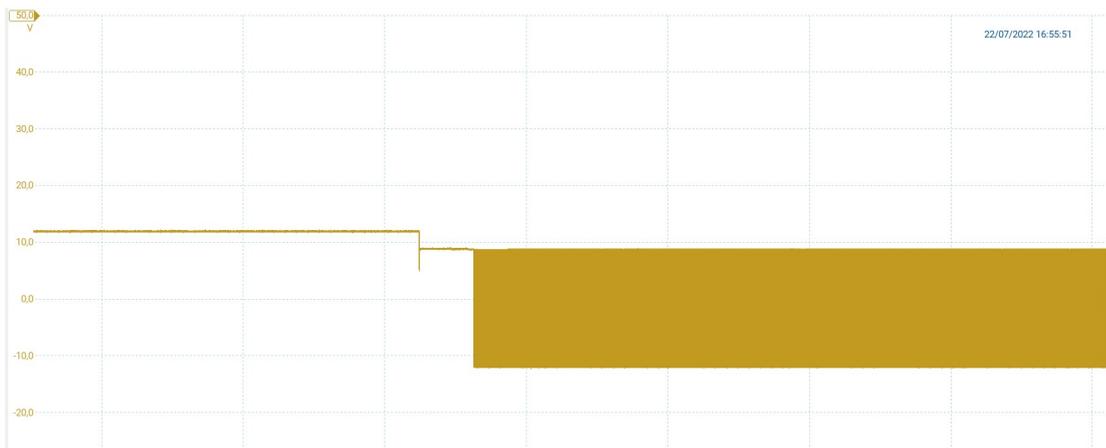


Figura 3.48. Stato A e B1 CP Wallbox 2 - Veicolo A

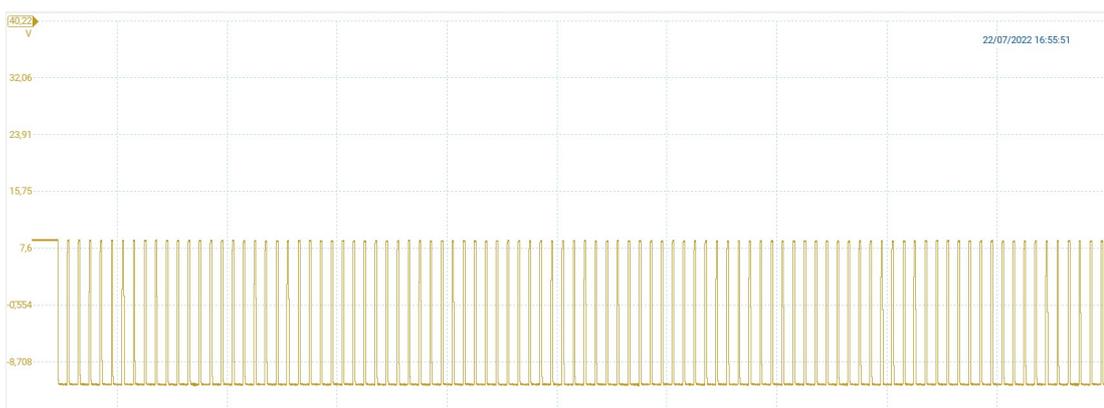


Figura 3.49. Stato B2 CP Wallbox 2 - Veicolo A

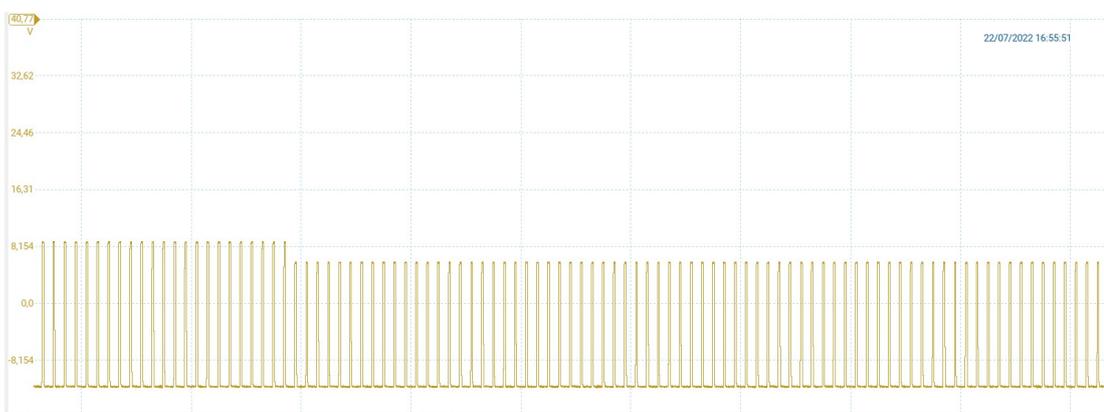


Figura 3.50. Stato C CP Wallbox 2 - Veicolo A

Definendone un'analisi dettagliata delle figure soprariportati e riportando i valori assunti dalle grandezze in 3.51, possiamo affermare:

- Il profilo di tensione è consono ad i test effettuati in precedenza;
- Il profilo di corrente presenta il disturbo armonico data dalla terza armonica, di cui in seguito è riportato l'andamento con un filtro passa basso con frequenza di taglio a 150 Hz in figura 3.46. È osservabile come nonostante il filtro, l'andamento risulta scarso a causa del regolatore digitale all'interno della wallbox, il quale non corregge in todo l'errore di corrente a causa della frequenza di dimensionamento per cui è stato progettato;
- Il profilo del segnale di prossimità assume un cambiamento di stato nel momento in cui avviene la connessione EVSE-veicolo, come d'attesa;
- Il segnale pilota assume coerentemente alla norma IEC 61851, tutti i vari stati caratterizzanti la ricarica, con la presenza di alcuni picchi di tensione, i quali sono identificati come disturbi durante i test, per via di una inconveniente vicinanza tra cavo di sonda e cavo di potenza.

È osservabile il cambiamento di stato da stato A in B1, in cui la stazione non è capace ad erogare potenza e successivamente con l'accensione del segnale PWM - cambiando in stato B2 - l'EVSE risulta pronto ad erogare energia, ma resta in attesa di autorizzazione da parte del veicolo, il quale autorizzando commuta il CP in stato C, definendone il duty cycle coerentemente al valore di corrente di carica.

	BLACKOUT	AFTER BLACKOUT
Tensione RMS [V]	0,457	0,386
Corrente RMS [A]	0,0850	0,1180
PP media [mV]	480,00	480,00
CP media [V]	0,013 '5,89 8,768 Scarica condensatori fino a 1.2 5,712 Andamento decescente fino a 1.3 -0,0278	8,888 Ripresa ricarica

Figura 3.51. Risultati valori ricarica Wallbox 2 - Veicolo A

Il comportamento atteso durante il blackout è di una dinamica decrescente di tutte le grandezze elettriche nel momento in cui si verifica il blackout, dinamica ulteriore del CP dovuta alla scarica dei condensatori e ricarica corretta a seguito della rialimentazione della colonnina da parte della rete.

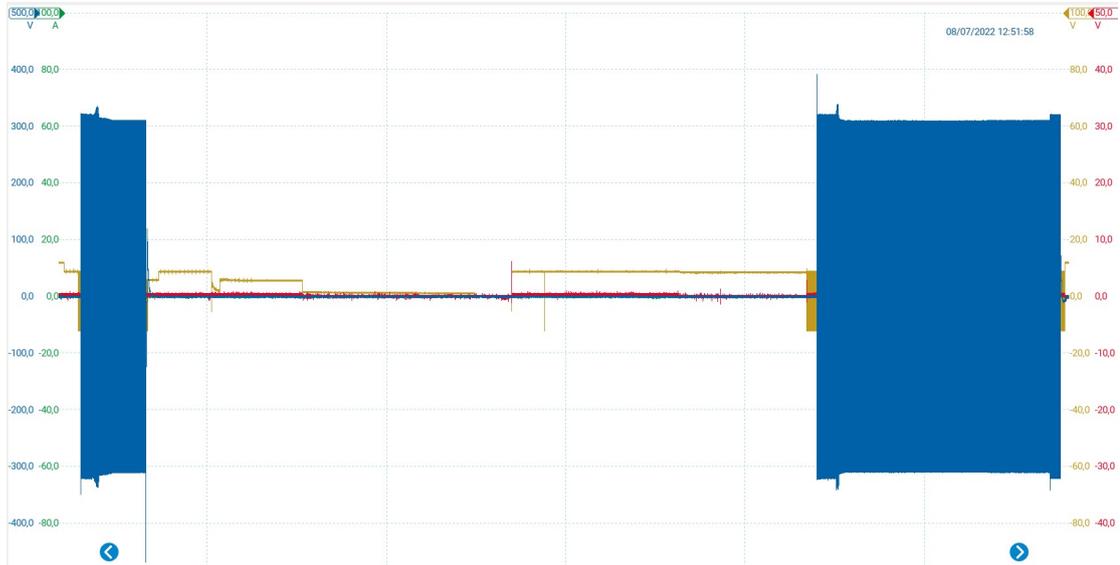


Figura 3.52. Andamento ricarica durante blackout Wallbox 2 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo A

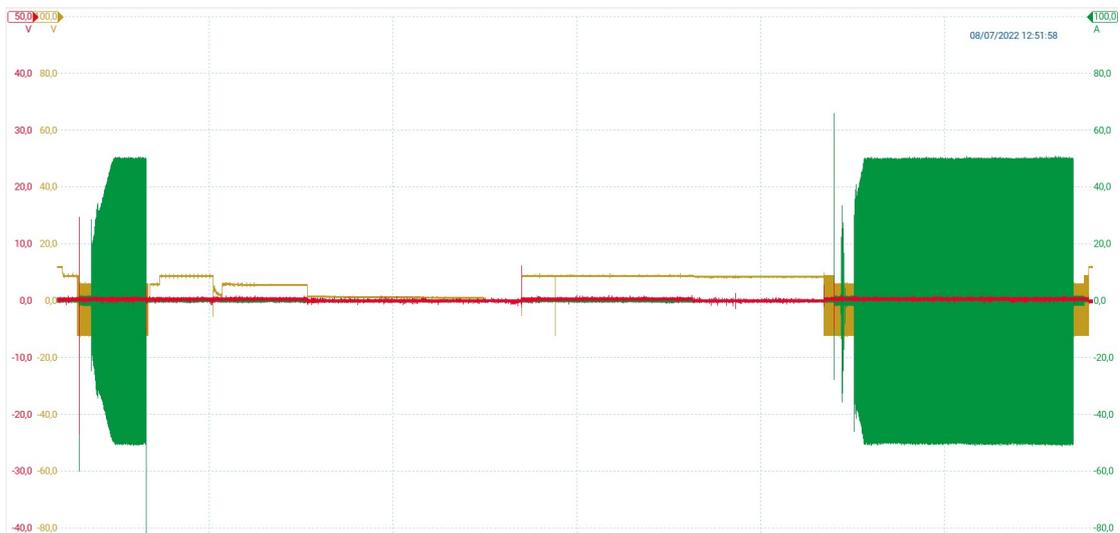


Figura 3.53. Andamento ricarica durante blackout Wallbox 2 - Profilo corrente, PP, CP - Veicolo A

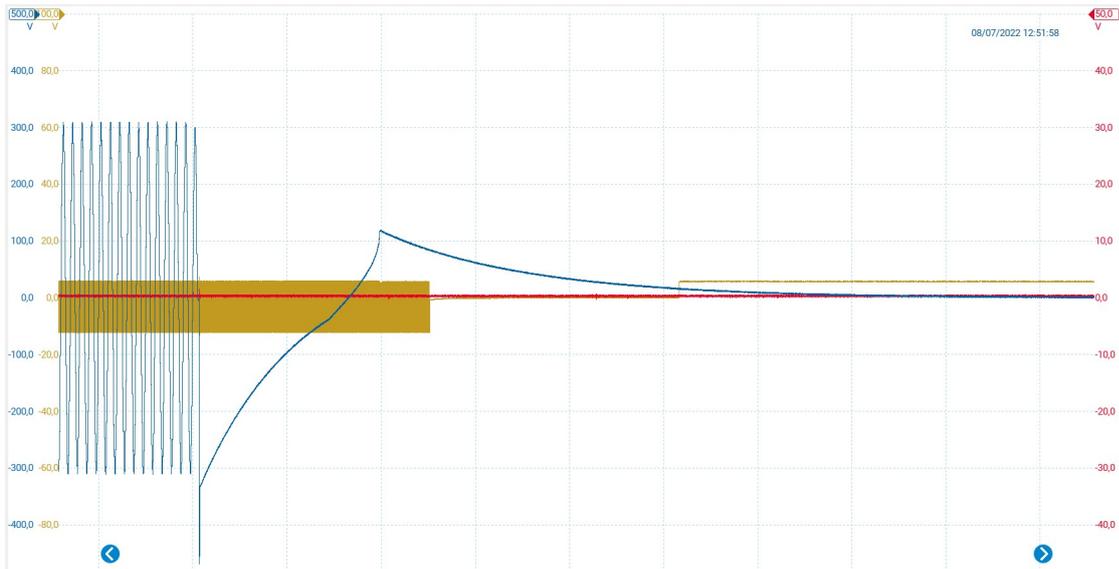


Figura 3.54. Comportamento in assenza di alimentazione da parte della rete alla stazione di ricarica Wallbox 2 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo A

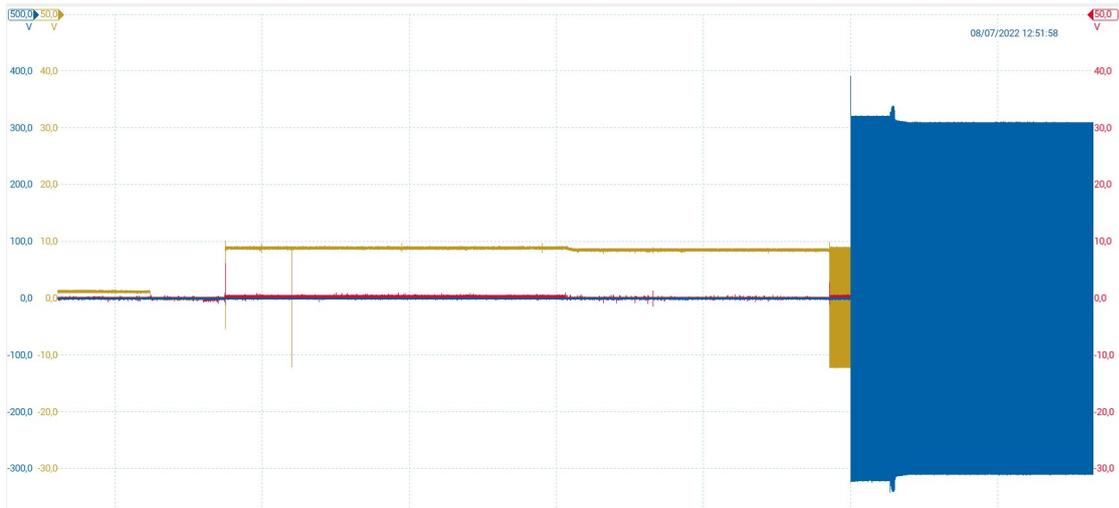


Figura 3.55. Comportamento del ritorno dell'alimentazione da parte della rete alla stazione di ricarica Wallbox 2- Profilo tensione, PP, CP - Veicolo A



Figura 3.56. Andamento segnale pilota durante la fase di Blackout Wallbox 2 - Veicolo A

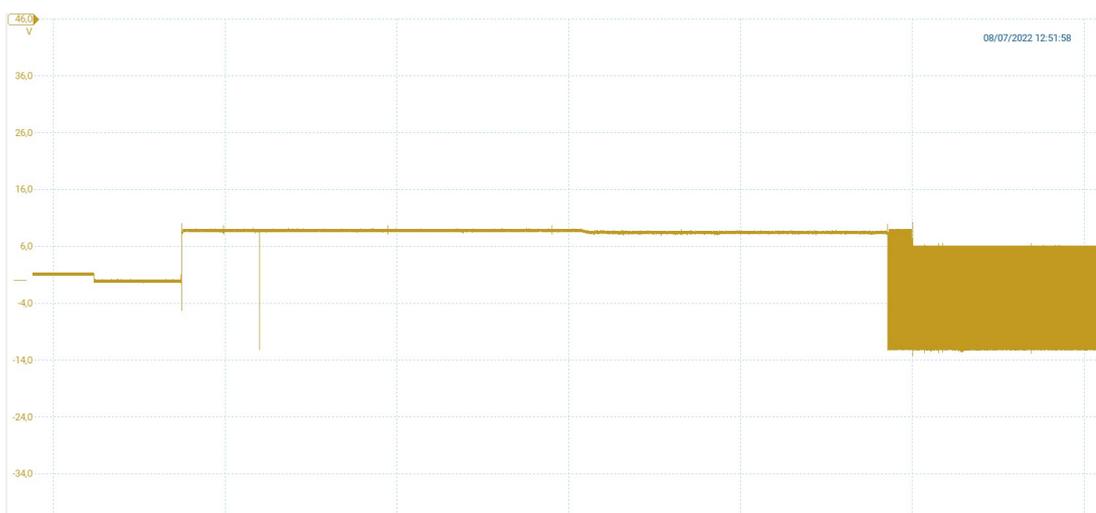


Figura 3.57. Andamento segnale pilota durante la fase di post Blackout Wallbox 2 - Veicolo A

Come si evince dai risultati riportati in 3.58, è possibile notare come tutte le grandezze raggiungono circa zero durante la fase di blackout, a meno di picchi sul segnale pilota, dovuti appunto alla disalimentazione, ma che in fase di rialimentazione della rete, è solo il segnale pilota ad assumere delle variazioni diverse da zero, poiché responsabile di ripristinare la ricarica.

