



Ricerca di Sistema elettrico

# Progettazione di un prototipo di sistema di ricarica “Flash” per travaso tra supercondensatori per TPL collegato alla rete elettrica

A. Lidozzi, L. Bigarelli, V. Sabatini

PROGETTAZIONE DI UN PROTOTIPO DI SISTEMA DI RICARICA “FLASH” PER TRAVASO TRA  
SUPERCONDENSATORI PER TPL COLLEGATO ALLA RETE ELETTRICA

A. Lidozzi, M. Di Benedetto, L. Bigarelli, V. Sabatini (Dipartimenti di Ingegneria, Università degli Studi  
Roma Tre)

Settembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2017

Area: Trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica

Progetto: Sistemi di accumulo di energia per il sistema elettrico

Obiettivo: Ricerca e sviluppo di accumulatori elettrochimici innovativi

Responsabile del Progetto: Pier Paolo Prosini, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione *“Progettazione di un prototipo di sistema di ricarica “Flash” per travaso tra supercondensatori per TPL collegato alla rete elettrica”*

Responsabile scientifico ENEA: Ing. Fernando Orteni

Responsabile scientifico Università di Roma Tre: Prof. Alessandro Lidozzi

## Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	5
2.1 PROGETTAZIONE DEL SISTEMA DI RICARICA FLASH ALLA FERMATA (STAZIONARIO).....	5
2.2 PIATTAFORMA DI CONTROLLO E SCHEDA DI INTERFACCIA.....	6
2.3 ALGORITMO DI CONTROLLO PER IL SISTEMA DI RICARICA FLASH.....	8
2.3.1 <i>FPGA target</i> .....	8
2.3.2 <i>Real-Time target</i> .....	12
2.3.3 <i>Macchina a stati</i> .....	14
2.4 GRAPHICAL USER INTERFACE (GUI).....	17
3 VERIFICA SPERIMENTALE.....	18
4 CONCLUSIONI.....	20
5 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	20

## Sommario

Nel presente documento è riportata l'attività relativa alla seconda annualità, inerente questa volta la progettazione esecutiva, lo sviluppo del software di controllo e la verifica funzionale della stazione di ricarica flash per sistemi di trasporto pubblici in ambito urbano. La prima parte relativa alla progettazione dell'intera circuiteria di stazione ha richiesto la selezione dei vari componenti, la verifica delle reperibilità e la redazione di specifici documenti illustranti l'assemblaggio dei vari sottosistemi. Per quanto riguarda il software di controllo, è stato scelto di utilizzare LabVIEW poiché l'approccio grafico risulta sicuramente più immediato e poiché dispone di una interfaccia utente/operatore nativa. Anche la scelta della piattaforma di controllo è stata fatta tenendo conto di diversi criteri quali ad esempio avere diversi digital I/O, la possibilità di acquisire grandezze analogiche ed infine che potesse offrire funzionalità grafiche e di comunicazione con l'ambiente esterno.

Inoltre, per l'interfacciamento tra la scheda di controllo ed il sistema, è stata progettata e realizzata una apposita scheda di interfaccia, richiamata nel seguito del report come Adapter Board. Il progetto esecutivo della scheda è stato realizzato da un'azienda esterna che ha provveduto anche all'assemblaggio.

La verifica sperimentale finale ha consentito di validare il sistema nelle sue funzionalità, affinché potesse operare in modo autonomo senza la necessità di un operatore.

## 1 Introduzione

Una efficiente pianificazione del sistema di trasporto pubblico locale si configura come la chiave di volta per la risoluzione di molte problematiche che oggi affliggono i grandi centri abitati. L'adozione di veicoli a trazione elettrica per il trasporto pubblico locale su gomma è una prospettiva ogni giorno resa più plausibile dai costanti progressi nell'ambito dello sviluppo della tecnologia dei sistemi di accumulo. Sono diverse le realtà cittadine che procederanno all'intera sostituzione del parco veicoli a favore di veicoli elettrici nei prossimi anni, in virtù degli innumerevoli vantaggi che una scelta di questo tipo può comportare. Questa attività si propone di indagare un sistema di ricarica alternativo che prevede l'impiego di supercondensatori (SC) al posto dei più comuni accumulatori elettrochimici. Le consistenti differenze fra i due sistemi di accumulo suggeriscono l'intera riprogettazione della linea di trasporto; i lunghi processi di ricarica delle batterie tradizionali, effettuati al capolinea, vengono sostituiti da ricariche molto più brevi e frequenti, ideali per essere eseguite in corrispondenza delle fermate del veicolo.

I risultati dell'attività di investigazione svolta durante il primo anno sono stati presentati in [1] oltre che nel report dedicato.

L'attività svolta durante la seconda annualità ha riguardato la progettazione esecutiva del sistema di ricarica flash di terra, ovvero il sistema presente alla fermata, nell'ambito veicolare per trasporto pubblico urbano. Quindi dalla scelta di tutti i vari componenti facenti parte della stazione, al sistema di controllo, alla scrittura del codice di controllo ed infine, nell'esecuzione dei vari test sperimentali atti a validare la completa funzionalità della stazione di ricarica.

## 2 Descrizione delle attività svolte e risultati

Le attività di seguito descritte hanno riguardato la progettazione esecutiva, il collaudo ed infine l'esecuzione di test sperimentali relativi alla stazione di ricarica flash per veicoli da trasporto pubblico urbano. Coerentemente alle attività appena descritte, è stato inoltre realizzato il software per la gestione completa ed automatica della stazione di ricarica.

### 2.1 Progettazione del sistema di ricarica flash alla fermata (stazionario)

In forza delle attività svolte con l'annualità precedente, dove si è provveduto al dimensionamento del sistema di ricarica, il passo successivo ha portato alla realizzazione di una stazione per la ricarica flash con travaso diretto tra supercondensatori.

Con riferimento alla Figura 1, sono stati selezionati i trasduttori di tensione, il trasduttore di corrente ed i cinque sezionatori sotto carico. È stato inoltre realizzato l'induttore di limitazione, e scelto il relativo diodo di ricircolo. La presenza di questo diodo è assolutamente necessaria sia per l'eventuale apertura non controllata di un sezionatore, che per la strategia di ricarica proposta ed illustrata nella prima annualità, dove la scarica viene interrotta prima di raggiungere asintoticamente una corrente teoricamente nulla.

Per il corretto funzionamento dell'intero sistema e per motivi di sicurezza, sono state acquisite le tensioni su ogni modulo di supercondensatori, quindi sei misure di tensione isolate. Informazioni aggiuntive come la temperatura sono disponibili via CAN-bus, tramite l'interfaccia disponibile su ogni modulo SC.

I convertitori AC-DC mostrati in figura sono necessari per la ricarica dei SC dopo la fase di scarica, ovvero dopo che l'energia è stata trasferita dal sistema di terra al sistema di accumulo posto sul veicolo. Sono stati selezionati apparati di potenza pari a circa 2kW nominale e prodotti dalla ELTEK-DELTA, modello FLATPACK2 110 / 2000 HE WOR. La AC-DC Control Unit, prodotta e fornita sempre dalla ELTEK-DELTA è necessaria per il controllo, monitoraggio e configurazione dei quattro AC-DC. Inoltre consente tramite semplice contatti aperto/chiuso, di abilitare o disabilitare singolarmente ogni AC-DC. Questa funzionalità si è resa necessaria per alterare momentaneamente le fasi di ricarica in modo da ridurre e rendere piatto l'assorbimento di potenza dalla rete AC in ingresso. La *Main control board* illustrata in Figura 1, che verrà poi illustrata in un paragrafo dedicato, ha il compito di controllare e supervisionare l'intero sistema garantendo la corretta transizione tra le varie fasi operative.

In dettaglio, il trasduttore di corrente è prodotto dalla LEM, codice produttore HAS 500-S. I sezionatori sotto carico sono prodotti da Kilovac/Tyco, codice produttore LEV200H5ANA, ed hanno anche il contatto

ausiliario di ritorno per la verifica dell'effettiva apertura o chiusura. I trasduttori di tensione sono a montaggio su PCB per poter essere installati su una specifica scheda di supporto; il produttore è LEM ed il codice prodotto è LV 20-P. Il diodo D1 in antiparallelo all'induttore L1 è prodotto dalla Semikron, codice SKKE 81/08.

Il sistema di controllo e comando, inclusi i convertitori AC-DC verrà inserito in un apposito armadio conforme all'installazione in ambienti esterni.

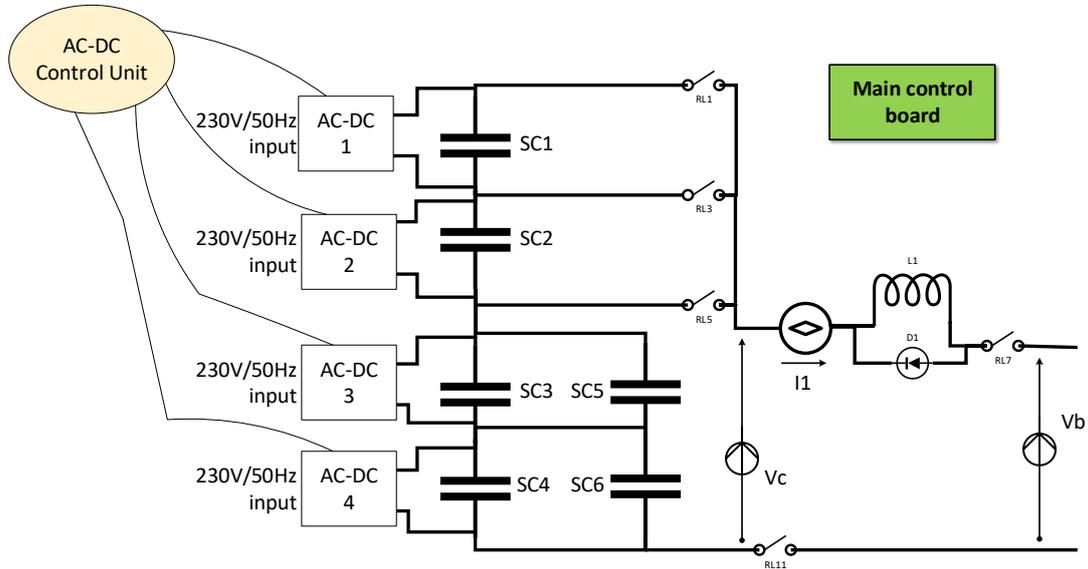


Figura 1. Schema semplificato del sistema di ricarica flash presente alla fermata del bus.