	BLACKOUT	AFTER BLACKOUT
Tensione RMS [V]	0,457	0,386
Corrente RMS [A]	0,0850	0,1180
PP media [mV]	480,00	480,00
CP media [V]	0,013	5,89 8,768 Scarica condensatori fino a 1.2 5,712 Andamento decrescente fino a 1.3 -0,0278 8,888 Ripresa ricarica

Figura 3.58. Risultati valori ricarica durante blackout e post blackout Wallbox 2 - Veicolo A

3.2.2 Veicolo B

Per questo veicolo, è importante ricordare la presenza dei picchi di corrente dovuto alla chiusura dei sei contattori. Il valore di corrente a cui è stato eseguito il test è stato di 32 A con una frequenza di campionamento di 100 kHz.

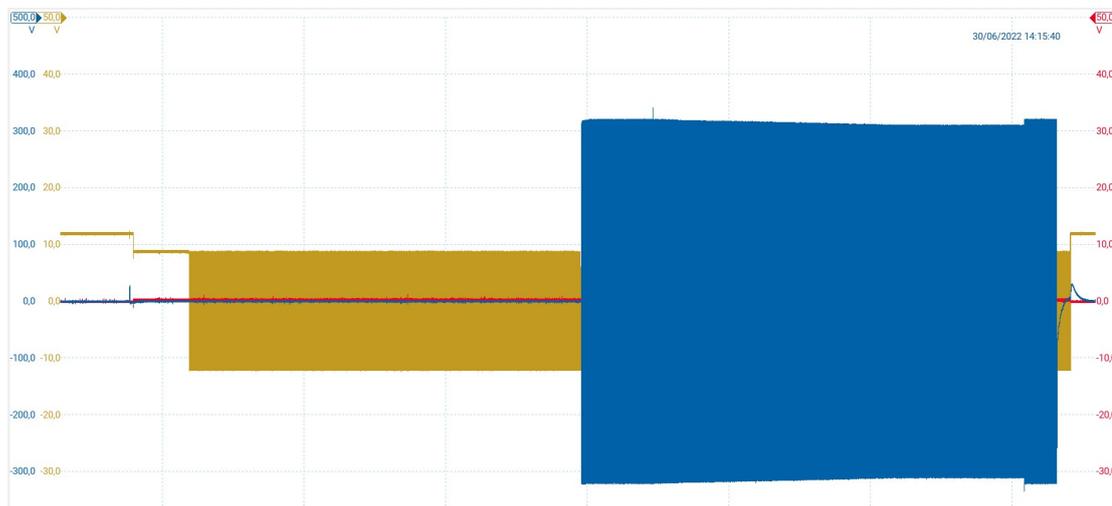


Figura 3.59. Andamento ricarica Wallbox 2 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo B

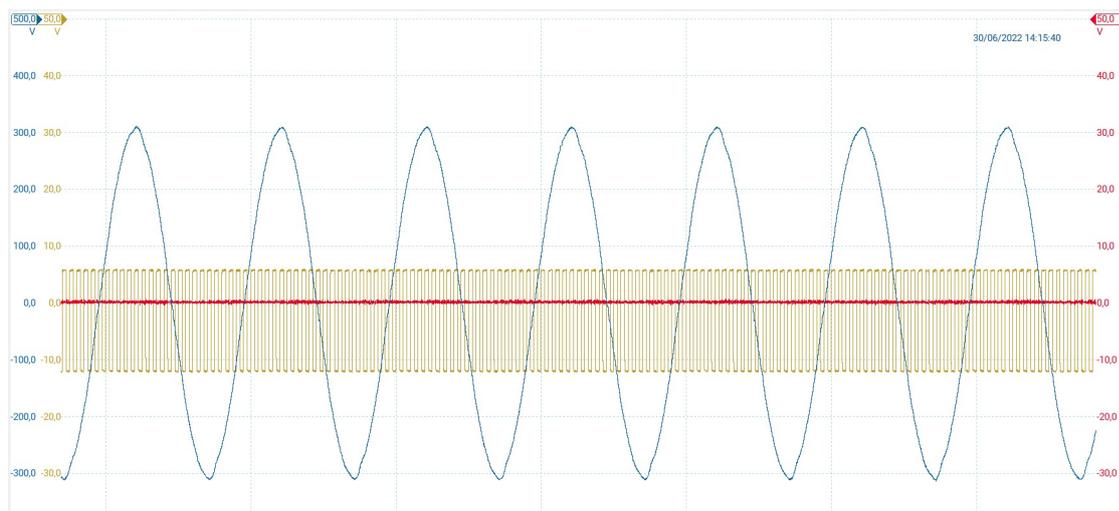


Figura 3.60. Andamento ricarica Wallbox 2 - Profilo di tensione, PP, CP durante stato C - Veicolo B

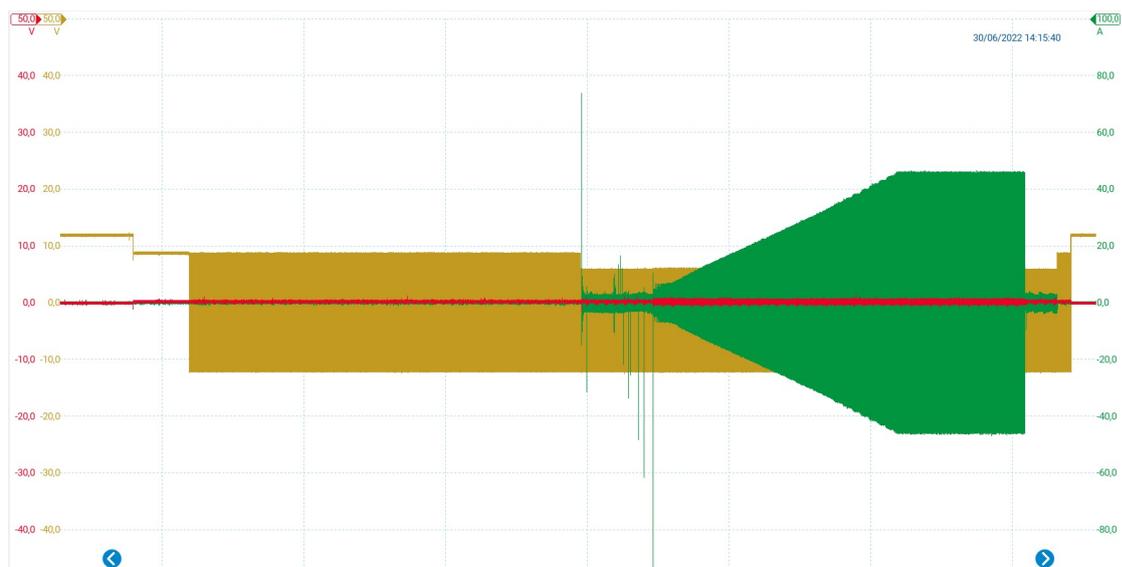


Figura 3.61. Andamento ricarica Wallbox 2 - Profilo corrente, PP, CP - veicolo B

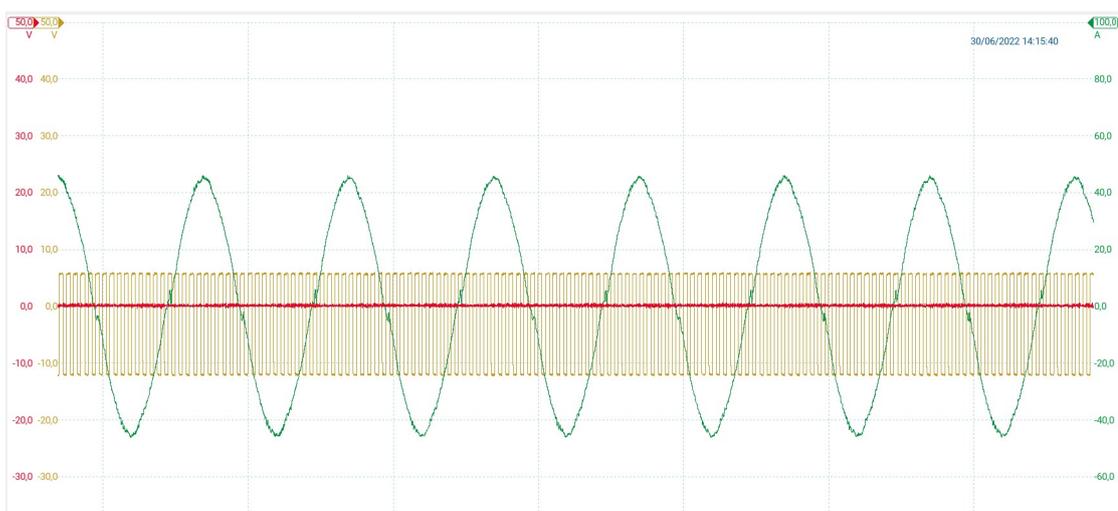


Figura 3.62. Andamento ricarica Wallbox 2 - Profilo di corrente, PP, CP durante stato C - Veicolo B

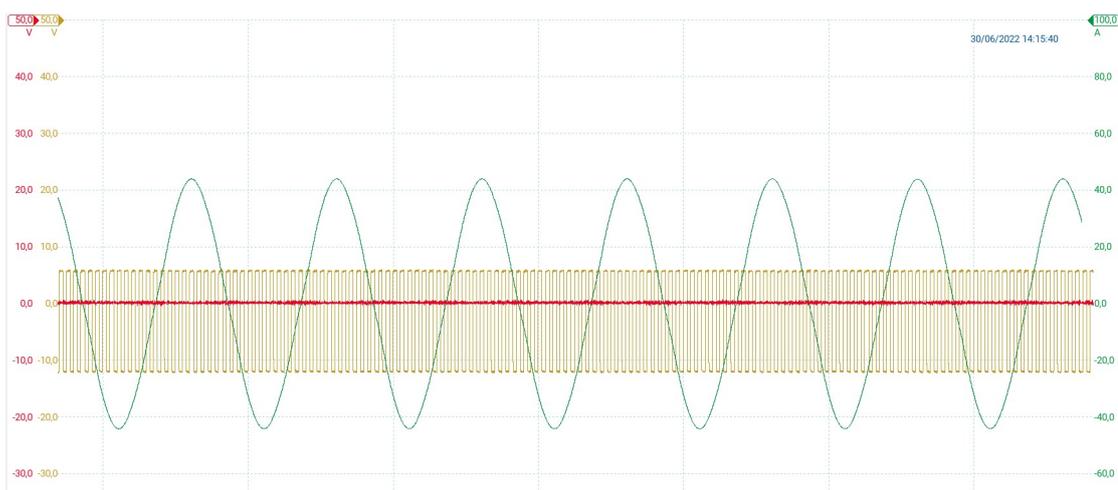


Figura 3.63. Andamento ricarica Wallbox 2 - Profilo di corrente, PP, CP con filtro passa basso a 150 Hz durante stato C - Veicolo B

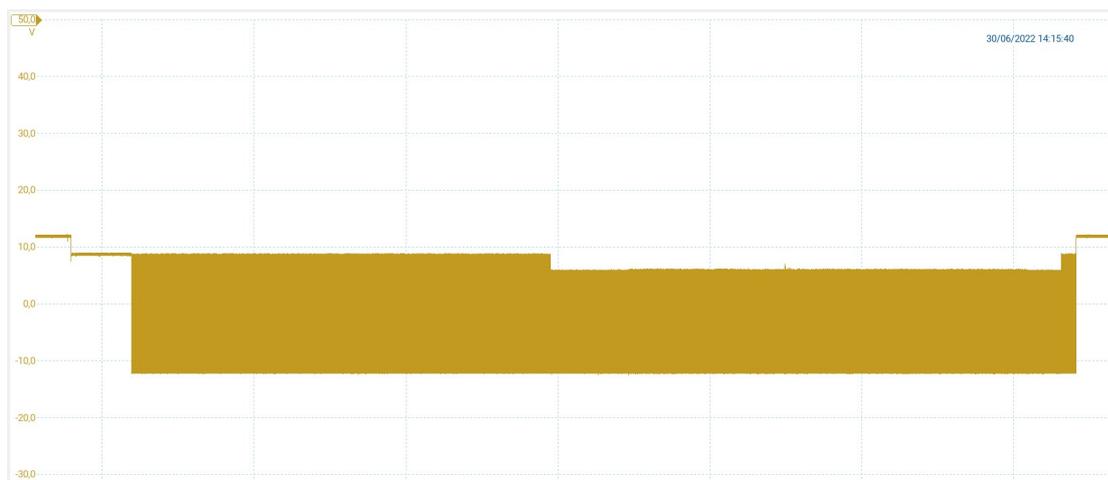


Figura 3.64. Andamento segnale pilota durante la ricarica Wallbox 2 - Veicolo B



Figura 3.65. Stato A e B1 CP Wallbox 2 - Veicolo B



Figura 3.66. Stato B2 CP Wallbox 2 - Veicolo B



Figura 3.67. Stato C CP Wallbox 2 - Veicolo B

Definendone un'analisi dettagliata delle figure soprariportati e riportando i valori assunti dalle grandezze in 3.68, possiamo affermare:

- Il profilo di tensione presenta un corretto andamento con ottima qualità della forma d'onda, caratterizzato dai picchi motivati precedentemente;
- Il profilo di corrente, a differenza di quello di tensione, risulta affetto da disturbi armonici, dato dalla presenza della terza armonica, ed infatti simulando un filtro passa basso con frequenza di taglio di 150 Hz si osserva un andamento decisamente migliore in termini di contenuto armonico, riportato in figura 3.63;
- Il profilo del segnale di prossimità assume un cambiamento di stato nel momento in cui avviene la connessione EVSE-veicolo, come d'attesa;
- Il segnale pilota assume coerentemente alla norma IEC 61851, tutti i vari stati caratterizzanti la ricarica. È osservabile il cambiamento di stato in B1, in cui la stazione non autorizza la fornitura di energia e successivamente con l'accensione del segnale PWM - cambiando in stato B2 - l'EVSE è pronto ad erogare potenza, ma resta in attesa di autorizzazione del veicolo, il quale autorizzando commuta il CP in stato C, definendone il duty cycle coerentemente al valore di corrente di carica.

	STATO A	STATO B1	STATO B2 Max	STATO B2 Min	STATO C Max	STATO C Min
Tensione RMS [V]	0,393	0,393	0,393	0,393	215,7	217,5
Corrente RMS [A]	0,1110	0,1110	0,1110	0,1110	30,99	30,99
PP media [mV]	-30,42	200,10	200,10	200,10	200,10	451,00
CP media [V]	11,95	8,88	8,92	-12,38	6,211	-12,25
CP frequenza [Hz]	//	//	1001,00	1001,00	1001,00	1001,00
CP Duty Cycle [%]	//	//	50,00	50,00	50,52	50,52

Figura 3.68. Risultati valori ricarica Wallbox 2 - Veicolo B

Il comportamento atteso durante il blackout è di una dinamica decrescente di tutte le grandezze elettriche nel momento in cui si verifica il blackout, dinamica ulteriore del CP dovuta alla scarica dei condensatori e ricarica corretta a seguito della rialimentazione della colonnina da parte della rete.

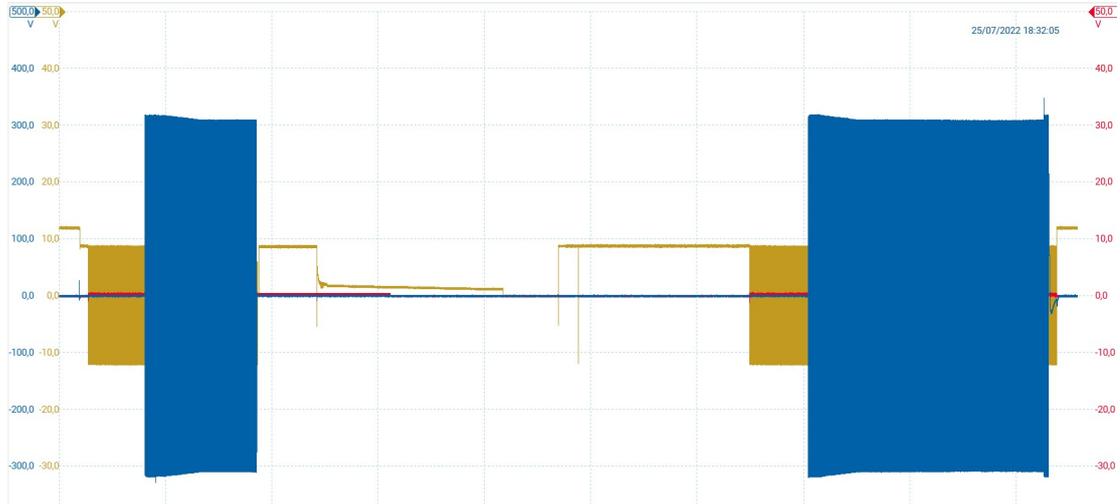


Figura 3.69. Andamento ricarica durante blackout Wallbox 2 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo B



Figura 3.70. Andamento ricarica durante blackout Wallbox 2 - Profilo corrente, PP, CP - Veicolo B

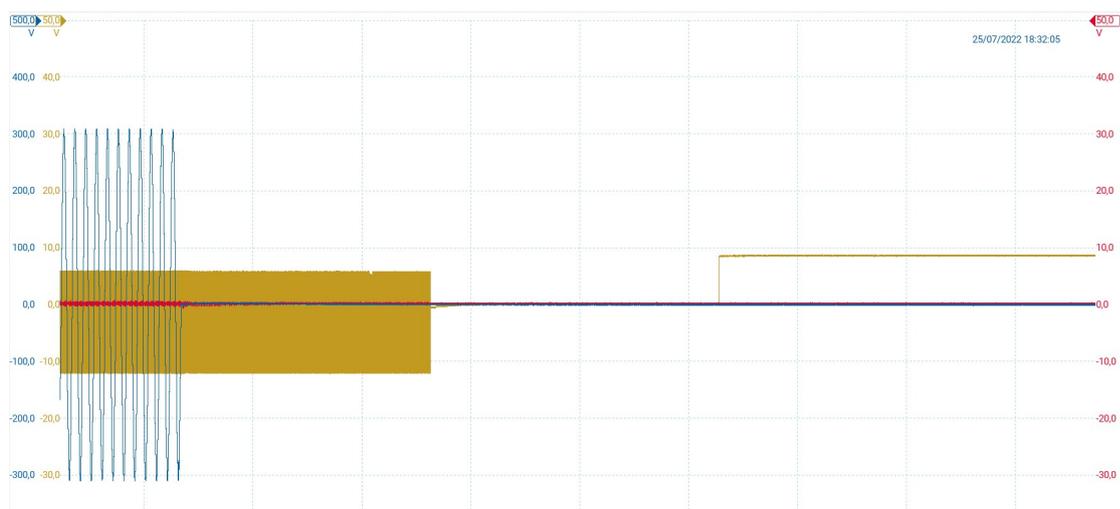


Figura 3.71. Comportamento in assenza di alimentazione da parte della rete alla stazione di ricarica Wallbox 2 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo B

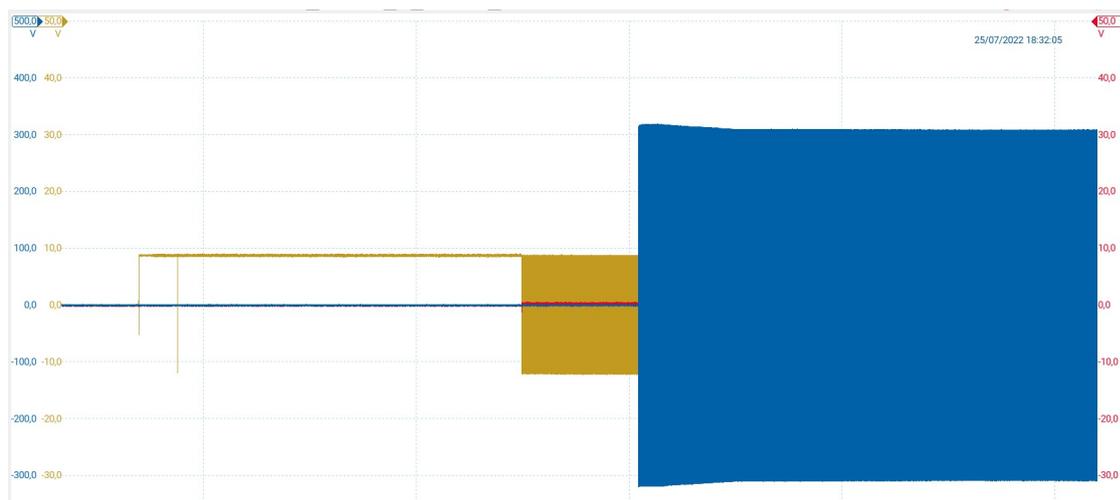


Figura 3.72. Comportamento del ritorno dell'alimentazione da parte della rete alla stazione di ricarica Wallbox 2 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo B

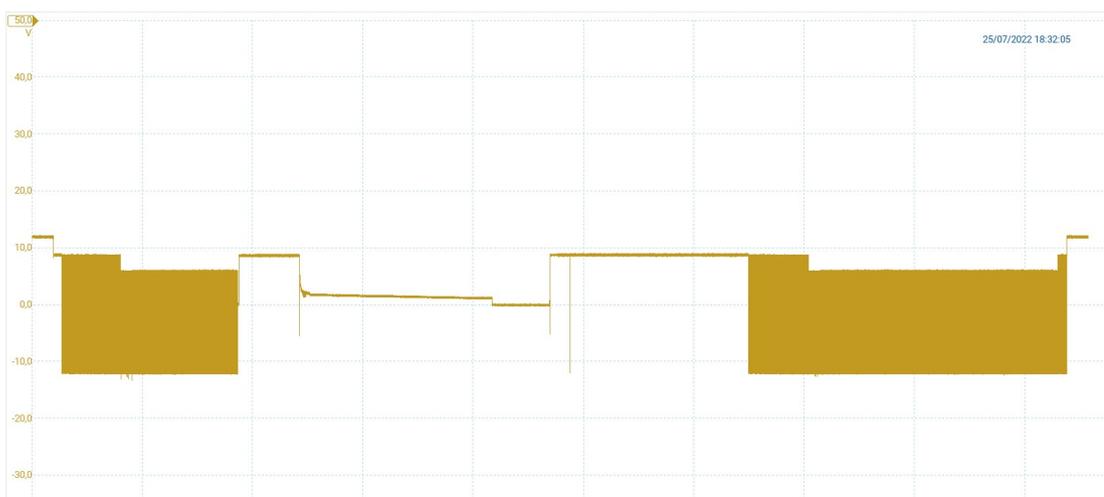


Figura 3.73. Andamento segnale pilota Wallbox 2 - Veicolo B



Figura 3.74. Andamento segnale pilota durante blackout Wallbox 2 - Veicolo B

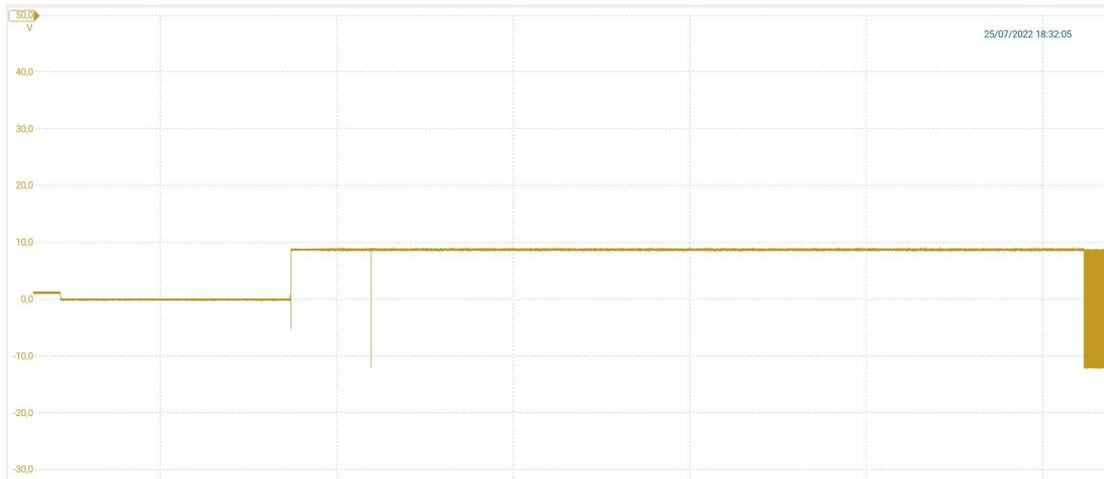


Figura 3.75. Andamento segnale pilota post blackout Wallbox 2 - Veicolo B

Come si evince dai risultati riportati in 3.76, è possibile notare come tutte le grandezze raggiungono circa zero durante il blackout, ma che in fase di rialimentazione della rete, è solo il segnale pilota ad assumere delle variazioni diverse da zero, poiché responsabile di ripristinare la ricarica. I valori assunti dal CP, sono coerenti con la normativa e con progetto definito dai progettisti dell'EVSE stesso.

	BLACKOUT	AFTER BLACKOUT
Tensione RMS	0,387	0,387
Corrente RMS	72,60	72,60
PP media [mV]	220,00	220,00
CP media [V]	0,205 8,665 Scarica condensatori fino a 2,002 Andamento decrescente fino a 1,185 -0,0139	8,781 Ripresa ricarica

Figura 3.76. Risultati valori ricarica durante blackout e post blackout Wallbox 2 - Veicolo B

3.2.3 Veicolo C

Vista la potenza di dimensionamento dell'OBC presente su questo veicolo, ovvero di 11 kW, è stato possibile ricaricare il veicolo con una potenza di fase di 7 kW circa, eseguendo il test ad una frequenza di 100 kHz, di cui di seguito sono riportati l'andamento delle grandezze durante il normale funzionamento.

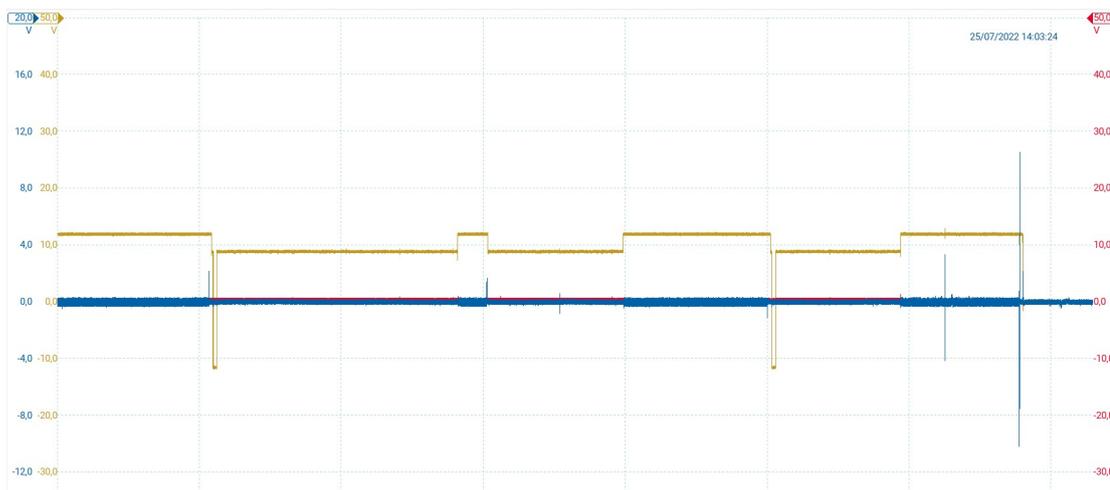


Figura 3.77. Andamento ricarica Wallbox 2 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo C

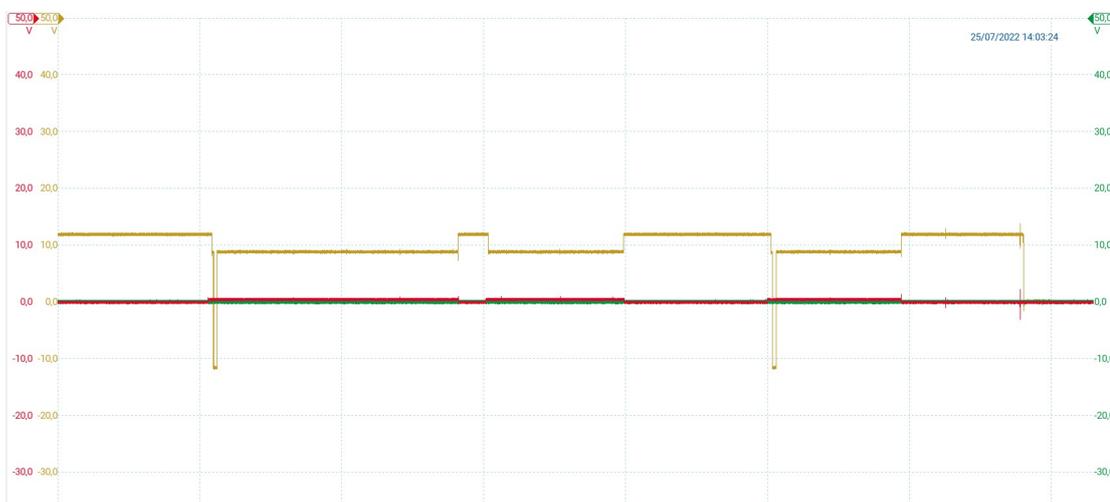


Figura 3.78. Andamento ricarica Wallbox 2 - Profilo corrente, PP, CP - Veicolo C

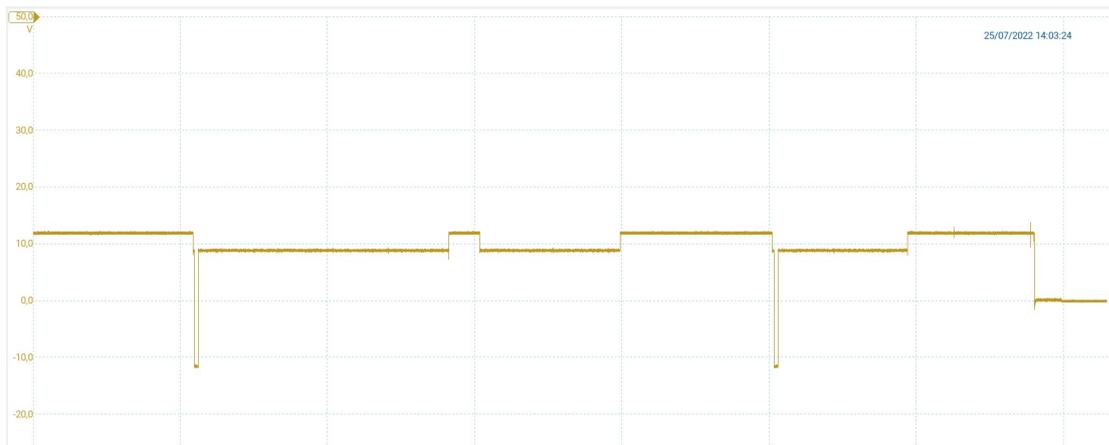


Figura 3.79. Andamento segnale pilota Wallbox 2 - Veicolo C



Figura 3.80. Stato A e B1 segnale pilota Wallbox 2 - Veicolo C



Figura 3.81. Stato B2 segnale pilota Wallbox 2 - Veicolo C

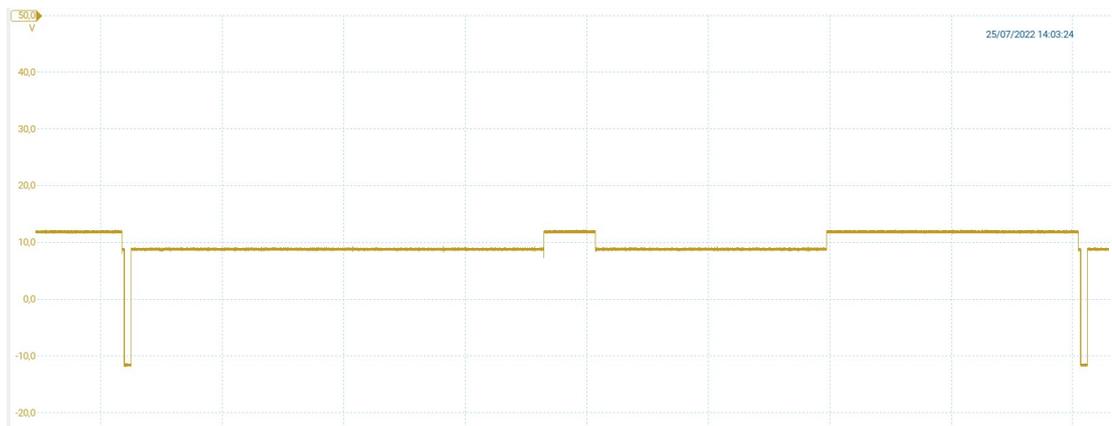


Figura 3.82. Tentativo autonomo di ricarica Wallbox 2 - Veicolo C

Definendone un'analisi dettagliata delle figure soprariportati e riportando i valori assunti dalle grandezze in 3.83, possiamo affermare:

- Il profilo di tensione risulta essere sempre nell'intorno di zero, poiché lo stato della ricarica non commuta in stato C, non sottoponendo l'OBC ad una tensione di ingresso per fallita ricarica;
- Il profilo di corrente resta, come per quello di tensione, nell'intorno di zero per le stesse motivazioni;
- Il profilo del segnale di prossimità assume un cambiamento di stato nel momento in cui avviene la connessione EVSE-veicolo, come d'attesa;
- Il segnale pilota assume coerentemente alla normativa, lo stato A, stato B1 a seguito della connessione del cavo di ricarica con il veicolo e stato B2, coerentemente alla condizione della stazione di ricarica di fornire energia. A seguito di tale stato, il comportamento atteso è che commuti in stato C, ma il CP commuta in stato F poiché vi è un'incompatibilità tra stazione di ricarica e veicolo.