## 2.2 Piattaforma di controllo e scheda di interfaccia

La scheda di controllo PED-Board Mini ([www.ped-board.com](http://www.ped-board.com)) mostrata in Figura 2 è basata sul sistema prodotto da National Instruments sbRIO-9651 composto da un microprocessore ARM ed una FPGA Artix7. A bordo è installato un sistema operativo Linux Real-Time ed è completamente programmabile con il software LabVIEW sempre prodotto da National Instruments.

Il target FPGA è responsabile dell'acquisizione delle misure esterne e del trasferimento di queste al microprocessore (target Real-Time, RT) per la visualizzazione. Infatti, per poter monitorare il sistema durante le fasi di collaudo, è stato realizzato in LabVIEW un visualizzatore tempo-reale delle grandezze acquisite che opera con una frequenza di campionamento pari a 2 kHz. L'FPGA è anche responsabile della lettura e della scrittura sui pin digitali per il comando dei relè o per la lettura dei contatti ausiliari. La macchina a stati che consentirà al sistema di operare autonomamente una volta collaudato, è stata realizzata sul target RT sempre utilizzando l'ambiente di sviluppo LabVIEW.



Figura 2. Scheda di controllo PED-Board Mini.

La scheda di controllo dispone di un connettore ethernet che deve essere replicato a pannello dell'armadio per poter accedere con cavo dall'esterno. Il connettore di alimentazione a 12V, di colore bianco presente in Figura 2, ha lo stesso pinout della scheda Relè di adattamento (Adapter Board) realizzata appositamente per la presente applicazione e descritta nel seguito.

Con riferimento alla Figura 3, che mostra il layout della sola scheda di controllo, al di sopra della parte bassa della scheda sarà presente una scheda di adattamento con i trasduttori di tensione, relè ed i vari connettori. Il layout della scheda di adattamento è mostrato in Figura 4. La scheda ospita anche gli alimentatori isolati necessari per l'alimentazione dei vari trasduttori.



Figura 3. Layout della scheda di controllo.

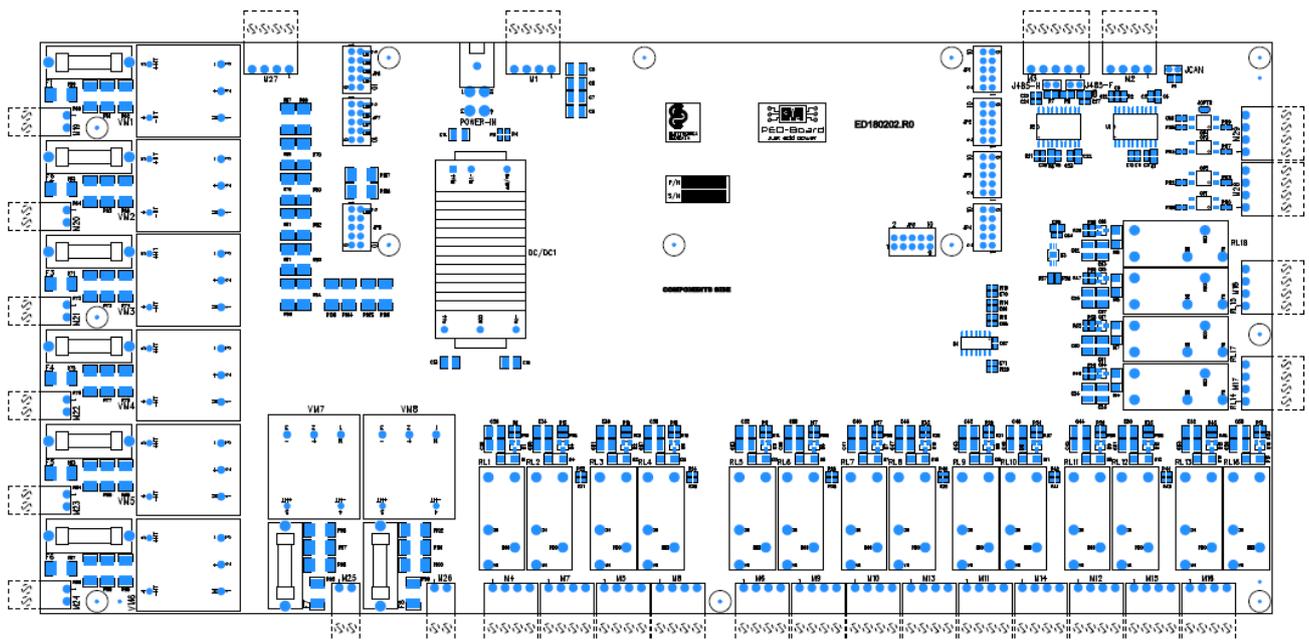


Figura 4. Layout della Adapter Board realizzata.

La Figura 5 mostra il sistema di controllo completamente assemblato, dove si nota, la scheda di controllo principale PED-Board® e la Adapter Board realizzata.

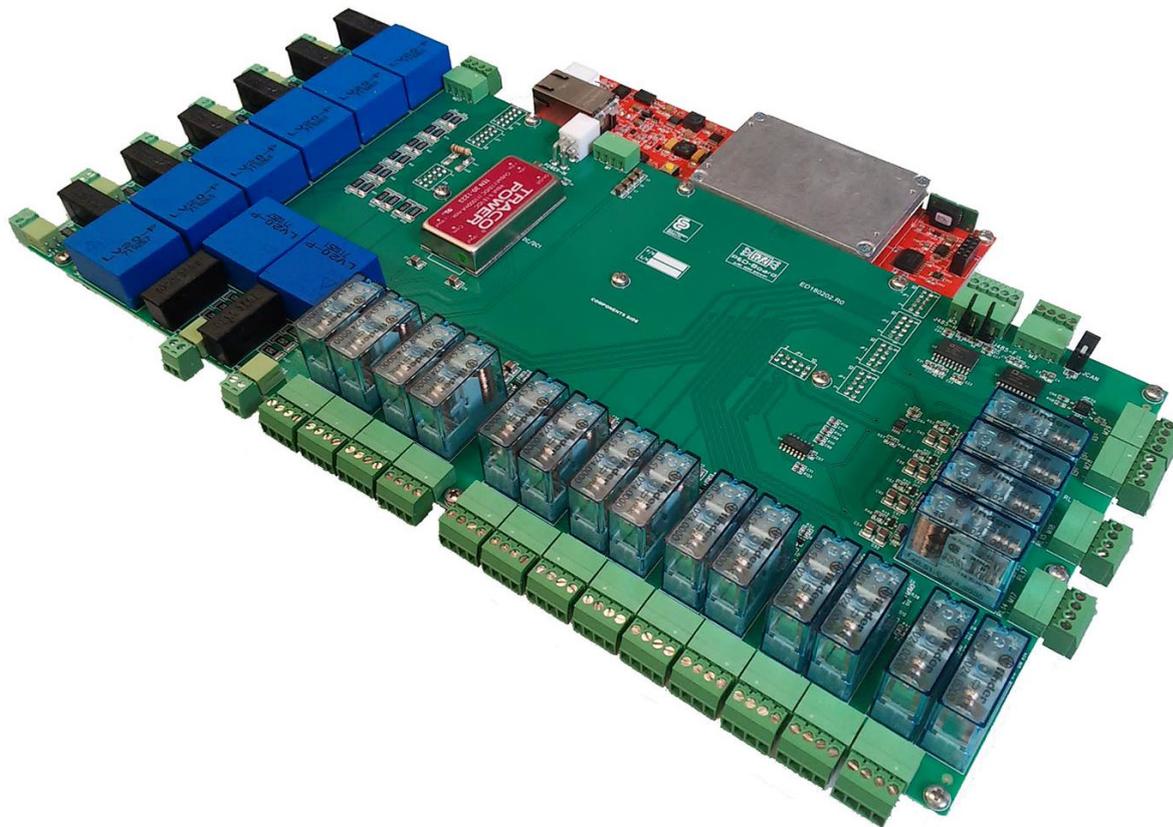


Figura 5. Scheda di controllo completamente assemblata.

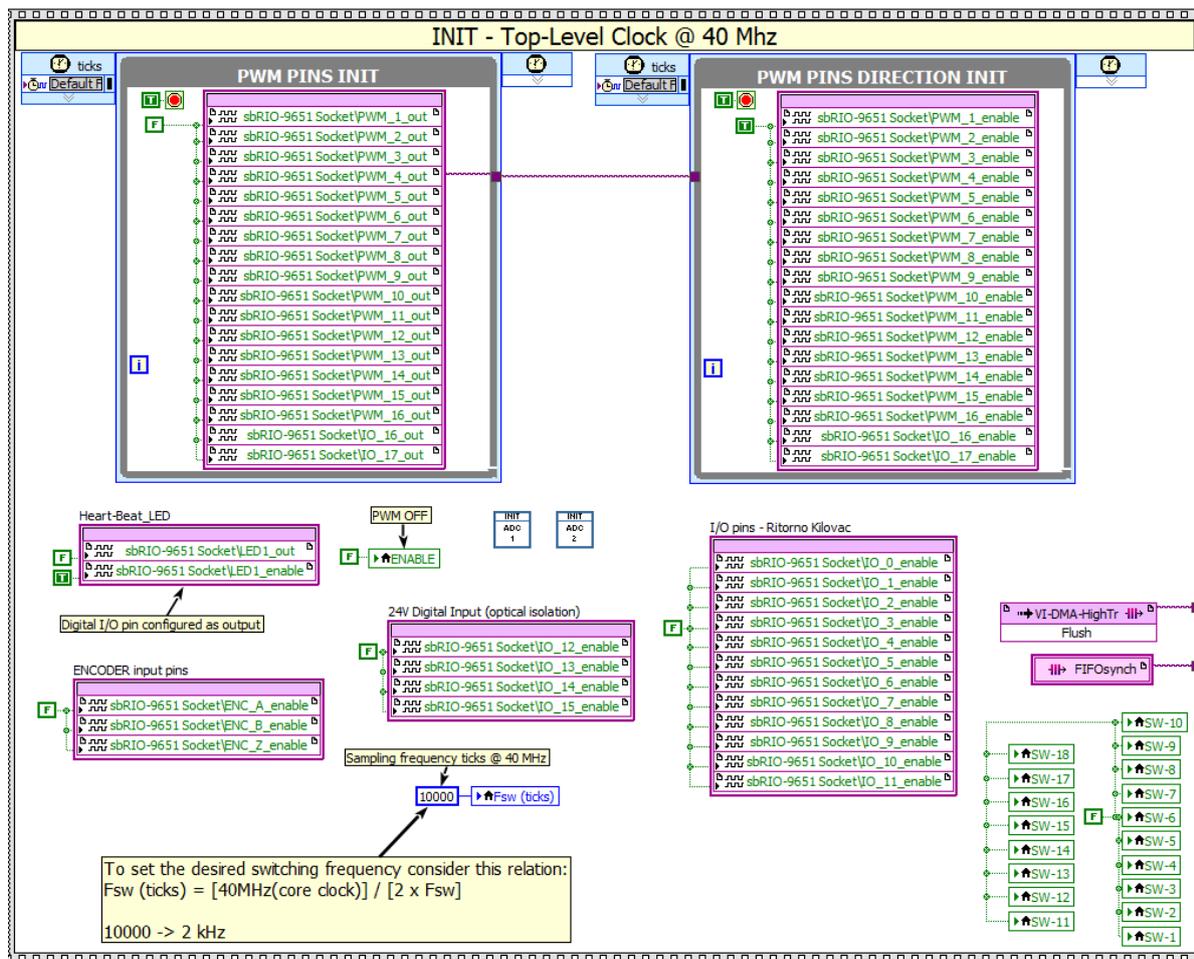
### 2.3 Algoritmo di controllo per il sistema di ricarica flash

L’algoritmo di controllo è stato completamente realizzato in ambiente di sviluppo LabVIEW specifico per i target Real-Time e FPGA. Come già accennato, al target FPGA sono demandati i compiti inerenti all’acquisizione delle misure e degli stati del sistema, oltre all’attuazione dei vari comandi tramite le uscite digitali presenti ed opportunamente condizionate sulla Adapter Board.

Il target Real-Time invece, svolge compiti di più alto livello come la visualizzazione su monitor delle grandezze di interesse e l’esecuzione della macchina a stati che, una volta collaudata, consentirà alla stazione di ricarica flash di operare in completa autonomia con possibilità di diagnostica e intervento remoti.

#### 2.3.1 FPGA target

Il software di controllo della stazione di ricarica, necessita una fase di inizializzazione eseguita una sola volta all’avvio della piattaforma di controllo. Nel frame relativo al target FPGA mostrato in Figura 6 si possono notare diverse funzioni specifiche, quali ad esempio, l’init degli ADC presenti sulla scheda di controllo (ADC1 e ADC2), l’init dei canali PWM che verranno usati come uscite digitali per il controllo dei vari teleruttori e relè, i digital input impiegati per la lettura dei segnali di ritorno dei teleruttori di potenza, la costante pari a 10000 che regola il passo di acquisizione delle grandezze di interesse che verranno poi visualizzate sul target Real-Time, ed infine, lo stato iniziale di alcuni indicatori di sistema.



**Figura 6. Frame di inizializzazione relativo al codice per il target FPGA**

Il software realizzato su FPGA necessita di uno scheduler che generi la base dei tempi sia per l'acquisizione delle misure che per la temporizzazione delle varie azioni. E' stato perciò realizzato tramite un contatore up/down non interrompibile come mostrato in Figura 7. Ogni volta che il contatore raggiunge lo zero, viene generato lo start per il loop di acquisizione tramite la struttura coda (FIFO Item) di LabVIEW. Si può notare inoltre, la presenza delle uscite digitale sottoforma di uscite PWM, per il comando dei vari relè presenti nel sistema.

La Figura 8 mostra la parte di codice relativa alla lettura dei contatti ausiliari dei sezionatori di potenza. Questa funzionalità è assolutamente necessaria affinché la stazione di ricarica operi in sicurezza. Ogni volta che uno dei contattori principali cambia stato, dopo un certo tempo configurabile, viene letto il corrispondente contatto ausiliario per la verifica di coerenza dello stato. In caso di non coerenza tra comando e lettura viene generato un errore, che se in grado di compromettere la corretta funzionalità del sistema, produce l'arresto completo della stazione. E' possibile il monitoraggio da remoto di questi eventi.

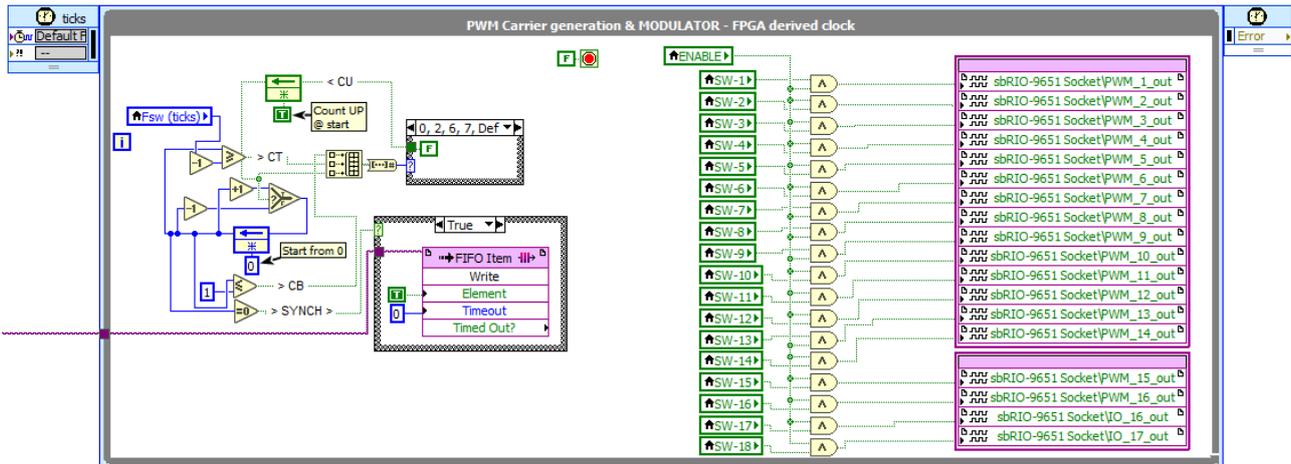


Figura 7. LabVIEW Single-Cycle Timed Loop per la generazione della base dei tempi.

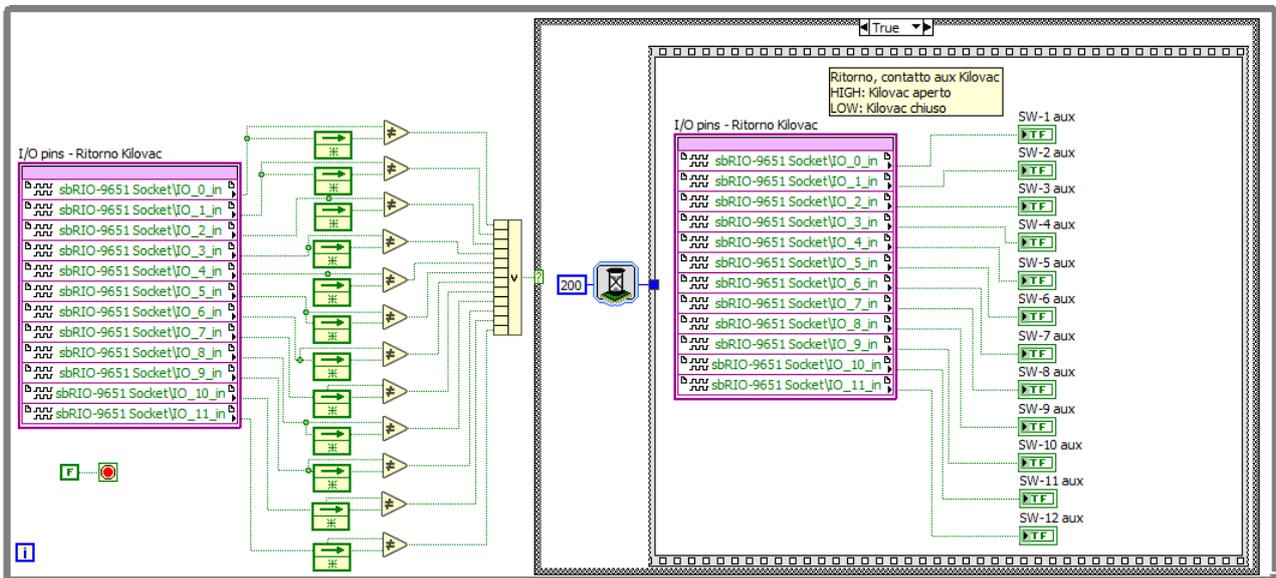


Figura 8. Lettura segnali di ritorno dai contattori.