	STATO A	STATO B1	STATO B2 Max	STATO B2 Min	STATO C Max	STATO C Min
Tensione RMS [V]	0,114	0,114	0,114	0,114	La stazione di ricarica non commuta in stato C	
Corrente RMS [A]	76,61	76,61	76,61	76,61		
PP media [mV]	-26,66	453,00	453,00	453,00		
CP media [V]	11,94	8,85	8,86	-11,67		
CP frequenza [Hz]	//	//	1006,0	1006,0		
CP Duty Cycle [%]	//	//	50,00	50,00		

Figura 3.83. Risultati valori ricarica Wallbox 2 - Veicolo C

Naturalmente anche con questa stazione, non è stato eseguito il test di funzionamento durante una situazione di blackout.

3.3 Wallbox 3

Questa stazione di ricarica permette di ricaricare i veicoli sia in monofase, che trifase, a seconda degli adattatori da interfacciare con la rete, connessi ad essa. Per una ricarica monofase, per esempio, si connette un adattatore a shucko, il quale permette la connessione ad una presa domestica. Stesso principio per quanto riguarda l'adattatore penta polare, il quale consente la ricarica con tutti i livelli di corrente, dai 6 (corrente minima) ai 32 (corrente massima), con tipologia trifase.

Per quanto concerne il comportamento durante il blackout e post blackout, il comportamento atteso è di avere le grandezze analizzate nell'intorno di zero durante la fase di mancata alimentazione, ed un andamento di ricarica normale durante la fase di post blackout.

3.3.1 Veicolo A

Per questo OBC si è adottata una ricarica monofase con presa shucko con corrente di carica di 13 A, e le misure sono state realizzate con una frequenza di campionamento di 100 kHz. Di seguito sono riportati in primis l'andamento generale del normale funzionamento, in secondo luogo gli delle grandezze in fase di blackout e post.



Figura 3.84. Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo A

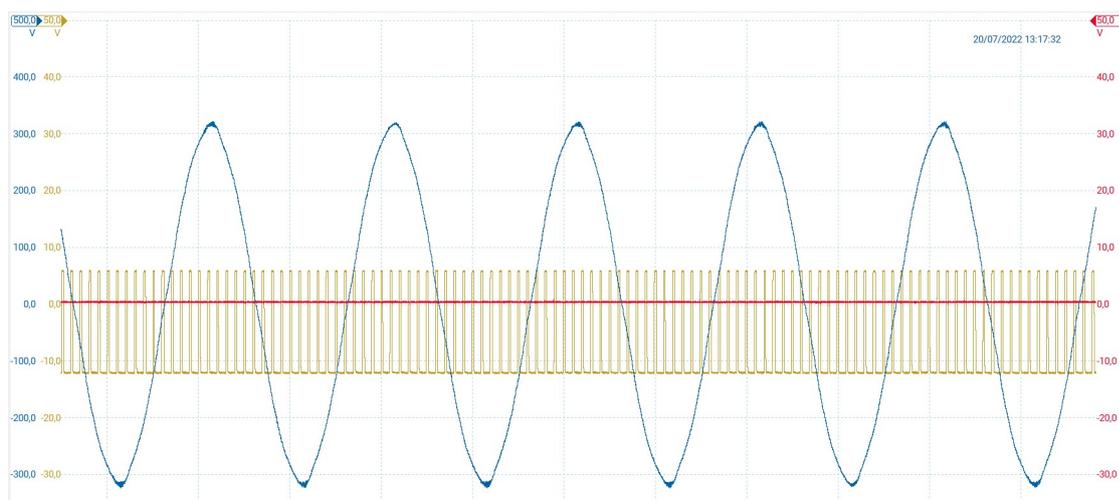


Figura 3.85. Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo di tensione, PP, CP durante stato C - Veicolo A

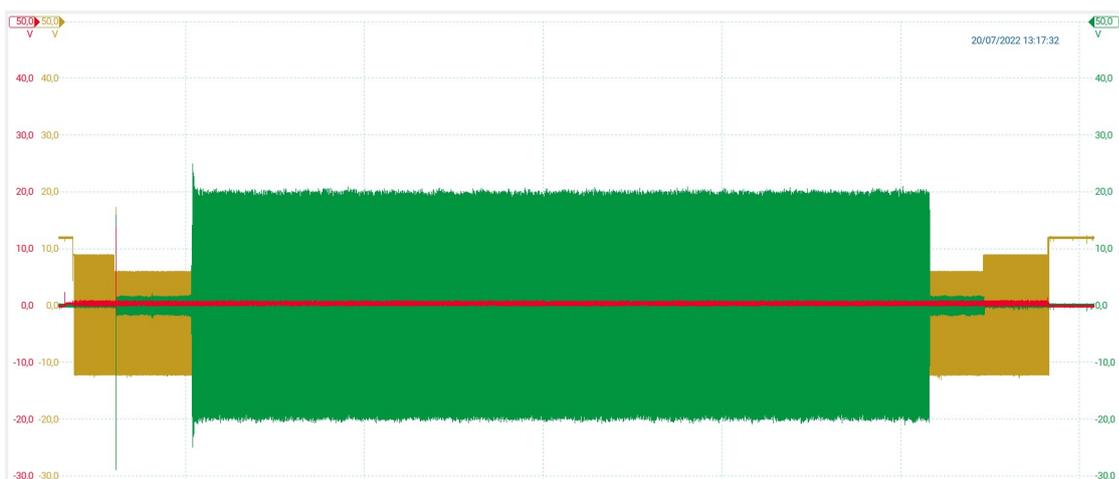


Figura 3.86. Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo corrente, PP, CP - veicolo A

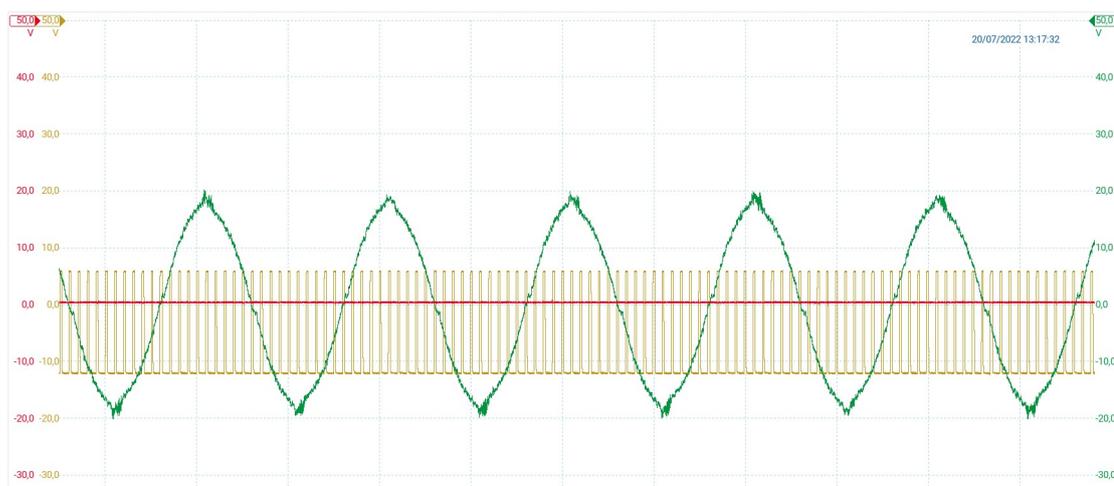


Figura 3.87. Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo di corrente, PP, CP durante stato C - Veicolo A

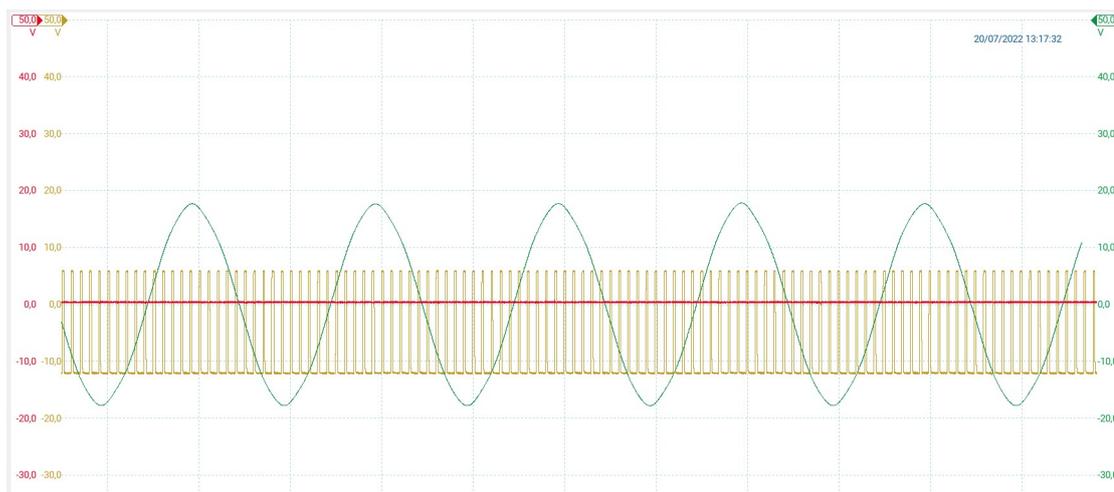


Figura 3.88. Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo di corrente, PP, CP con filtro passa basso a 150 Hz durante stato C - Veicolo A

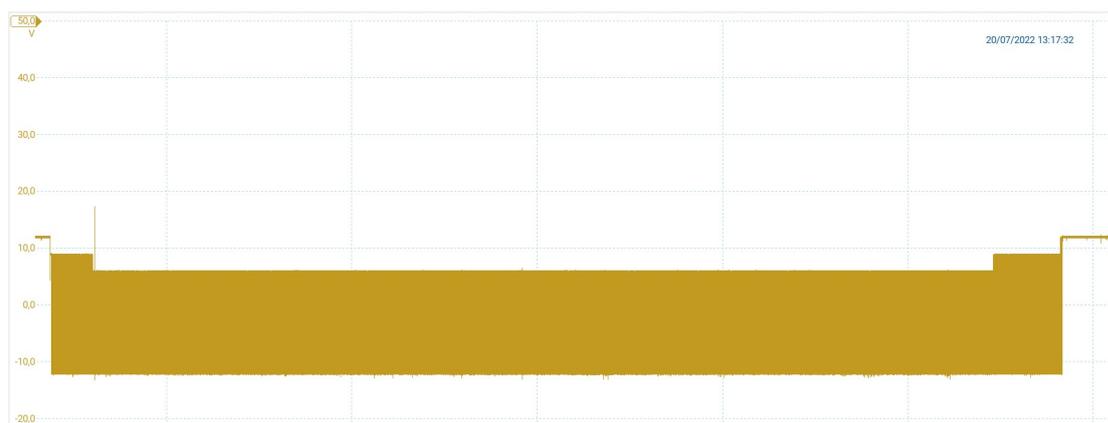


Figura 3.89. Andamento segnale pilota durante la ricarica Wallbox 3 - Veicolo A

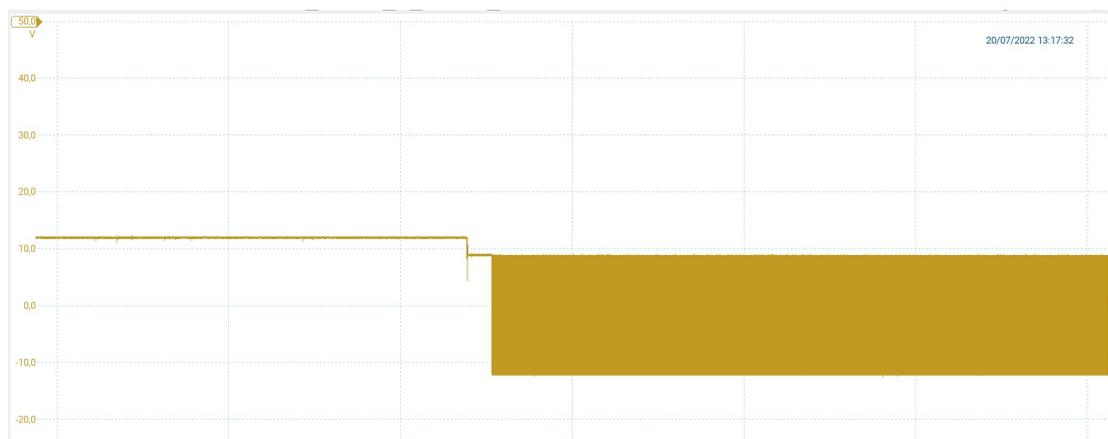


Figura 3.90. Stato A e B1 CP Wallbox 3 - Veicolo A

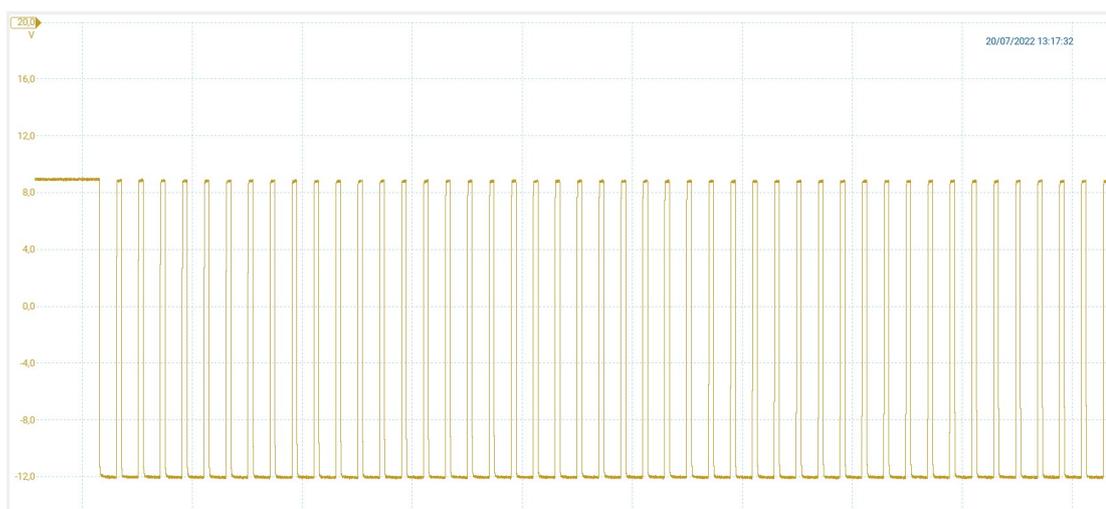


Figura 3.91. Stato B2 CP Wallbox 3 - Veicolo A

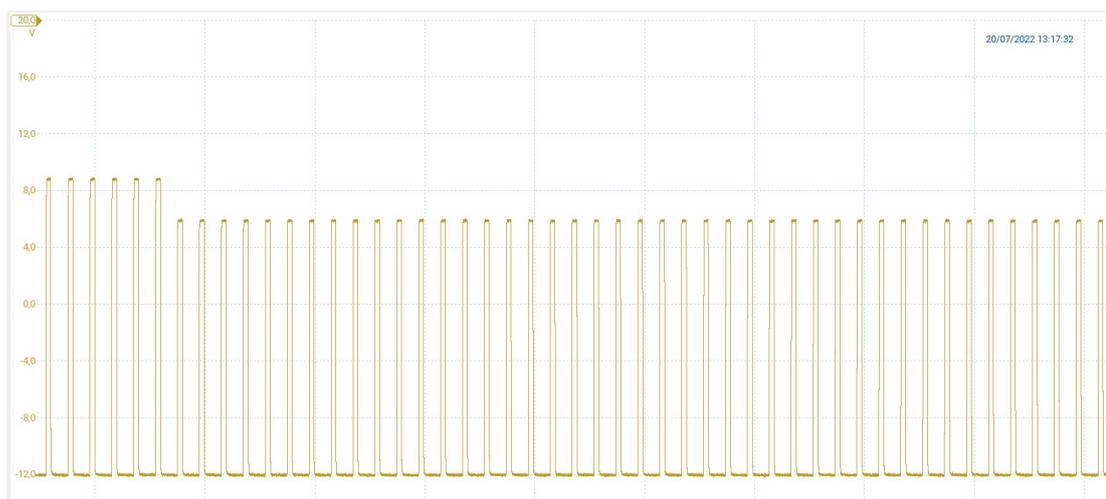


Figura 3.92. Stato C CP Wallbox 3 - Veicolo A

Definendone un'analisi dettagliata delle figure soprariportati e riportando i valori assunti dalle grandezze in 3.93, possiamo affermare:

- Il profilo di tensione coerentemente alla qualità che devono garantire i fornitori di energia elettrica, risulta essere priva di disturbi notevoli, assumendo differenti valori a seconda dello stato di carica;
- Il profilo di corrente contiene la terza armonica, la quale comporta un disturbo notevole della grandezza in esame. È stato implementato in modo simulato, un filtro passa basso con frequenza di taglio a 150 Hz, comprovando un andamento migliore in termini di contenuto armonico, ma che a causa della capacità del regolare digitale – interno alla wallbox – conferma un andamento scarso della forma d'onda;
- Il profilo del segnale di prossimità assume un cambiamento di stato nel momento in cui avviene la connessione EVSE-veicolo, come d'attesa;
- Il segnale pilota assume coerentemente alla norma IEC 61851, tutti i vari stati caratterizzanti la ricarica. E' osservabile il cambiamento di stato A in stato B1, in cui la stazione non autorizza l'erogazione di energia verso il veicolo e successivamente con l'accensione del segnale PWM - cambiando in stato B2 - l'EVSE è pronto ad erogare potenza, ma resta in attesa di autorizzazione del veicolo, il quale autorizzando commuta il CP in stato C, definendone il duty cycle coerentemente al valore di corrente di carica.