Il frame relativo all’acquisizione delle varie misure come la corrente durante la fase di ricarica (*travaso*), le tensioni dei moduli SC e le tensioni lato pantografo e lato stazione, è mostrato in Figura 9. Le misure in binario fornite dagli ADC sono moltiplicate per un fattore di scala per poter poi operare direttamente con quantità espresse nel Sistema Internazionale.

L’ultimo frame del target FPGA (Figura 10) riguarda quello che è chiamato comunemente ‘waiting for synch’, ovvero l’attesa dello start da parte dello scheduler mostrato in Figura 7. Il programma si arresta in attesa del corretto istante di tempo e del corretto periodo temporale che deve intercorrere tra due acquisizioni successive. Inoltre, per la verifica dell’esecuzione del codice su FPGA, è stato predisposto un heart-beat (letteralmente ‘battito del cuore’), ovvero un digital output dove è collegato un LED e replicato su un indicatore, che vengono fatti lampeggiare ad una frequenza di circa 1 Hz. L’indicazione è quindi visiva per un eventuale operatore, e logica per il target Real-Time. Questi se non riceve una variazione dello stato dell’heart-beat entro un certo intervallo temporale, può considerare il target FPGA fermo e quindi attuare le necessarie misure per porre il sistema in sicurezza.

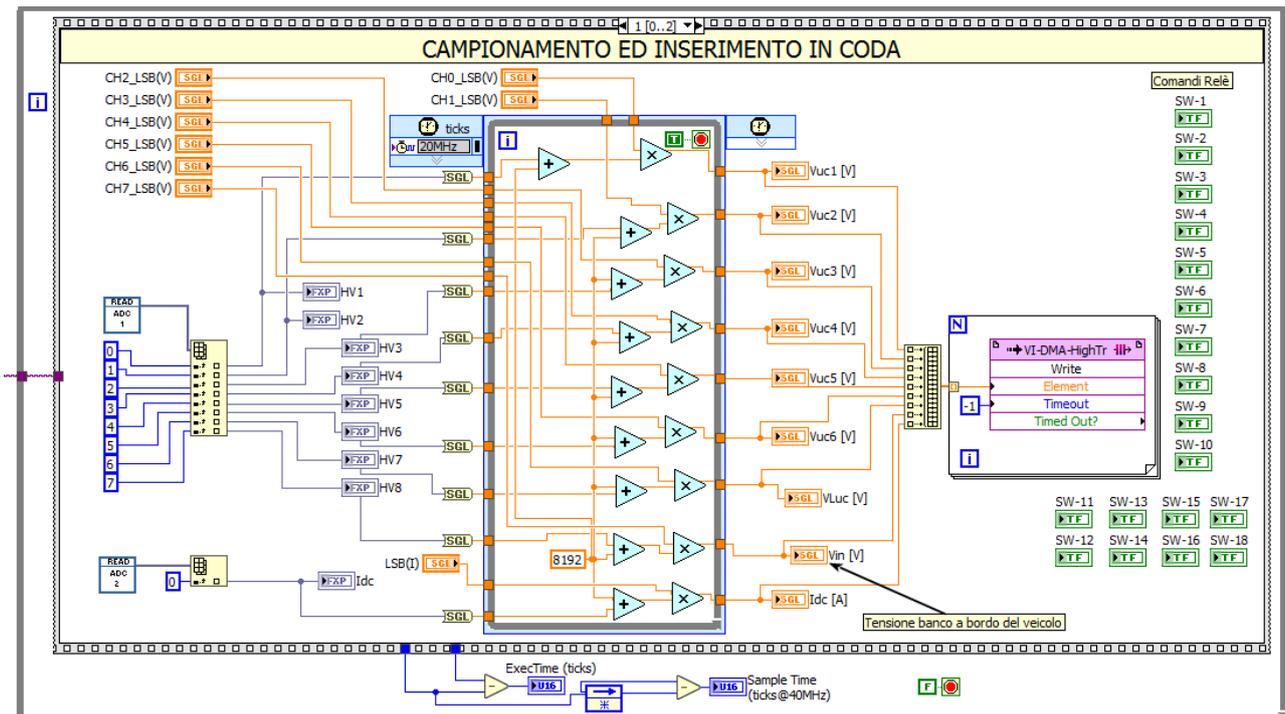


Figura 9. Acquisizione misure ed invio al target Real-Time.

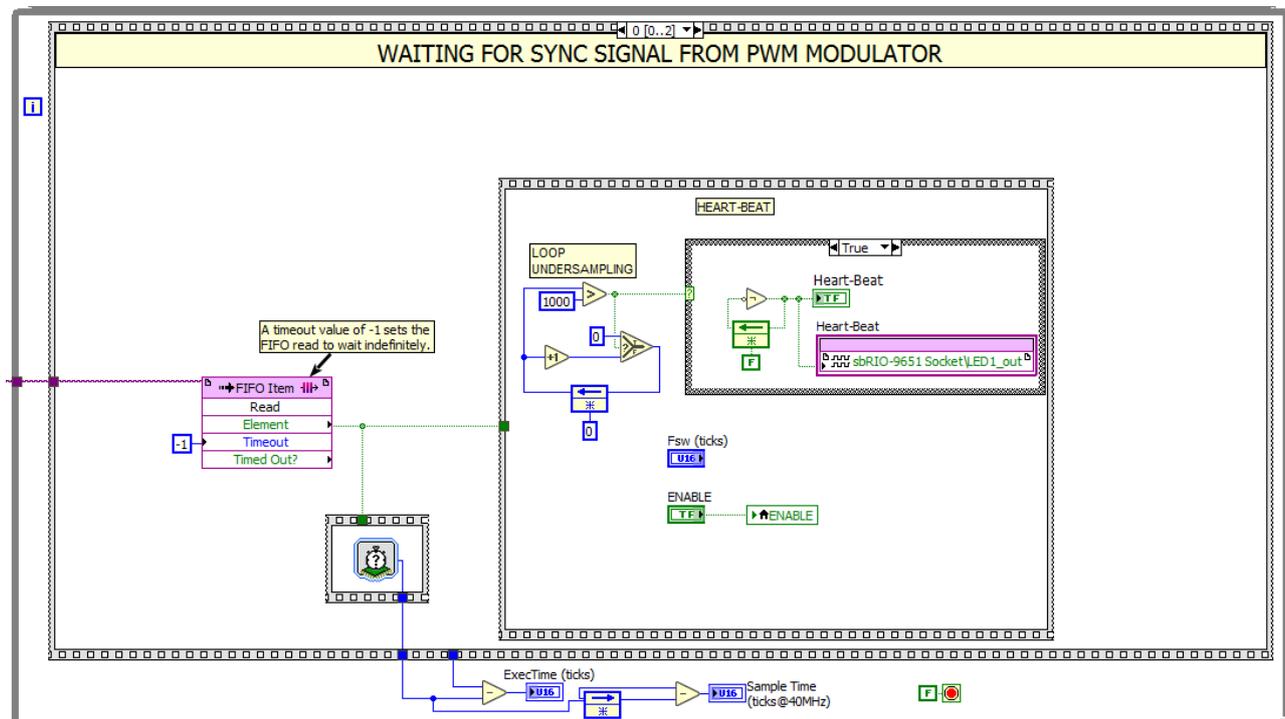


Figura 10. Frame di attesa e gestione dell'heart-beat FPGA.

### 2.3.2 Real-Time target

Il target Real-Time, ovvero il microprocessore presente sulla scheda di controllo, ha il compito di gestire l'intero sistema di ricarica fornendo anche all'operatore tutte le informazioni necessarie. Pertanto il relativo software realizzato sarà composto da un Front Panel (interfaccia operatore) e da un Block Diagram (codice da eseguire). Anche questa parte è stata realizzata in LabVIEW, grazie alla sua estrema portabilità tra i diversi target. La Figura 11 mostra i diversi cicli presenti sul target RT. Sulla sinistra è presente la parte di inizializzazione e avvio dell'FPGA da parte del microprocessore. I due cicli while invece mostrano invece, la parte di lettura e scrittura delle variabili presenti nel target FPGA, mentre il ciclo in alto mostra la parte di visualizzazione delle grandezze su un di grafico funzione del tempo, utile per l'operatore.

La Figura 12 illustra il codice relativo alla lettura dei dati inviati dall'FPGA, per poterli poi visualizzare sull'interfaccia principale. Come precedentemente accennato, vengono acquisiti con una frequenza di campionamento pari a 2 kHz, le estensioni dei moduli SC, la corrente durante la fase di ricarica e le due tensioni a monte e a valle dell'induttore di limitazione. Infine, la Figura 13 mostra la parte di codice sempre eseguita dal target RT, relativa alla visualizzazione numerica dei valori acquisiti, ed all'indicazione grafica e testuale sullo stato del sistema. Sul Front Panel sono stati predisposti degli indicatori di tipo stringa per indicare in modo più immediato lo stato corrente del sistema, utile sia in fase di debug e collaudo funzionale, che durante i veri e propri test sperimentali.

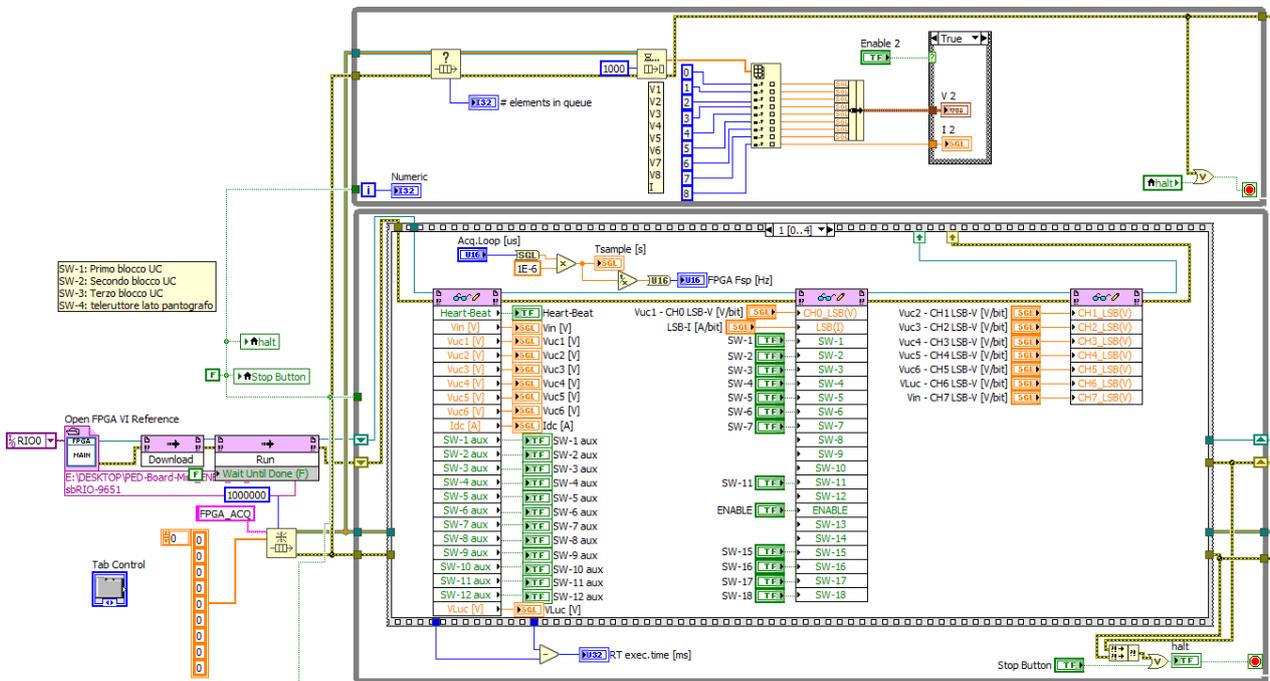


Figura 11. Block Diagram relativo al target Real-Time.

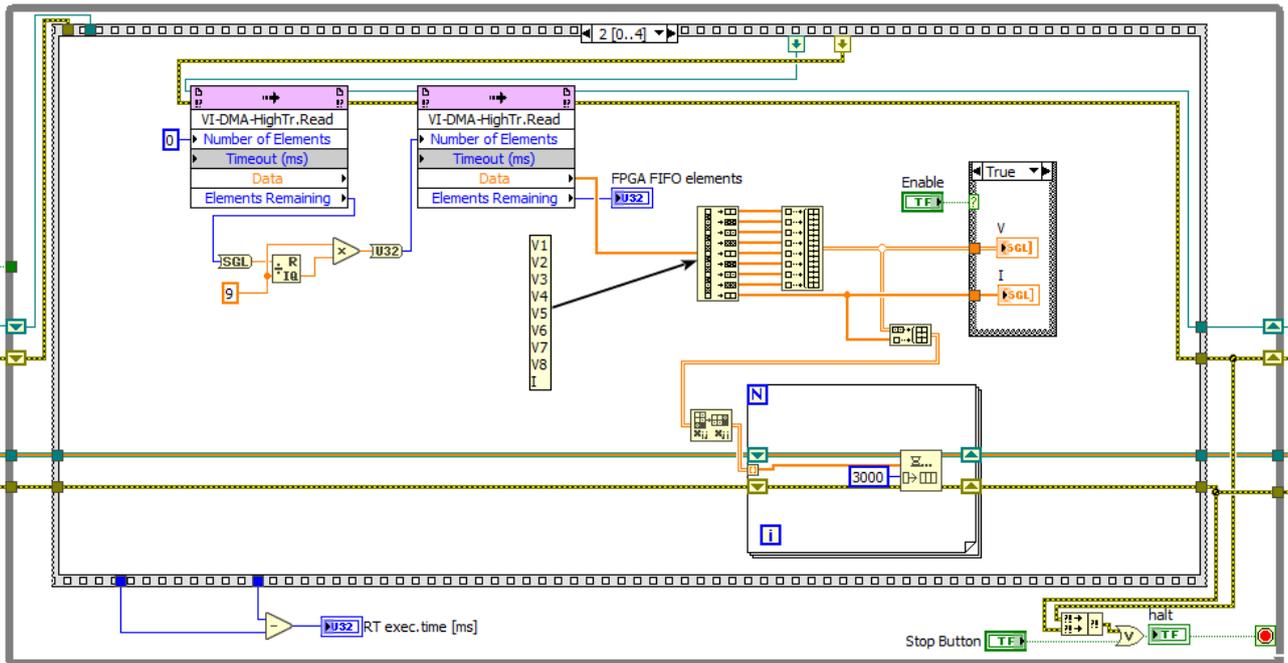


Figura 12. Lettura dati da FPGA per visualizzazione.

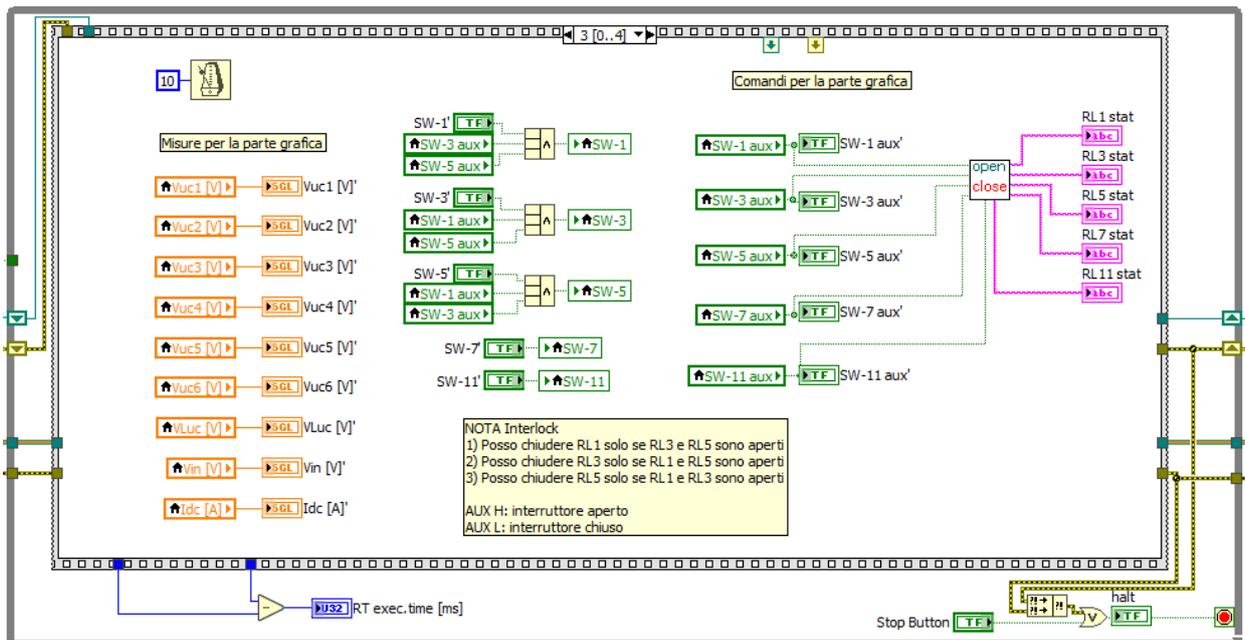


Figura 13. Funzionalità di interlock e visualizzazione misure sistema su indicatori numerici.

### 2.3.3 Macchina a stati

La macchina a stati è eseguita sempre dal target Real-Time, ma merita un paragrafo distinto poiché è effettivamente una parte di codice che viene eseguita in parallelo ai task che sono stati finora descritti. Il compito della macchina a stati è la gestione dell'intera stazione di ricarica in modo autonomo, ovvero senza interazione con l'operatore. Lo stato di inizio è quello relativo a quando la stazione è in attesa dell'arrivo del prossimo veicolo e magari è in atto una fase di ricarica dei SC. Quest'ultima ipotesi, seppur prevista nel codice è di fatto impossibile per le ipotesi relative all'attività della prima annualità, ovvero tra due ricariche successive devono intercorrere almeno 180 s. Quindi durante la prima fase, la macchina a stati controlla continuamente la presenza di tensione, nel range operativo, tramite la misura relativa alla connessione col pantografo. Per poter procedere alla ricarica del sistema di accumulo a bordo del veicolo, è necessario che la tensione di questi non sia inferiore a circa 187 V, per non avere durante la fase di 'travaso' una corrente di picco troppo elevata.

Una volta rilevata tensione, dopo un certo tempo di attesa, passa allo stato successivo.

Qui viene configurato il banco di SC e si procede alla prima scarica, monitorando costantemente la corrente con un passo temporale di 500 µs. La prima scarica procede fino al raggiungimento di una prima corrente di soglia impostabile. Successivamente viene aperto il teleruttore verso il pantografo e si procede con la nuova configurazione dei SC. A questo punto parte la seconda scarica, sempre con verifica della corrente istantanea e fino ad una certa corrente minima che può essere diversa dalla precedente. Lo stesso procedimento è attuato per la terza ed ultima scarica, terminata la quale il sistema apre tutti i teleruttori e si riporta nello stato iniziale.

Per consentire il debug e la verifica delle corrette operazioni, la macchina a stati può essere disabilitata semplicemente agendo su uno specifico stato presente nel programma del target RT.