	STATO A	STATO B1	STATO B2 Max	STATO B2 Min	STATO C Max	STATO C Min
Tensione RMS [V]	0,650	0,650	0,650	0,650	212,0	212,0
Corrente RMS [A]	43,31	43,31	43,31	43,31	12,32	12,32
PP media [mV]	-17,60	434,70	434,70	434,70	434,70	434,70
CP media [V]	12,01	8,895	9,01	-12,65	6,220	-12,70
CP frequenza [Hz]	//	//	998,0	998,0	998,0	998,0
CP Duty Cycle [%]	//	//	50,00	50,00	19,36	19,36

Figura 3.93. Risultati valori ricarica Wallbox 3 - Veicolo A

Il comportamento atteso durante il blackout è di una dinamica decrescente di tutte le grandezze elettriche nel momento in cui si verifica il blackout, e ricarica corretta a seguito della rialimentazione della colonnina da parte della rete.

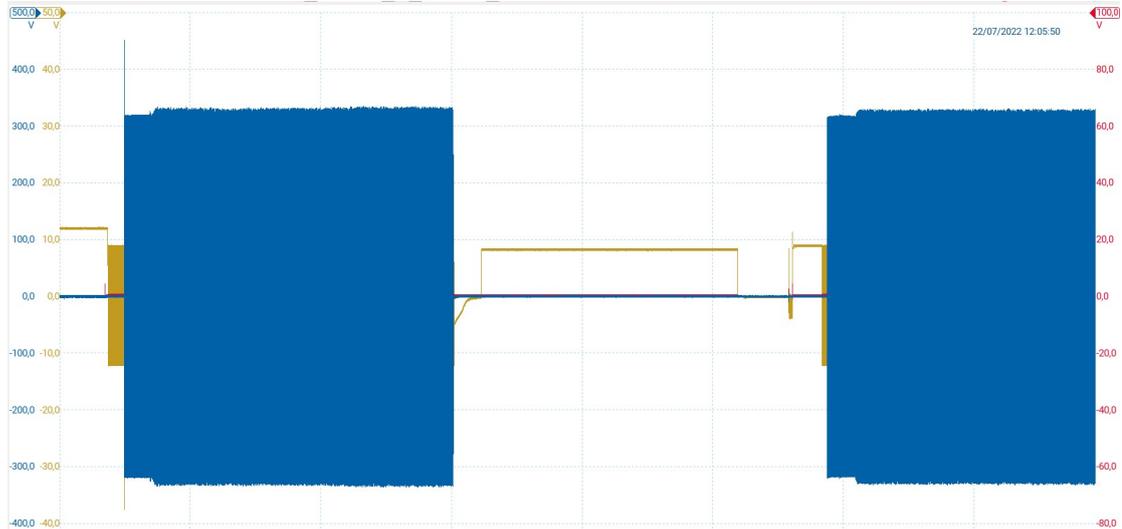


Figura 3.94. Andamento ricarica durante blackout Wallbox 3 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo A

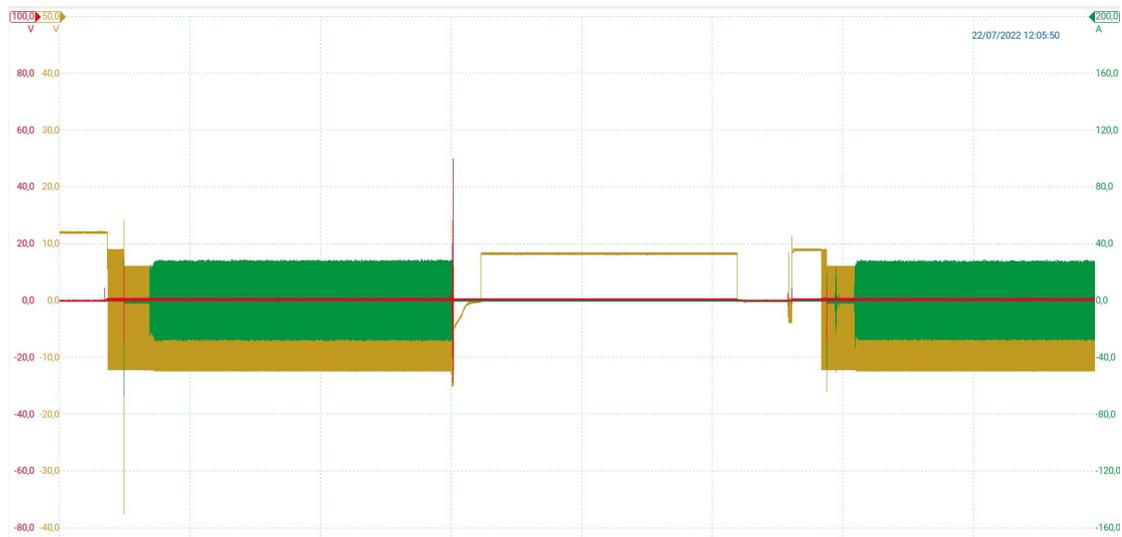


Figura 3.95. Andamento ricarica durante blackout Wallbox 3 - Profilo corrente, PP, CP - Veicolo A

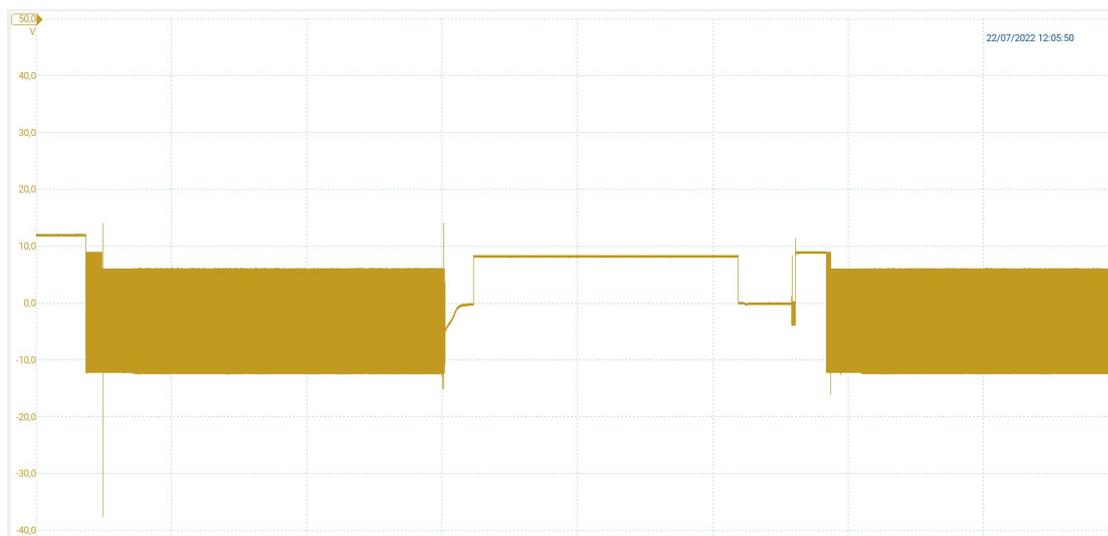


Figura 3.96. Andamento segnale pilota durante e post blackout Wallbox 3 - Veicolo A



Figura 3.97. Andamento segnale pilota durante blackout Wallbox 3 - Veicolo A

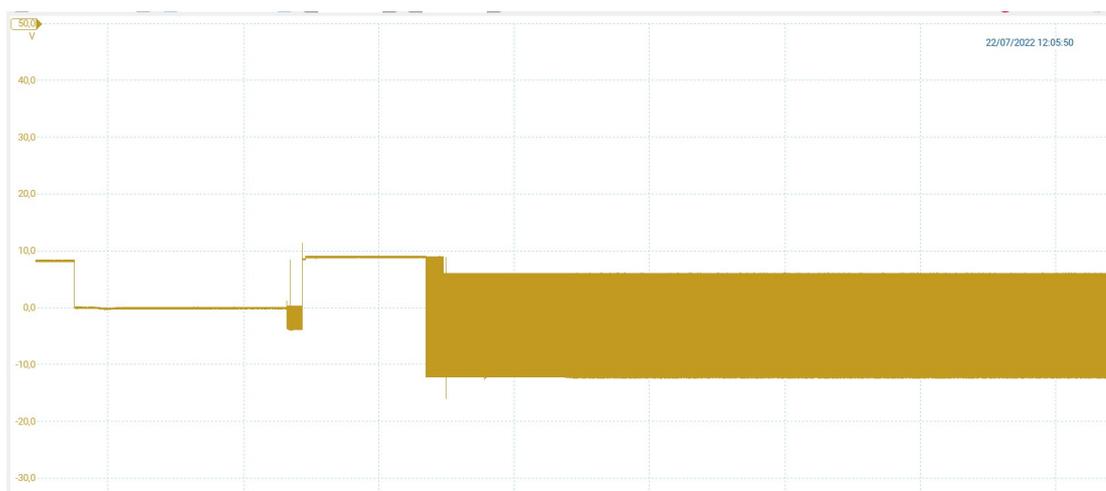


Figura 3.98. Andamento segnale pilota post blackout Wallbox 3 - Veicolo A

Come si evince dai risultati riportati in 3.99, è possibile notare come tutte le grandezze raggiungono circa zero durante il blackout, ma che in fase di rialimentazione della rete, è solo il segnale pilota ad assumere delle variazioni diverse al fine del ripristino della ricarica.

	BLACKOUT	AFTER BLACKOUT
Tensione RMS	461,000	0,387
Corrente RMS	106,80	72,60
PP media [mV]	434,70	220,00
CP media [V]	-0,224	8,248
		-32,23
		8,978
		Ripresa ricarica

Figura 3.99. Risultati valori ricarica durante blackout e post blackout Wallbox 3 - Veicolo A

3.3.2 Veicolo B

Le misure sono state realizzate con una frequenza di campionamento di 100 kHz, alimentando la ricarica a 16 A, con adattatore a shucko di cui di seguito sono riportati in primis l'andamento generale del normale funzionamento, ed in secondo luogo gli andamenti durante la condizione di blackout e post blackout.

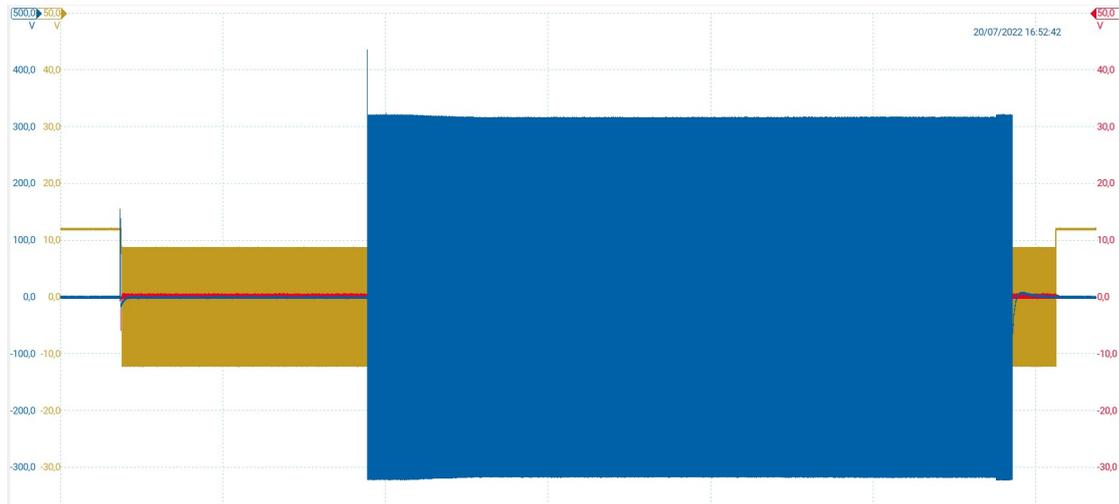


Figura 3.100. Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo B

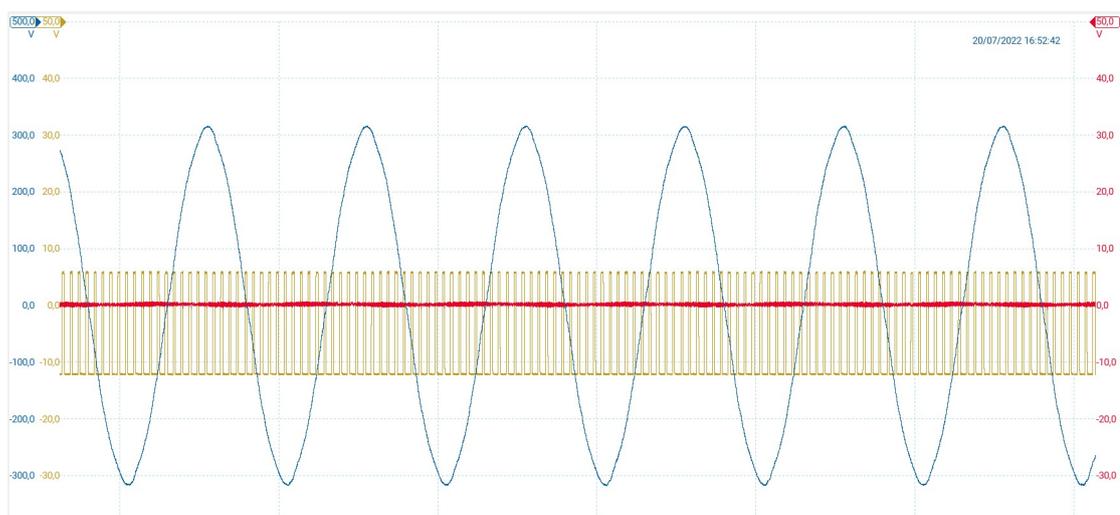


Figura 3.101. Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo di tensione, PP, CP durante stato C - Veicolo B

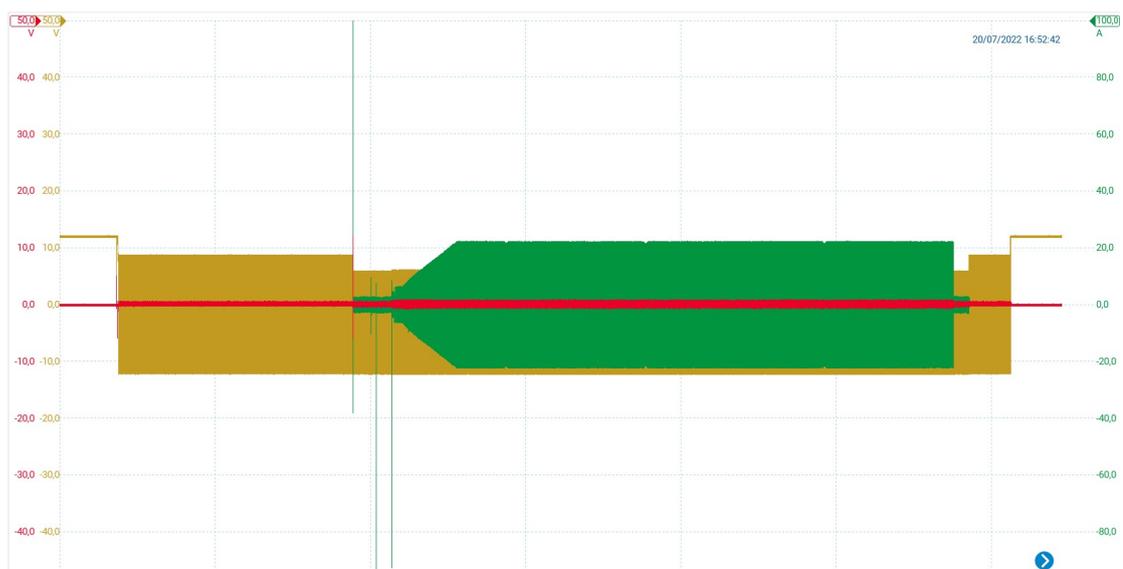


Figura 3.102. Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo corrente, PP, CP - veicolo B

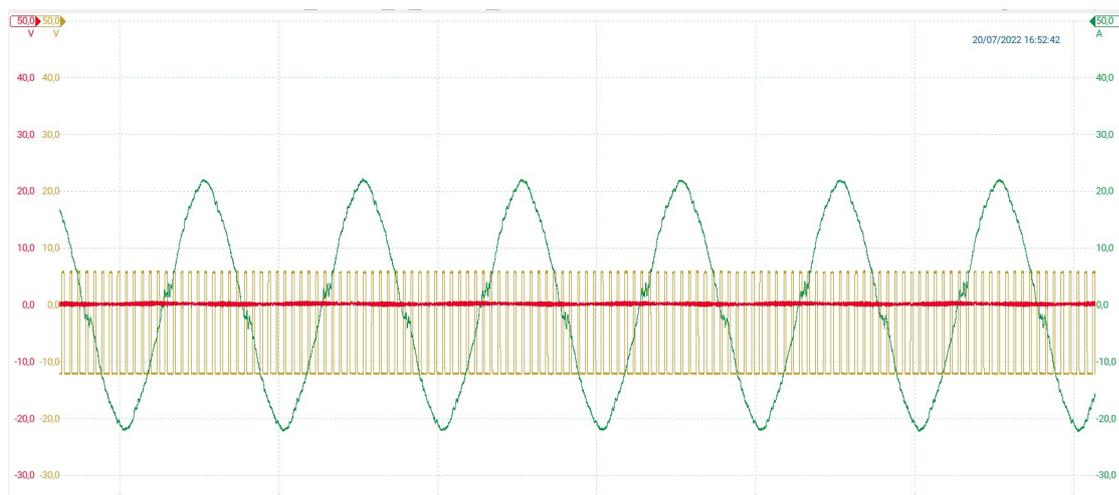


Figura 3.103. Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo di corrente, PP, CP durante stato C - Veicolo B

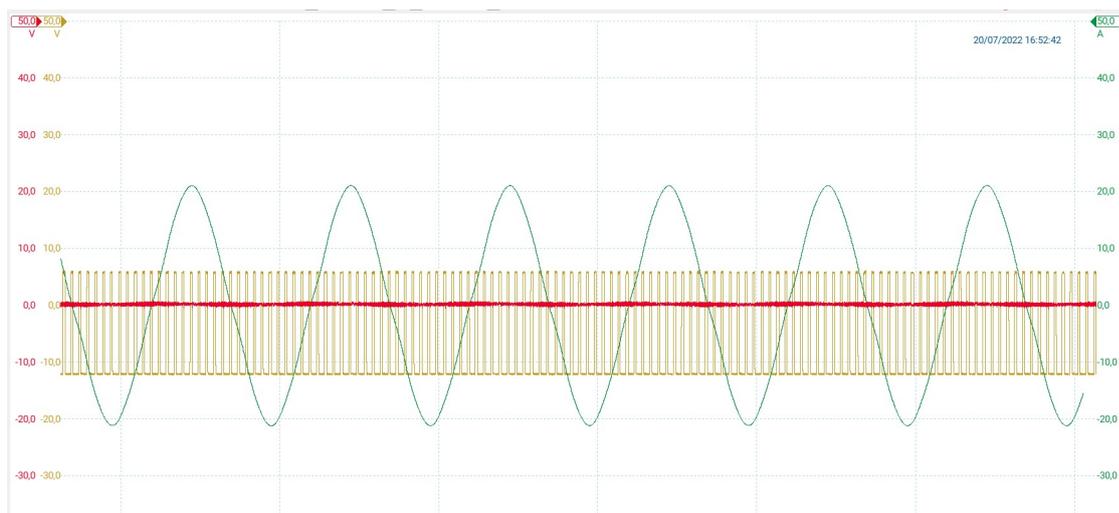


Figura 3.104. Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo di corrente, PP, CP con filtro passa basso a 150 Hz durante stato C - Veicolo B

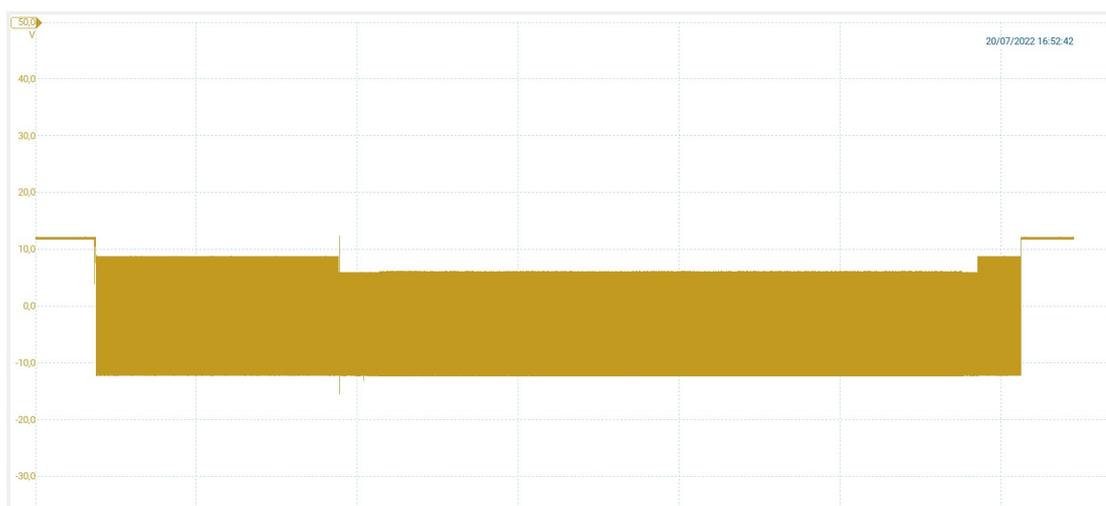


Figura 3.105. Andamento segnale pilota durante la ricarica Wallbox 3 - Veicolo B

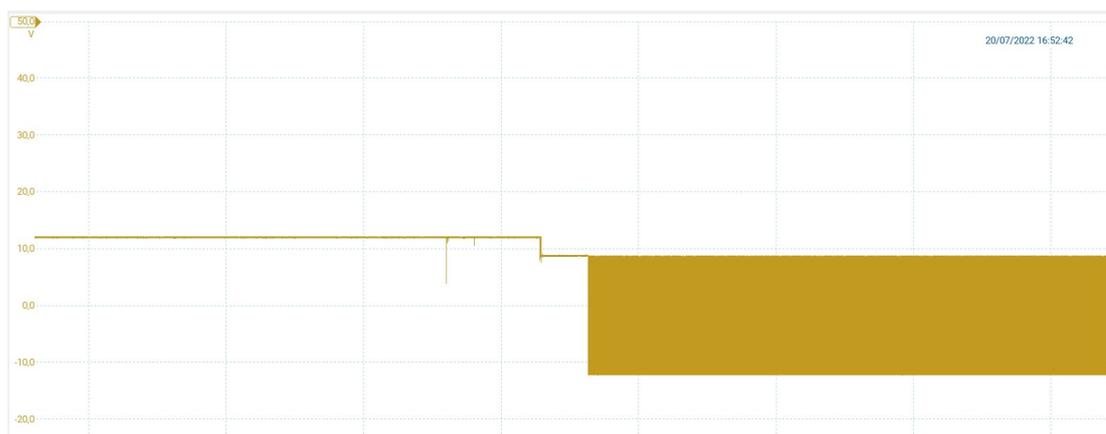


Figura 3.106. Stato A e B1 CP Wallbox 3 - Veicolo B

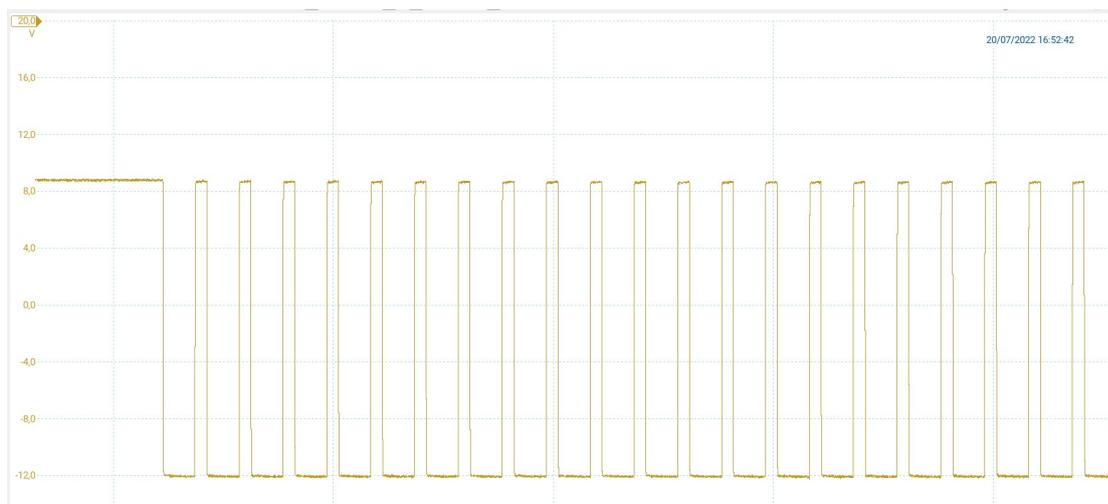


Figura 3.107. Stato B2 CP Wallbox 3 - Veicolo B

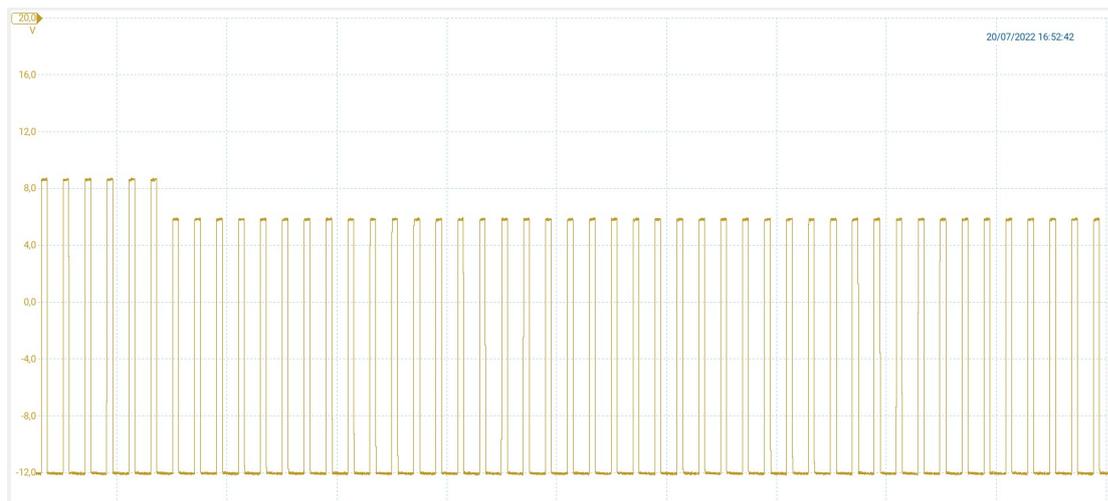


Figura 3.108. Stato C CP Wallbox 3 - Veicolo B

Definendone un'analisi dettagliata delle figure soprariportati e riportando i valori assunti dalle grandezze in 3.109, possiamo affermare:

- Il profilo di tensione risulta essere privo di disturbi notevoli, assumendo differenti valori a seconda dello stato di carica;
- Il profilo di corrente, manifesta dei picchi di corrente - dovuti alla chiusura dei contattori ed una distorsione armonica dovuta alla terza armonica data dalla ricarica monofase;
- Il profilo del segnale di prossimità assume un cambiamento di stato nel momento in cui avviene la connessione EVSE-veicolo, come da aspettative;
- Il segnale pilota assume tutti gli stati di ricarica coerentemente a quanto stabilito da normativa;

	STATO A	STATO B1	STATO B2 Max	STATO B2 Min	STATO C Max	STATO C Min
Tensione RMS [V]	0,556	0,556	0,556	0,556	219,6	219,6
Corrente RMS [A]	0,015	0,015	0,015	0,015	14,27	14,27
PP media [mV]	-23,43	228,70	228,70	228,70	228,70	228,70
CP media [V]	12,03	8,801	8,81	-12,21	6,142	-12,24
CP frequenza [Hz]	//	//	998,6	998,6	998,6	998,6
CP Duty Cycle [%]	//	//	50,00	50,00	24,83	24,83

Figura 3.109. Risultati valori ricarica Wallbox 3 - Veicolo B

Il comportamento atteso durante la condizione di blackout e post blackout è che a seguito dell'interruzione da parte della rete di alimentazione le grandezze decrescano a zero, e conseguentemente alla rialimentazione, la ricarica riprende in modo autonomo rispettando i valori di riferimento impostati dalla normativa.

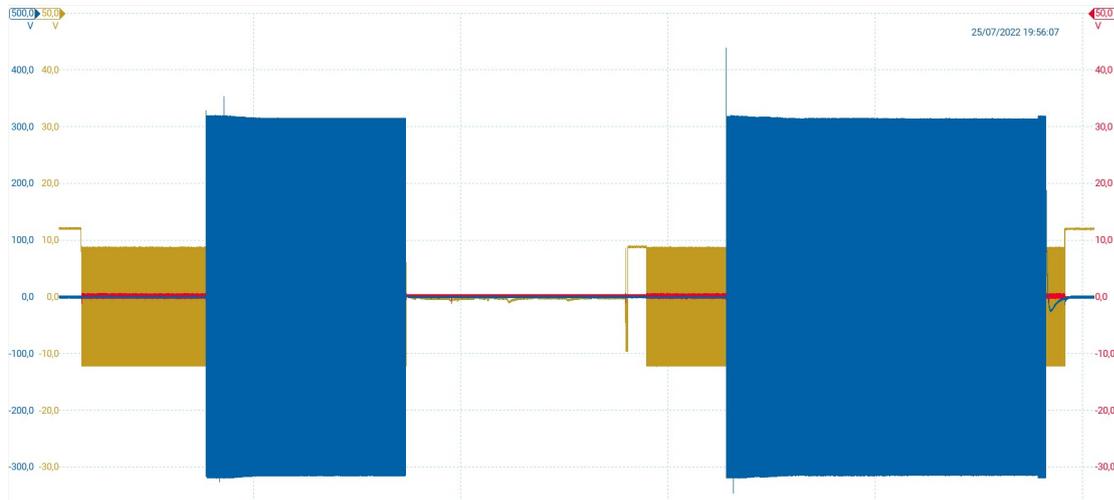


Figura 3.110. Andamento ricarica durante blackout Wallbox 3 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo B

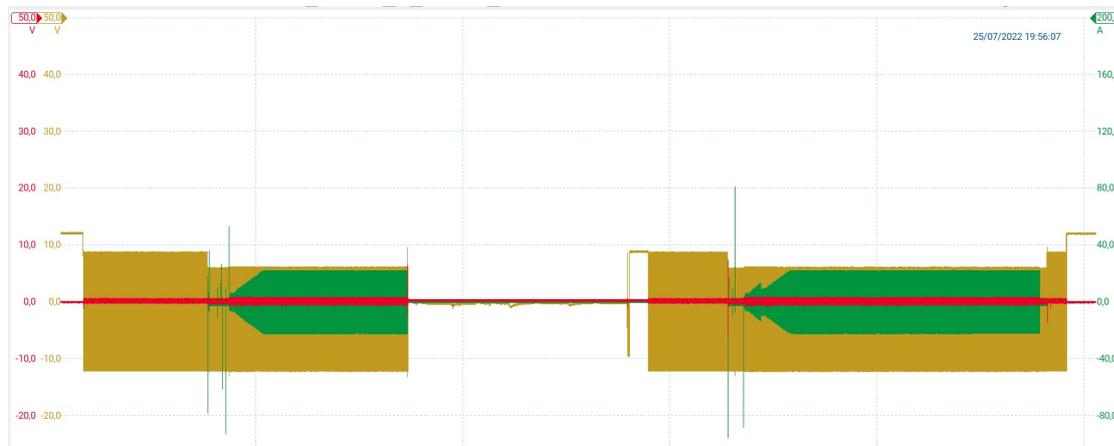


Figura 3.111. Andamento ricarica durante blackout Wallbox 3 - Profilo corrente, PP, CP - Veicolo B

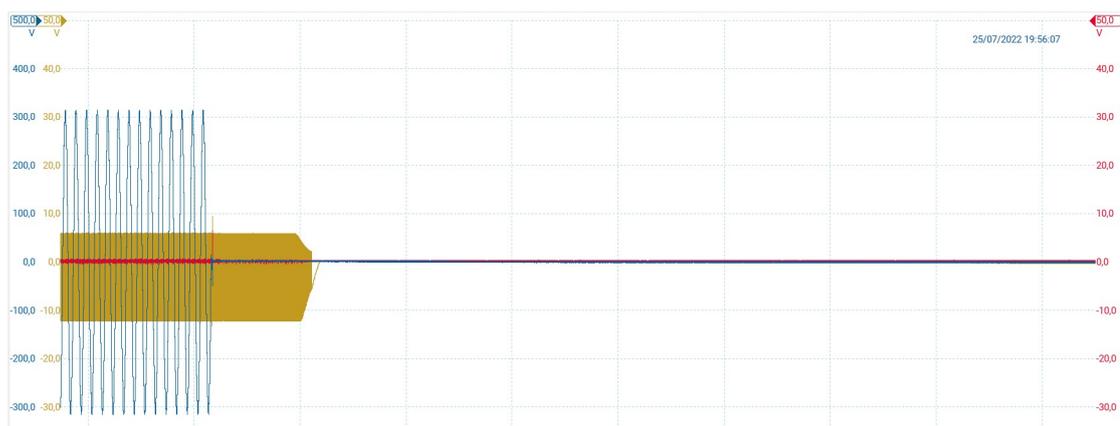


Figura 3.112. Comportamento in assenza di alimentazione da parte della rete alla stazione di ricarica Wallbox 3 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo B



Figura 3.113. Andamento segnale pilota durante e post blackout Wallbox 3 - Veicolo B

Come si evince dai risultati riportati in 3.114, è possibile notare come tutte le grandezze raggiungono circa zero durante il blackout, e che in fase di post blackout, con i vari cambi di stato del segnale pilota, si ha la ricarica corretta del veicolo.