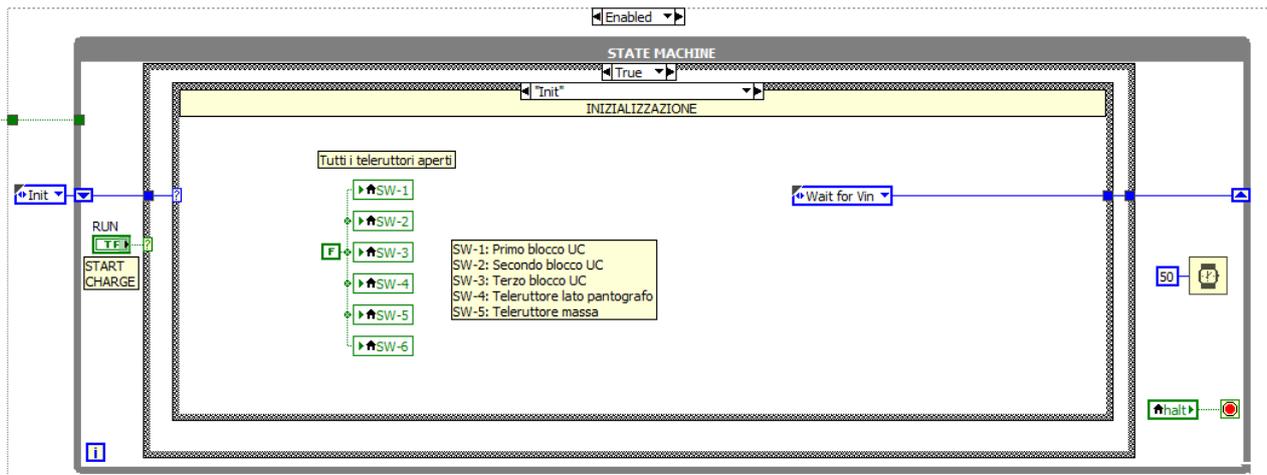


Figura 14. Stato [Init] della macchina a stati.

Il diagramma a blocchi semplificato della macchina a stati è riassunto in Figura 15 e Figura 16. Nelle figure i timeout non sono riportati per non appesantire e rendere poco leggibile lo schema logico. Il controllo sulla corrente nell'induttore viene effettuato praticamente in ogni fase del programma. Questa funzionalità serve a proteggere l'intero sistema da eventuali malfunzionamenti.

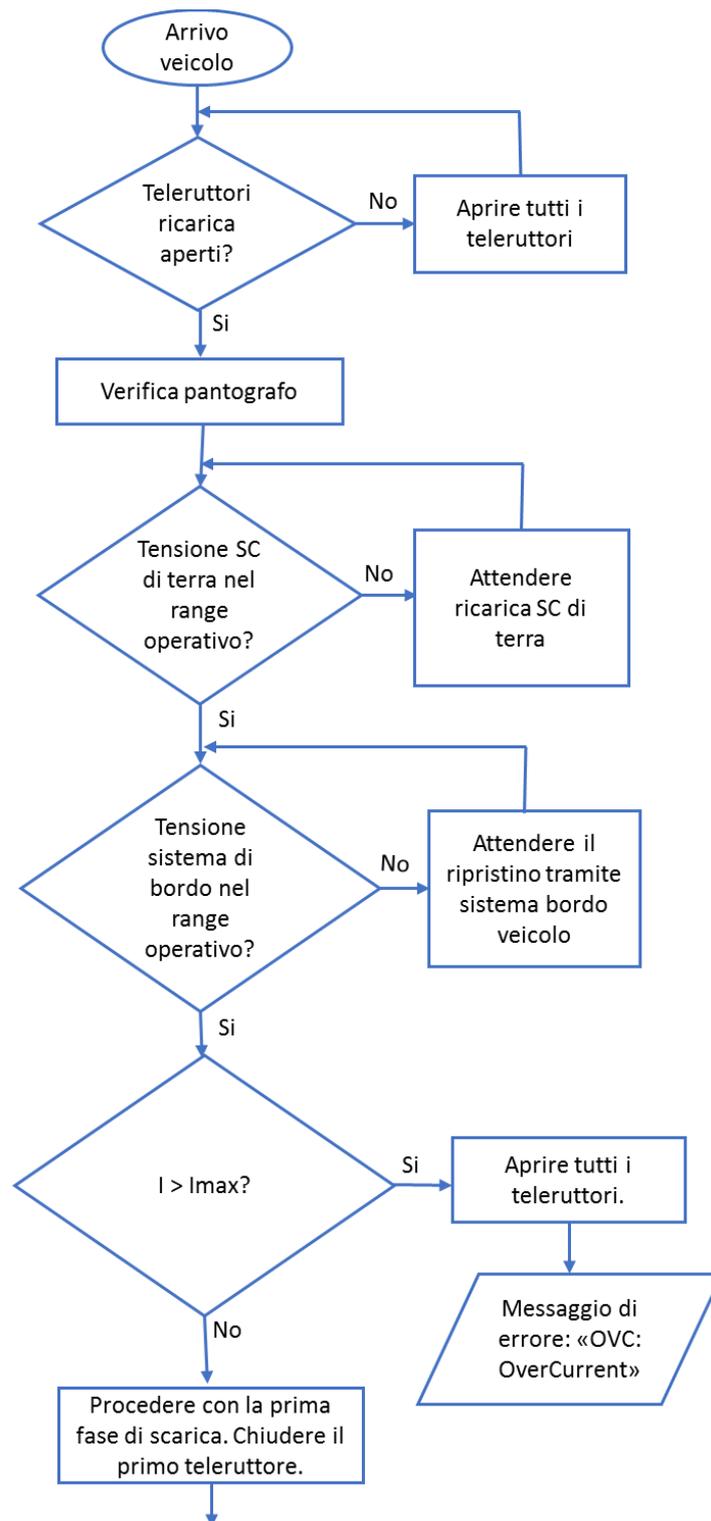


Figura 15. Diagramma a blocchi della macchina a stati per la gestione della stazione di ricarica (parte 1).

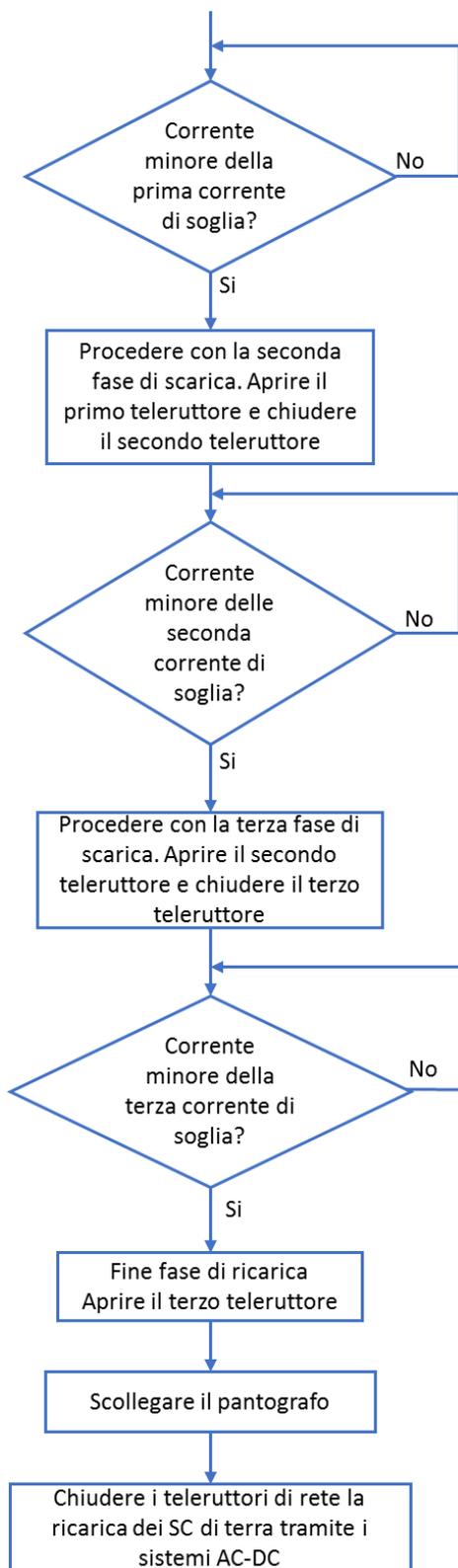


Figura 16. Diagramma a blocchi della macchina a stati per la gestione della stazione di ricarica (parte 2).

## 2.4 Graphical User Interface (GUI)

L'interfaccia grafica si è resa necessaria per poter collaudare l'intera stazione e per comunque monitorarne il funzionamento durante l'esecuzione dei test sperimentali.

La Figura 17 mostra l'interfaccia principale dove sono mostrate diverse informazioni quali ad esempio le otto tensioni disponibili e la corrente nell'induttore di limitazione. Nella parte sinistra invece, si hanno le indicazioni circa il trasferimento dei valori misurati da FPGA a target Real-Time con riportato anche il passo di esecuzione dei loop sul microprocessore. Questo ultimo parametro è assolutamente importante poiché fornisce informazioni circa il tempo di risposta che ci si può attendere in presenza di un qualsiasi evento. Un valore tipico è dell'ordine dei 10 ms.