	BLACKOUT	AFTER BLACKOUT
Tensione RMS [V]	0,396	0,396
Corrente RMS [A]	0,110	0,110
PP media [mV]	228,70	228,70
CP media [V]	0,253	8,865 Ripresa ricarica

Figura 3.114. Risultati valori ricarica durante blackout e post blackout Wallbox 3 - Veicolo B

3.3.3 Veicolo C

Il veicolo in esame presenta un OBC di potenza massima 11 kW, il quale è composto da cinque pacchi batteria e conseguentemente implementazione di dieci contattori per la connessione del circuito di ricarica. Le misure sono state effettuate alimentando la ricarica con una corrente di 8 A, con adattatore penta polare (alimentazione trifase). La frequenza di campionamento è stata di 100 kHz;

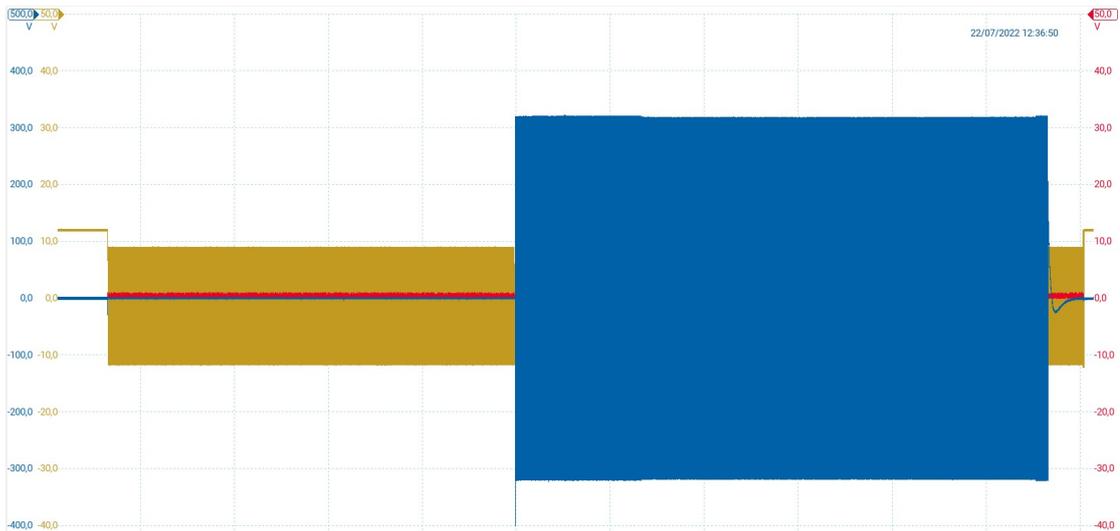


Figura 3.115. Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo C

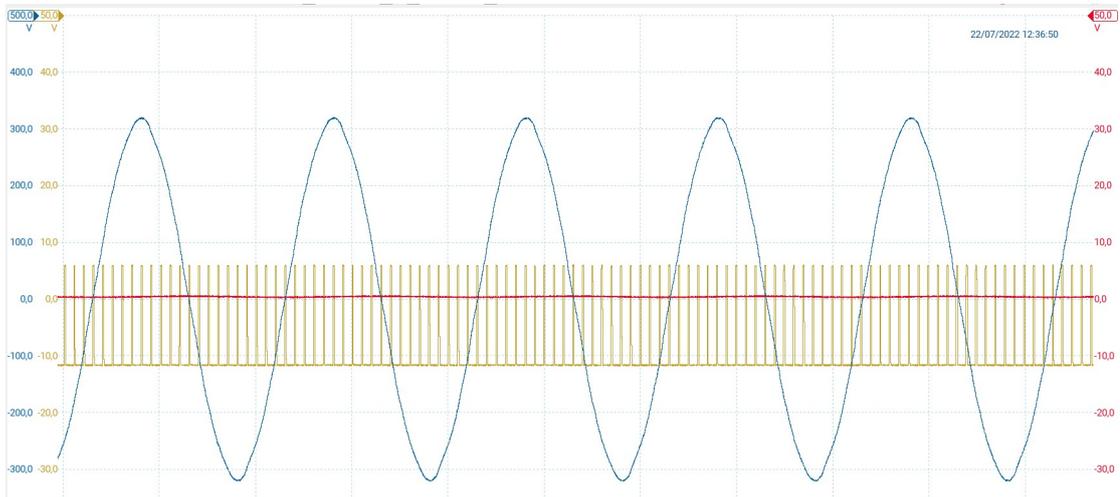


Figura 3.116. Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo di tensione, PP, CP durante stato C - Veicolo C

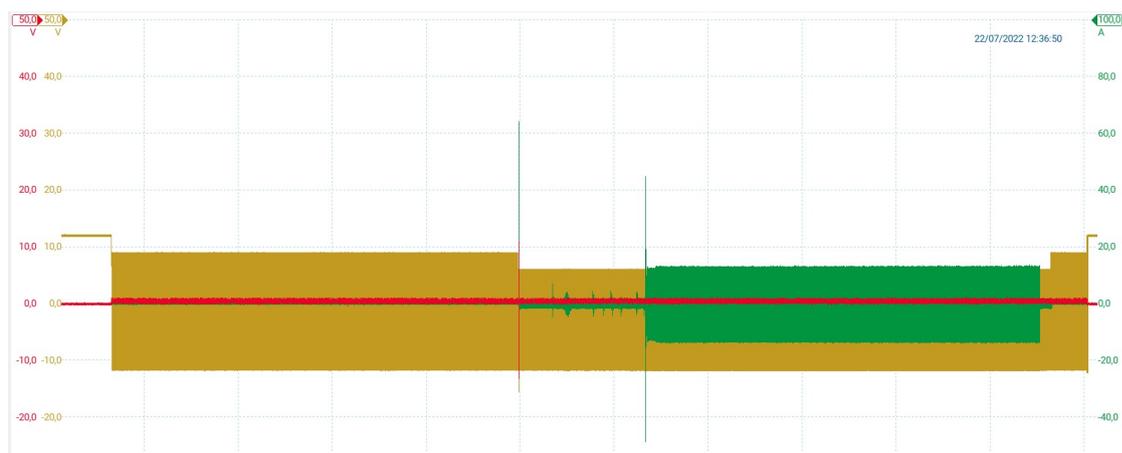


Figura 3.117. Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo corrente, PP, CP - veicolo C

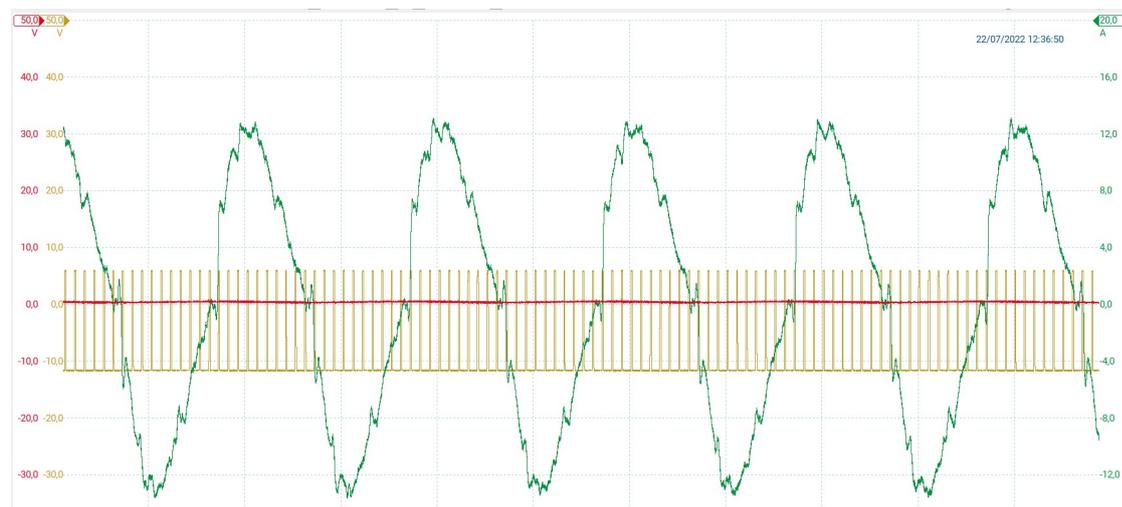


Figura 3.118. Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo di corrente, PP, CP durante stato C - Veicolo C

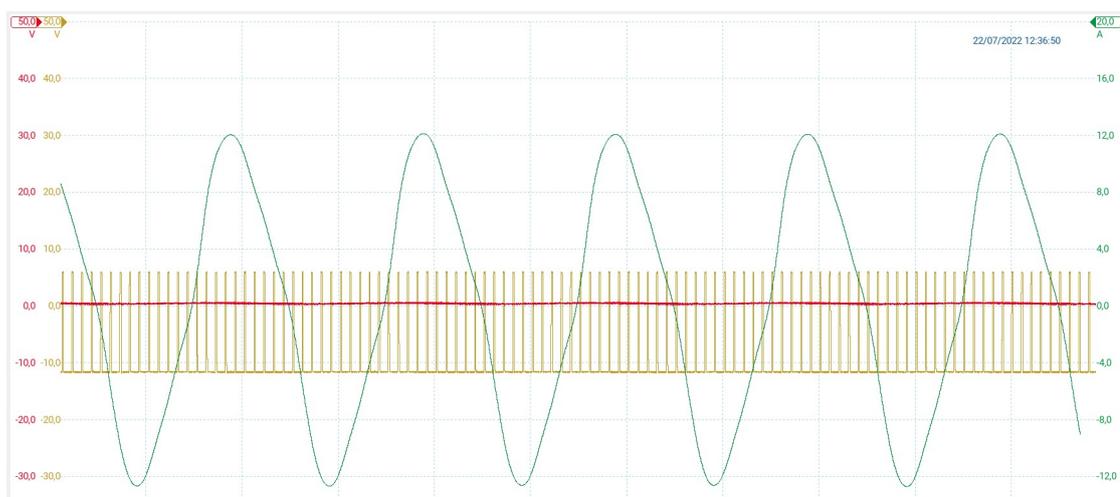


Figura 3.119. Andamento ricarica Wallbox 3 - Profilo di corrente, PP, CP con filtro passa basso a 150 Hz durante stato C - Veicolo C

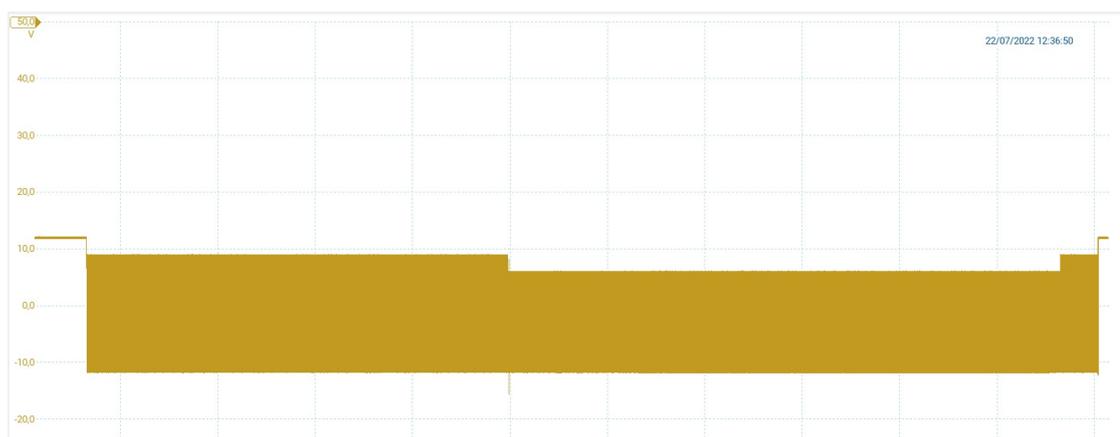


Figura 3.120. Andamento segnale pilota durante ricarica Wallbox 3 - Veicolo C

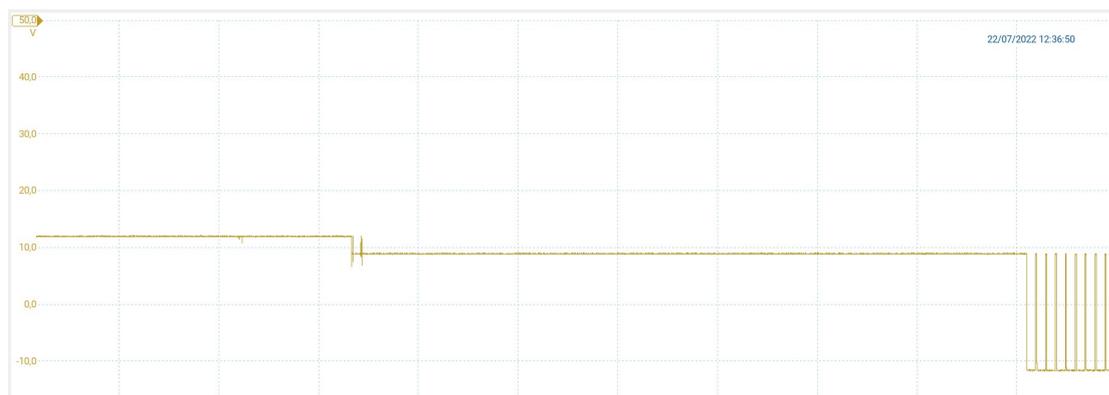


Figura 3.121. Stato A e B1 CP Wallbox 3 - Veicolo C

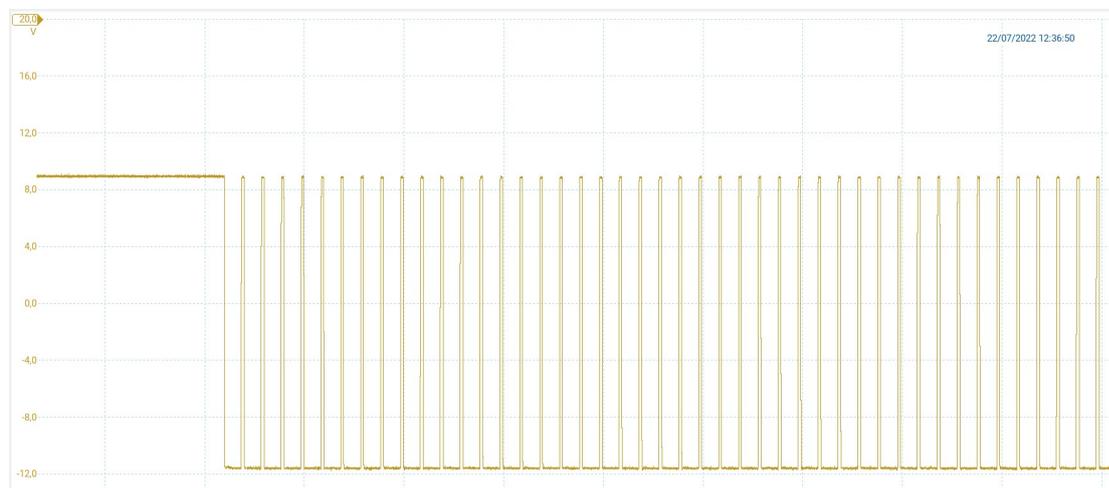


Figura 3.122. Stato B2 CP Wallbox 3 - Veicolo C

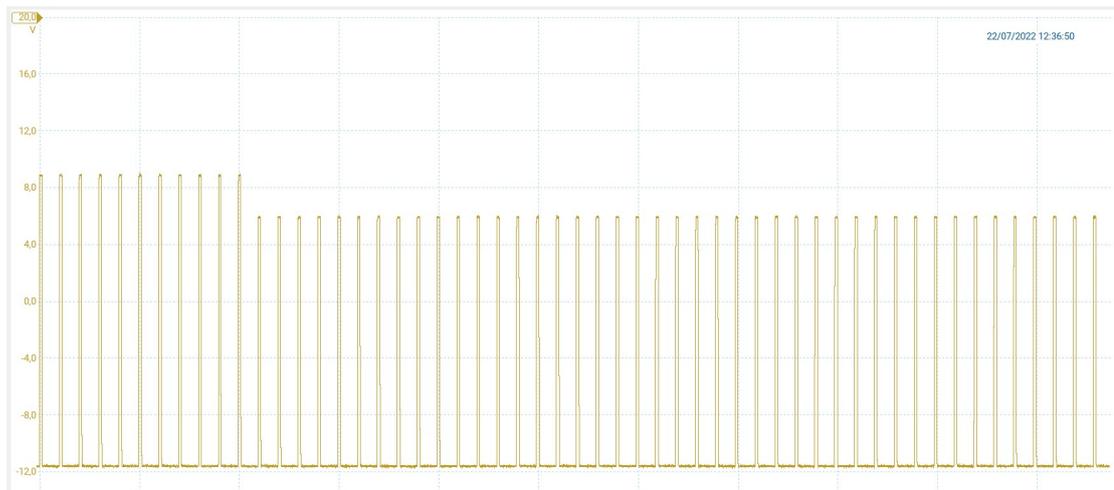


Figura 3.123. Stato C CP Wallbox 3 - Veicolo C

Definendone un'analisi dettagliata delle figure soprariportati e riportando i valori assunti dalle grandezze in 3.124, possiamo affermare:

- il profilo di tensione presenta un corretto andamento con ottima qualità della forma d'onda, caratterizzato dai picchi motivati precedentemente;
- Il profilo di corrente risulta contenere un disturbo armonico dato dalla qualità di alimentazione, al quale simulando un filtro passa-basso con frequenza di taglio di 150 Hz si migliora notevolmente la forma d'onda restando comunque scarso a causa del regolatore digitale della stazione di ricarica;
- Il profilo del segnale di prossimità assume un cambiamento di stato nel momento in cui avviene la connessione EVSE-veicolo, come d'attesa;
- Il segnale pilota assume coerentemente alla norma IEC 61851, tutti i vari stati caratterizzanti la ricarica.

	STATO A	STATO B1	STATO B2 Max	STATO B2 Min	STATO C Max	STATO C Min
Tensione RMS [V]	0,560	0,560	0,560	0,560	221,1	221,1
Corrente RMS [A]	0,016	0,016	0,016	0,016	8,35	8,35
PP media [mV]	-17,20	460,60	460,60	460,60	460,60	460,60
CP media [V]	12,02	8,964	9,01	-11,77	6,168	-11,82
CP frequenza [Hz]	//	//	1001,0	1001,0	1001,0	1001,0
CP Duty Cycle [%]	//	//	50,00	50,00	12,23	12,23

Figura 3.124. Risultati valori ricarica Wallbox 3 - Veicolo C

Il comportamento atteso durante la situazione di blackout e post blackout è che a della mancata alimentazione da parte delle rete, le grandezze decrescano a circa zero e nella condizione di post blackout la ricarica riprenda in mondo autonomo rispettando i valori di riferimento impostati dalla normativa.

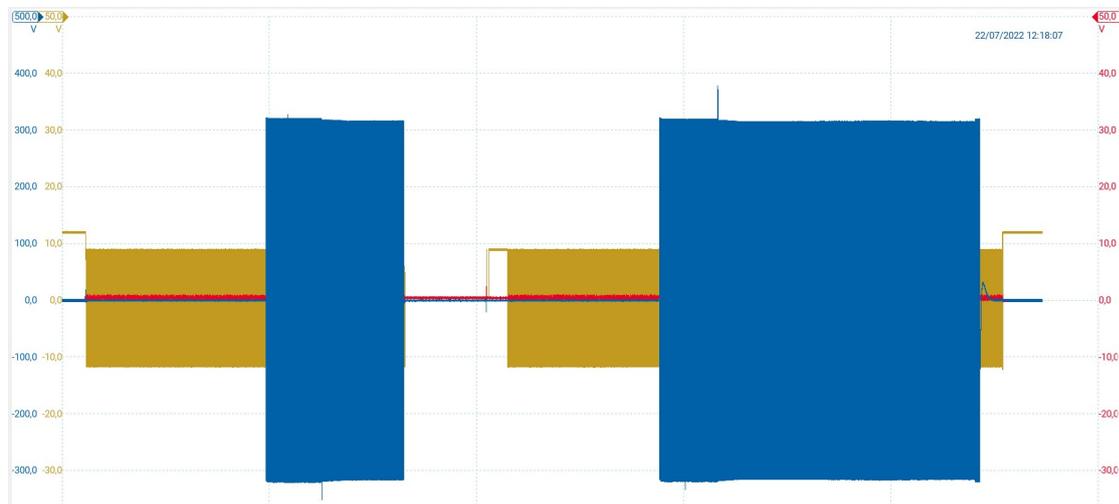


Figura 3.125. Andamento ricarica durante blackout Wallbox 3 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo C

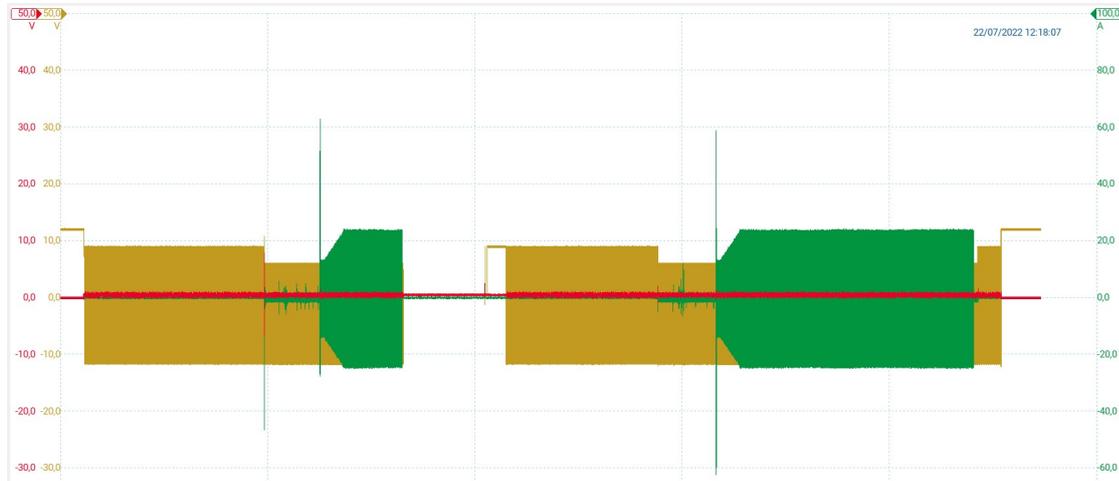


Figura 3.126. Andamento ricarica durante blackout Wallbox 3 - Profilo corrente, PP, CP - Veicolo C



Figura 3.127. Andamento segnale pilota durante e post blackout Wallbox 3 - Veicolo C

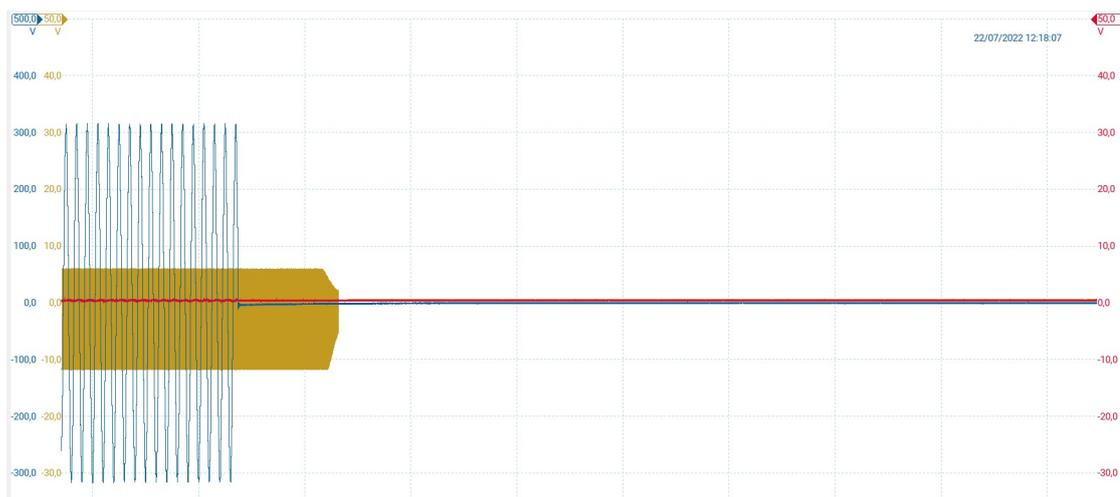


Figura 3.128. Comportamento in assenza di alimentazione da parte della rete alla stazione di ricarica Wallbox 3 - Profilo tensione, PP, CP - Veicolo C



Figura 3.129. Andamento segnale pilota durante blackout Wallbox 3 - Veicolo C

Come si evince dai risultati riportati in 3.130, è possibile notare come tutte le grandezze raggiungono circa zero durante il blackout, ma che in fase di rialimentazione della rete, è solo il segnale pilota ad assumere delle variazioni diverse da zero, responsabile del ripristino delle condizioni di ricarica.

	BLACKOUT	AFTER BLACKOUT
Tensione RMS [V]	0,407	0,407
Corrente RMS [A]	0,080	0,080
PP media [mV]	452,70	452,70
CP media [V]	0,568	8,958 Ripresa ricarica

Figura 3.130. Risultati valori ricarica durante blackout e post blackout Wallbox 3 - Veicolo C

3.4 Osservazioni

3.4.1 Analisi dati - Wallbox 1

Dai test effettuati sulla wallbox 1 è possibile notare come, sia il comportamento normale, sia il comportamento durante la situazione di blackout siano conformi a quanto stabilito dalla normativa garantendo sia in termini di valori, che di forme d'onda le caratteristiche corrette. Come già riportato, l'unica grandezza caratterizzata da un comportamento non congruo all'idealità è la corrente, la quale presenta un visivo disturbo della forma d'onda dovuta alla terza armonica, per via della ricarica unicamente in monofase.

Diverso invece è il comportamento assunto con il veicolo C, il quale non attua la procedura di ricarica, osservabile dalla forma d'onda e dai valori assunti dalla funzione pilota durante il processo di ricarica. Esso infatti assume cronologicamente, lo stato A (sconnessione veicolo- EVSE) stato B1 (connessione veicolo-EVSE), stato B2 (in cui l'EVSE è disponibile all'erogazione di potenza, ma è in attesa dell'autorizzazione da parte del veicolo) presentando un andamento PWM con frequenza 1000 Hz, ed infine stato F (in cui la stazione di ricarica non permette l'erogazione di potenza per via di incompatibilità con il veicolo).

Questo comportamento è dovuto principalmente ad un componente interno all'On Board Charger, il quale con la ricarica monofase rivela in termini software un mal funzionamento, autorizzando l'interruzione del processo di ricarica. Per motivi di segretezza non è possibile entrare nel dettaglio del componente, ma è possibile dire che tale componente è in processo di aggiornamento sia in termini di software che hardware, con il quale si risolverà questa problematica.

3.4.2 Analisi dati - Wallbox 2

Dai test effettuati con la wallbox 2, si evince come anche in questo caso, i veicoli A e B sono coerenti con la normativa vigente, sia in termini di valori che di forma d'onda, in entrambe le casistiche analizzate.

Il veicolo che non rispetta il comportamento atteso è il veicolo C, il quale con la suddetta wallbox, si evince come sia il veicolo ad impossibilitare la ricarica, poiché analizzando il segnale pilota si riscontra come esso, commuti dallo stato A fino a stato B2 coerentemente con connessione veicolo-EVSE, check da parte della stazione di ricarica. Da stato B2 in cui si osserva anche l'andamento PWM da parte del CP, esso commuta in stato F causato dalla non autorizzazione della ricarica da parte del veicolo. Ad oggi questo problema è in investigazione espandendo l'analisi sia in termini software che hardware di entrambi i componenti accoppiati.

3.4.3 Analisi dati - Wallbox 3

Per quanto le osservazioni in merito alla stazione di ricarica 3 - la quale può caricare sia in monofase che trifase a seconda del connettore connessa ad essa con cui si interfaccia alla rete - si evince come per i veicoli A e B non vi sono problemi in termini di grandezze analizzate, sia in situazione di ricarica normale che di situazione di blackout. Per quanto concerne al veicolo C, invece, si nota come con adattatori abilitati la ricarica monofase esso non avvia la ricarica - per gli stessi motivi analizzati precedentemente, mentre con adattatori autorizzati la ricarica trifase, tale veicolo rispetta a pieno le forme d'onda ed i valori coerentemente ad una ricarica corretta anche in situazione di blackout.

Capitolo 4

Conclusioni

Lo studio effettuato mi ha dato modo di studiare e comprendere a pieno tutti i processi legati al mondo della ricarica AC dei veicoli elettrici. Nello specifico, come si evince dai capitoli precedenti, è stato importante comprendere tutte le varie tipologie di ricarica, le varie classi di elettrificazione dei veicoli, i diversi connettori utilizzati e le differenti tipologie di connessione dei veicoli.

Un aspetto analizzato, ma che ad oggi è oggetto di approfondimento, studio e progettazione è il componente cardine della ricarica, ovvero l'On Board Charger, il quale ad oggi vede un suo campo di applicazione nella ricarica della rete elettrica verso la batteria del veicolo, ma che nel futuro prossimo lo vedrà designato come dispositivo in grado di sostenere i picchi di richiesta di energia alla rete, fornendo il plus energy dalle batterie dei veicoli connessi alla rete stessa, attraverso il processo di vehicle to grid. Dal punto di vista ingegneristico, i veicoli elettrici sono una sfida per il futuro sia per le aziende automobilistiche, sia per le prestazioni legate all'autonomia di viaggio e tempi di ricarica, ma anche dal punto di vista di compatibilità elettromagnetica e sicurezza delle persone. Per questo infatti, l'approfondimento della normativa vigente sulla ricarica dei veicoli elettrici IEC 61851, contenente al suo interno la norma SAE J1772, fa in modo che ci sia un criterio di omologazione dei vari prodotti, garantendo l'integrità degli stessi coerentemente al rispetto dei vincoli imposti. L'aspetto caratterizzante dell'attività è stato la compressione a pieno delle diverse stazioni di ricariche, e nella fattispecie delle diverse wallbox, garantendo la compatibilità con i veicoli. L'attività a seguito diversi mesi di sperimentazione, nei quali si sono presentati diverse difficoltà, sia dalle più banali, ma non scontate, come la pianificazione del piano progetto, alle più ostiche della ricerca del problema durante le varie ricariche ed alla ricerca della soluzione dello stesso, i quali hanno comportato diverse analisi relazionandosi con i diversi gruppi. Inoltre, l'attività svolta, ha fornito la possibilità di confrontarsi realmente con le differenti tipologie dei veicoli prossimi al debutto, analizzando nello specifico le diverse caratteristiche di progetto per cui sono stati designati. A conclusione del documento in esame, è possibile affermare che tale attività è stata svolta nella totale armonia e professionalità, soprattutto grazie al bagaglio ingegneristico - fornito dal Politecnico di Torino - il quale continua e continuerà ad essere arricchito dal continuo confronto con gli ingegneri che dell'automobile ne hanno fatto la propria passione più grande.

Bibliografia

- [1] *Datasheet Picoscope 4444.*
- [2] Radu Bojoi. *Course slides - Power Electronics for eMobility.* Politecnico di Torino, 2021.
- [3] Circontrol. *evolve smart.*
- [4] International Electrotechnical Commission. *IEC61851.* 2017.
- [5] e Station. *Guida alla ricarica.*
- [6] Schneider Electric. *Evlink wallbox.*
- [7] EVBOX. *Ultroniq dc charging.*
- [8] Free2Move. *Easywallbox.*
- [9] SAE International. *SAE J1772.*
- [10] PowerCharge. *Pro-series.*
- [11] Xcharger. *Power c9lq.*