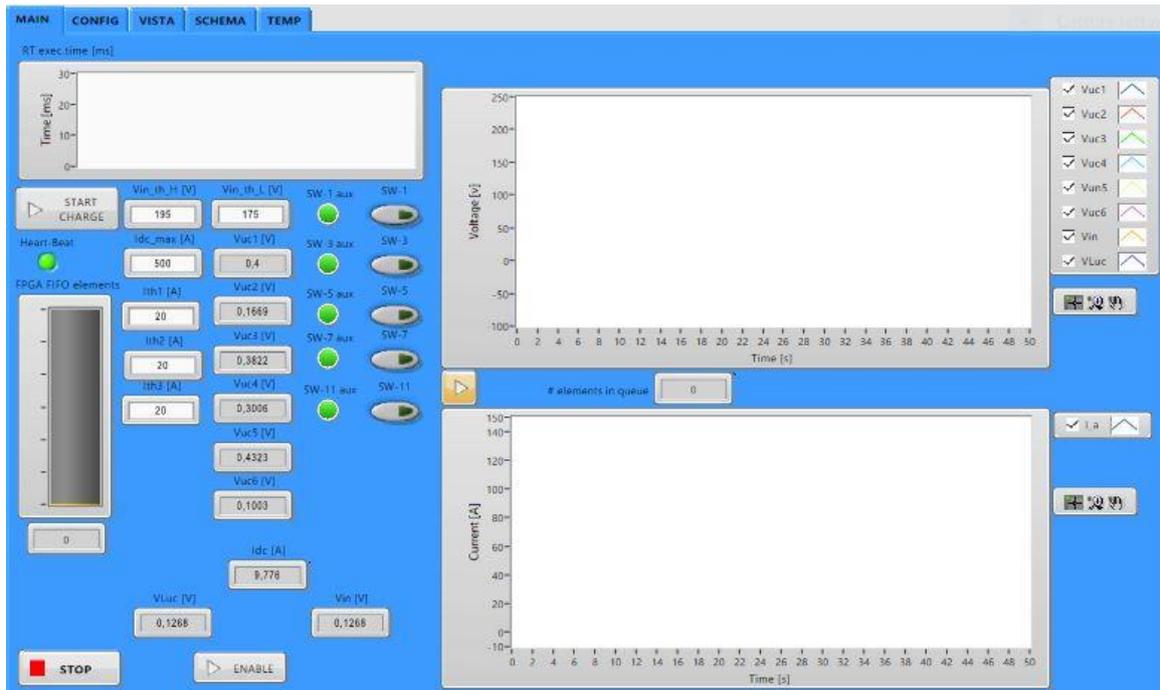


Figura 17. Main tab del Front Panel LabVIEW.

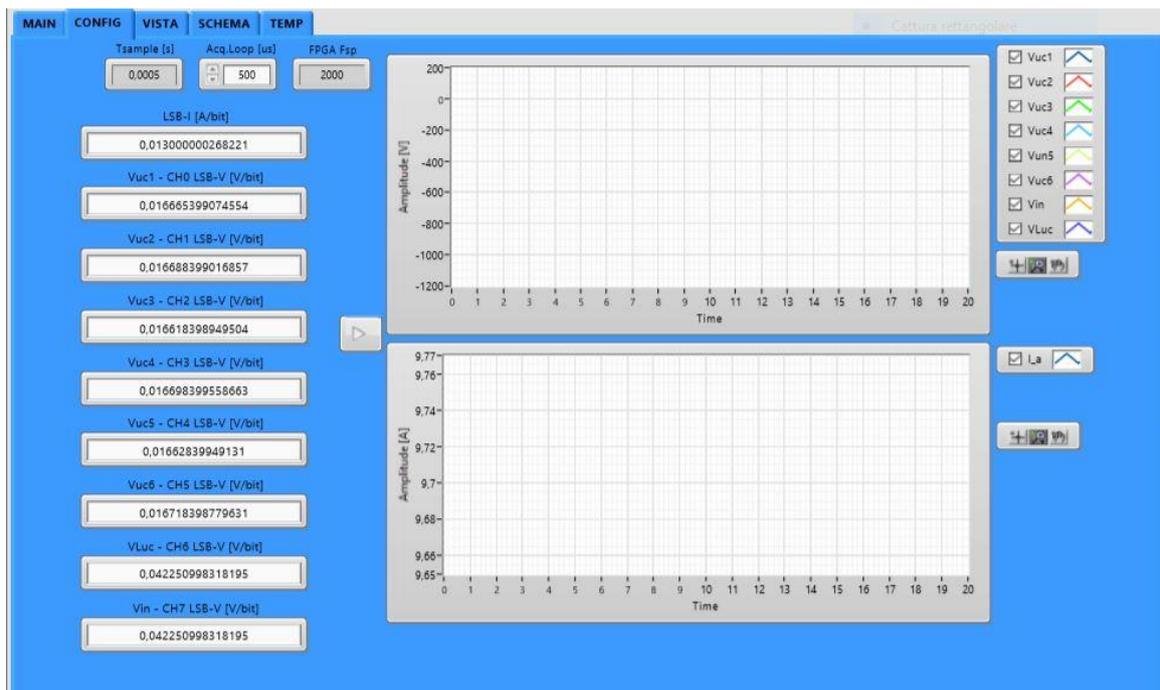


Figura 18. Scheda 'CONFIG' del Front Panel relativo al target RT.

Il secondo tab del Front Panel mostrato in Figura 18 illustra il pannello di configurazione e scalatura delle misure, oltre ai dati relativi al campionamento su FPGA. Anche qui è possibile avere le indicazioni sulle misure attualmente campionate.

Infine, per la fase di collaudo e quando non si vuole utilizzare la macchina a stati, è stata prevista un'interfaccia di controllo totalmente manuale avente il Front Panel riportato in Figura 19.

Gli ulteriori due tab 'schema' e 'temp' non sono riportati nel seguente report, il primo mostra lo schema di collegamento tra la scheda di controllo ed il sistema completo, il secondo è impiegato solamente per funzionalità di debug.

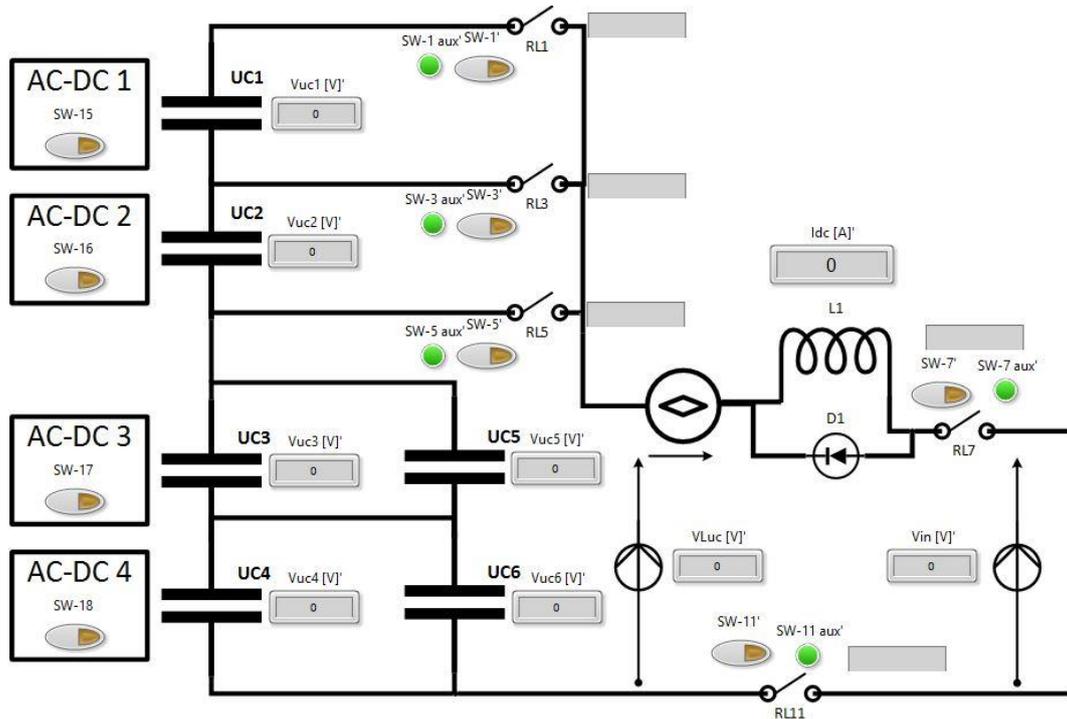


Figura 19. Circuito con posizionamento dei teleruttori e comandi (modalità manuale, tab 'VISTA').

### 3 Verifica sperimentale

In questo paragrafo sono mostrati i risultati ottenuti tramite l'esecuzione di prove sperimentali sulla stazione di ricarica. La campagna prove è stata eseguita presso il Centro Ricerche ENEA della Casaccia di Roma.

I primi test funzionali sono stati eseguiti emulando la presenza ed il comportamento del bus con un apposito ciclatore. Questo ha consentito di regolare e limitare la corrente durante l'operazione di 'travaso'. La Figura 20 mostra una sequenza di tre scariche eseguite con ciclatore a correnti prossime a quella di progetto del sistema. L'oscillogramma in alto, acquisito tramite il software di controllo precedentemente illustrato, mostra le tensioni sui singoli moduli SC ( $V_{uc1} \dots V_{uc6}$ ) e le tensioni misurate a monte e a valle dell'induttore di limitazione. Per la nomenclatura si faccia riferimento allo schema di Figura 19.

La prima verifica sperimentale relativa al trasferimento diretto di energia da SC della stazione di terra verso i SC presenti sul bus ha portato i risultati mostrati in Figura 21. La traccia celeste è la corrente misurata dalla stazione di ricarica durante il trasferimento, si possono notare i tre picchi di corrente dove il secondo è quello di ampiezza maggiore così come valutato durante la fase di analisi (PAR2016). Per meglio mostrare la fase di trasferimento diretto, i risultati del test sono stati salvati in formato Excel e analizzati tramite il software Matlab. Lo zoom della Figura 21 è riportato nella Figura 22.

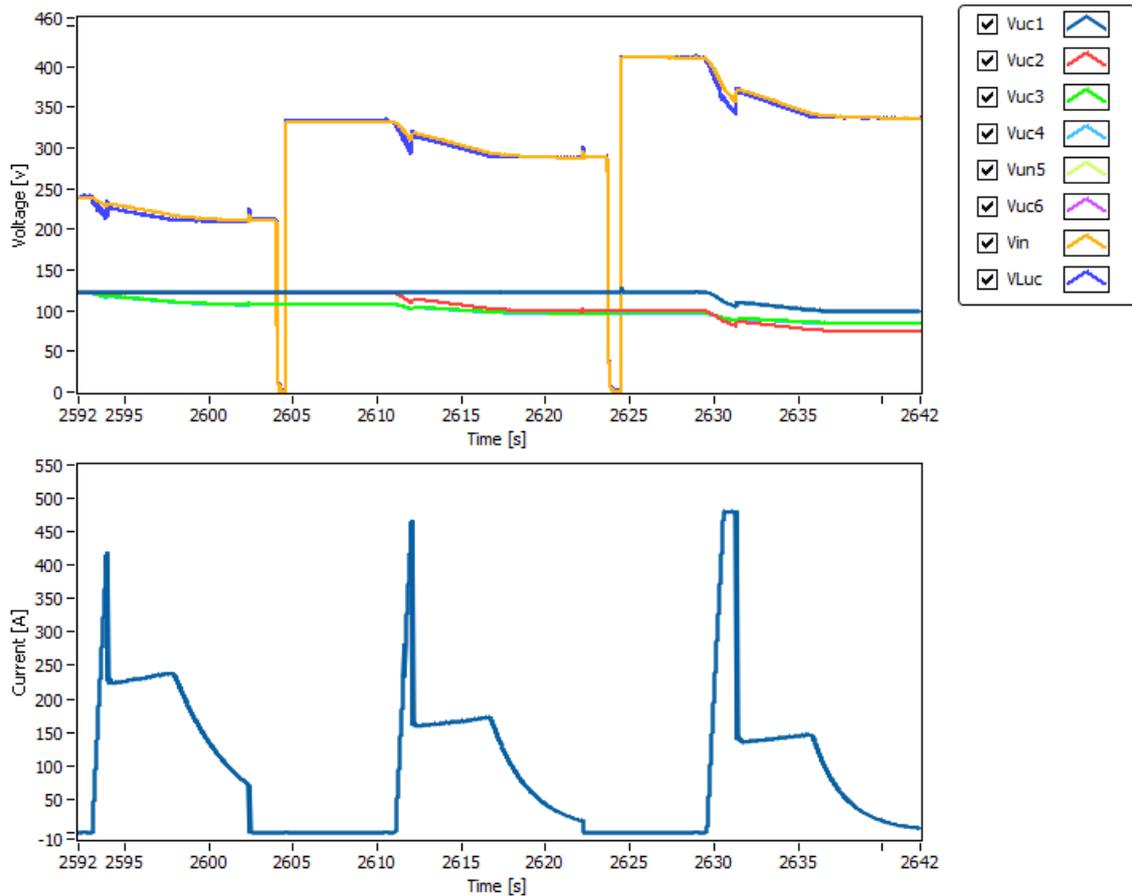


Figura 20. Sequenza di tre scariche con ciclatore. In alto le tensioni, in basso la corrente.

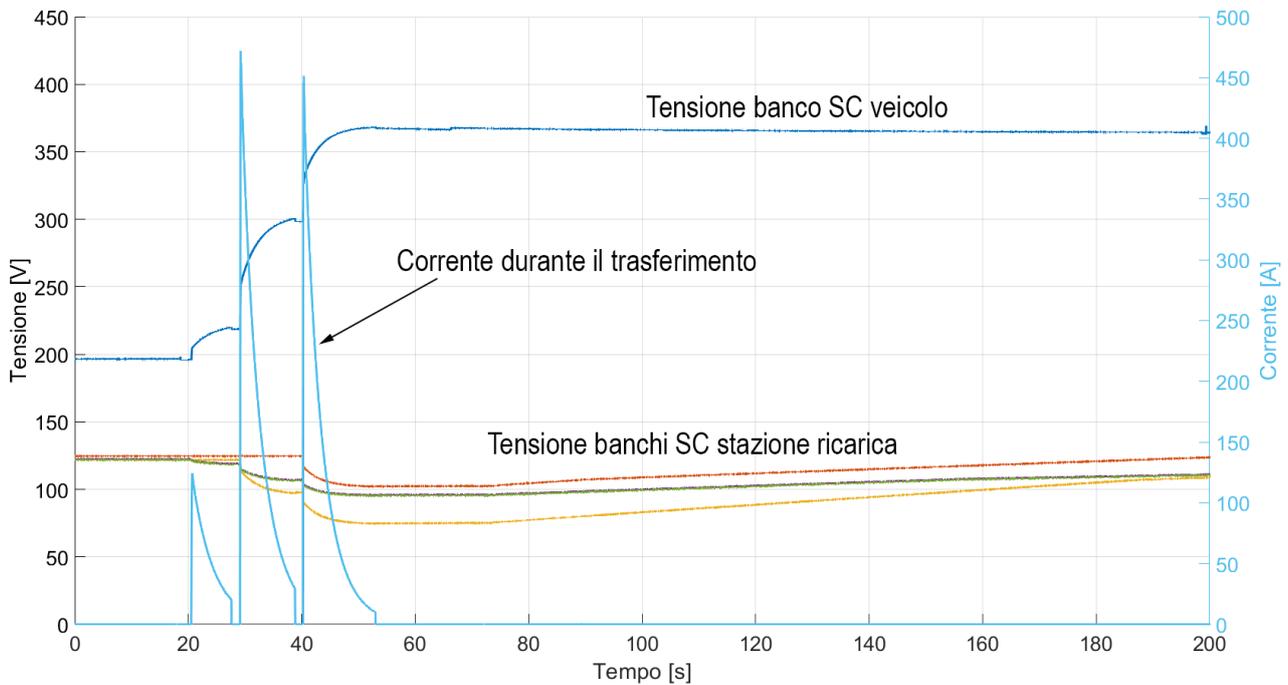


Figura 21. Sequenza di tre trasferimenti diretti SC→SC e successiva ricarica dei banchi SC della stazione di terra. Tensioni  $V_{uc1} \dots V_{uc4}$ .

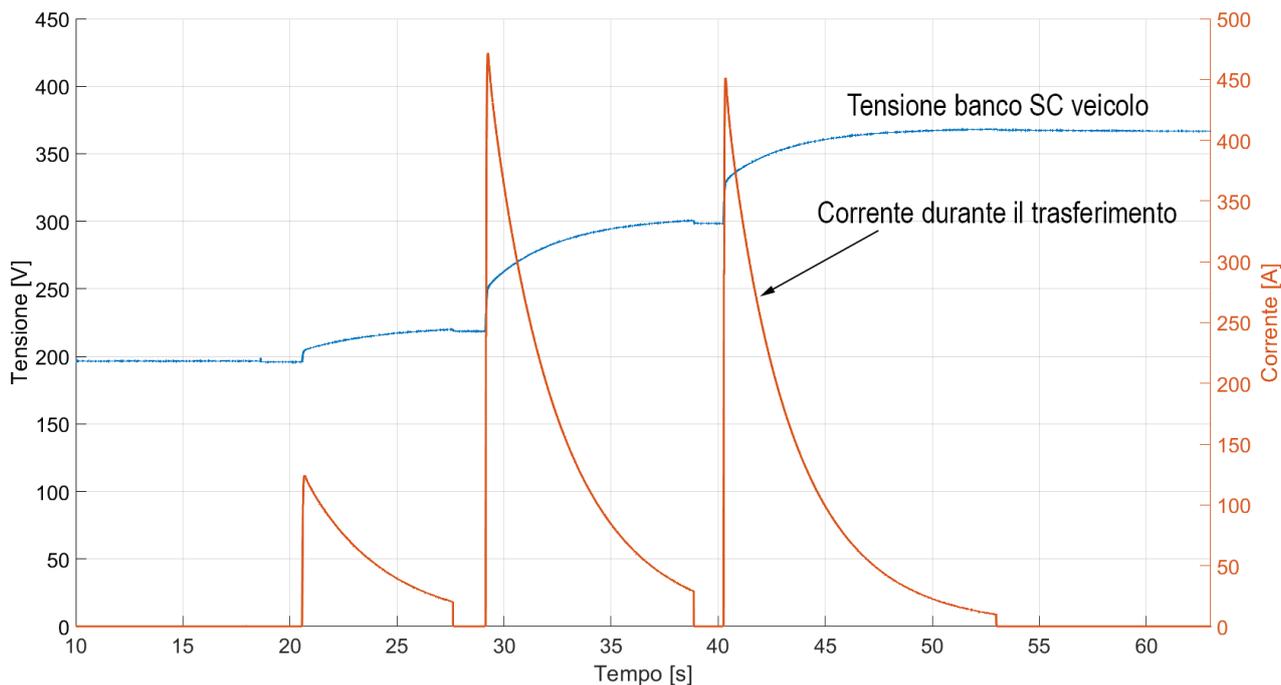


Figura 22. Zoom della fase di travaso relativa alla Figura 21.

## 4 Conclusioni

L'attività descritta ha consentito di realizzare e provare sul campo una stazione di ricarica flash per trasporto pubblico urbano. Gli elementi teorizzati durante la prima annualità, sono stati qui realizzati e collaudati. E' stato terminato il progetto della stazione che è stata quindi realizzata da una azienda esterna. Successivamente all'identificazione del sistema di controllo ed alla progettazione dell'interfaccia tra questi e la stazione di ricarica, è stato sviluppato il relativo software di gestione.

I risultati inerenti la verifica sperimentale mostrano il corretto dimensionamento e le necessarie funzionalità. La fase progettuale e di dimensionamento è stata validata sia con test preliminari al ciclatore che con prove di trasferimento diretto tra i SC della stazione e quelli a bordo del veicolo.

## 5 Riferimenti bibliografici

1. F. Ortenzi, G. Pede, S. Orchi, "Analisi delle prestazioni di un sistema di ricarica ibrido per TPL", ENEA 2015.
2. F. Ortenzi, M. Pasquali, G. Pede, A. Lidozzi, M. Di Benedetto, " Ultra-fast charging infrastructure for vehicle on-board ultracapacitors in urban public transportation applications", EVTeC and APE Japan on Sept.30-Oct.3, 2018.
3. W. Su, H. Rahimi-Eichi, W. Zeng, M.Y. Chow, "A Survey on the Electrification of Transportation in a Smart Grid Environment", IEEE Trans. on Ind. Informatics, vol.8, no.1, pp. 1-10, February 2012.