



Consiglio Nazionale delle Ricerche

# **Piano Annuale della Ricerca CNR PAR 2013-2014**

---

III Accordo di Programma MSE/CNR

**CONSUNTIVO DELLE ATTIVITÀ CNR**

**RELAZIONE TECNICA PROGETTO MOBILITA' ELETTRICA**

Dipartimento di Ingegneria,  
ICT e Tecnologie per  
l'Energia e i Trasporti

1 Aprile 2014  
28 febbraio 2016

Il presente documento è stato creato dall'Unità di coordinamento del Dipartimento di Ingegneria, ICT e Tecnologie per l'Energia e i Trasporti con il contributo dei Coordinatori Scientifici di Progetto e dei Responsabili Amministrativi delle unità operative degli Istituti CNR e delle Università.

Si ringraziano tutti coloro che hanno attivamente e pazientemente collaborato . Un particolare ringraziamento va ai colleghi che operano negli uffici amministrativi degli Istituti CNR e delle Università.

Ideazione, realizzazione grafica e impaginazione a cura della sig.ra Silvia Presello.  
La costruzione del documento in PDF è a cura della sig.ra Silvia Presello  
Redazione finale delle tabelle amministrative riassuntive a cura della dott.ssa Valentina Cozza

## Progetto:

# Sviluppo di architetture innovative per stazioni di ricarica rapida, integrazione efficiente con la rete elettrica, logiche di controllo e comunicazione in contesto smart grid

---

### Premessa

Oggi giorno l'esigenza di una mobilità sostenibile nella nostra società può essere soddisfatta da mezzi elettrici ed ibridi, caratterizzati da elevate efficienze di conversione energetica e ridotte emissioni inquinanti. Pertanto l'attuale mobilità, per la gran parte ancora basata sui motori a combustione interna e quindi sull'utilizzo di combustibili fossili, potrebbe trovare una valida alternativa nei sistemi di propulsione elettrici ed ibridi di tipo plug-in (generalmente identificati entrambi con l'acronimo PEV). Ciò nonostante le quote di mercato dei PEV rimangono piuttosto esigue e la diffusione di tali veicoli è influenzata da diversi fattori abilitanti, principalmente legati alla maturità tecnologica e costi dei sistemi di accumulo, agli investimenti da parte dei principali costruttori di veicoli e allo sviluppo di adeguate infrastrutture di ricarica dedicate alla mobilità elettrica.

In questo contesto, il recente sviluppo delle tecnologie dei sistemi di accumulo e di conversione dell'energia ha favorito l'immissione sul mercato di nuove generazioni di PEV, con prestazioni sicuramente più vicine alle aspettative di utenti sia privati che aziendali e costi contenuti anche grazie a politiche di incentivazione. Inoltre la ricerca e le sperimentazioni condotte negli ultimi anni hanno consentito di migliorare la densità di energia e tempi di ricarica dei sistemi di accumulo per renderli compatibili con le esigenze della mobilità urbana. Tali avanzamenti tecnologici hanno incrementato ulteriormente l'interesse da parte delle aziende verso lo sviluppo di veicoli elettrici ed ibridi tipo plug-in, la cui tecnologia è ormai pronta per una produzione su larga scala e non più per la sola sperimentazione prototipale. Tuttavia, nonostante il recente riscontro positivo di queste tipologie di veicoli da parte di varie categorie di utenti (servizi di car sharing, società di noleggio, servizio taxi, delivery last mile, ecc.), le attuali autonomie ancora limitate dei veicoli elettrici rimangono spesso in al di sotto dei livelli medi di percorrenza attesi dalla maggioranza degli utenti, in particolare privati.

Un ulteriore fattore che influenza lo sviluppo del mercato dei veicoli elettrici ed ibridi plug-in è legato alla disponibilità di una diffusa infrastruttura di ricarica, di facile accesso in ambito sia pubblico che privato. Tale infrastruttura richiede un collegamento alla rete di distribuzione ed un dimensionamento tale da garantire ad ogni utente l'accesso immediato ai sistemi di ricarica. Nella fase di progettazione di tale infrastruttura è necessario quindi tenere in conto le esigenze, le abitudini e gli stili di guida dei diversi utenti, al fine di rendere i punti di ricarica facilmente fruibili. L'infrastruttura va inoltre integrata con sistemi intelligenti, basati su protocolli di comunicazione innovativi, utili a soddisfare le diverse esigenze di utenti dislocati geograficamente sul territorio. Lo sviluppo di tali infrastrutture di ricarica andrebbe inoltre concordato con gli enti locali tenendo in

conto l'organizzazione del piano urbano, relativo a zone a traffico limitato, affiancandolo, ove possibile, a servizi preesistenti di bike-sharing o car-sharing. Infine va tenuto in conto l'impatto che la ricarica dei veicoli elettrici ed ibridi plug-in può avere sull'intera rete di distribuzione.

Ne segue in definitiva che la diffusione della mobilità elettrica deve necessariamente essere supportata dalla disponibilità e sviluppo di un'adeguata infrastruttura di ricarica, in grado di garantire nel contempo facilità di accesso da parte degli utenti ed elevate potenze ed efficienze di ricarica.

### **Quadro generale di riferimento programmatico del progetto**

Dalle considerazioni riportate in premessa si evidenzia un crescente interesse della ricerca scientifica verso l'approfondimento e lo sviluppo di specifiche architetture di potenza, basate su sistemi di conversione innovativi, in grado di ridurre i tempi di ricarica dei PEV fino a renderli confrontabili con quelli dei veicoli tradizionali. A riguardo, particolare attenzione richiede lo studio delle ripercussioni che tali tipologie di ricarica hanno sulla rete elettrica. Inoltre, nel caso di applicazioni V2G (Vehicle to Grid) e di generazione distribuita, è richiesto l'approfondimento delle principali problematiche d'interfacciamento di tali sistemi con la rete, come ad esempio quelle di sincronizzazione e l'islanding. Per tali applicazioni è necessario tra l'altro tenere conto delle normative che definiscono i limiti delle emissioni armoniche di tensione e corrente in rete. Relativamente alle architetture distribuite, la gestione e controllo di diversi impianti di ricarica, a supporto di varie tipologie di flotte di veicoli, richiedono un opportuno sviluppo dei livelli di comunicazione delle informazioni tra i veicoli in ricarica e rete, in logiche aggregative (Multi-Agent-Systems). Tali studi sono infine motivati da una crescente penetrazione nella rete elettrica nazionale di impianti di produzione basati sulle fonti rinnovabili e di sistemi di generazione distribuita, che richiedono una significativa innovazione nella gestione delle reti di trasmissione e distribuzione, per integrarvi quote crescenti di intelligenza e di flessibilità.

In particolare, nell'ambito di questo progetto sulla mobilità elettrica, per il PAR 2013\_14, sono state studiate architetture innovative per stazioni di ricarica rapida, che favoriscono l'integrazione di sistemi di accumulo e generazione distribuita con la rete elettrica. Tale attività è stata supportata da uno studio sulle strategie di controllo per convertitori active front-end, specifici per applicazioni smart grid. Le attività sulla mobilità elettrica hanno inoltre riguardato lo sviluppo di architetture per sistemi di comunicazione bidirezionali a supporto della gestione ottimizzata di reti distribuite di stazioni di ricarica per applicazioni vehicle to grid (V2G).

Le attività, svolte congiuntamente tra i gruppi di ricerca del CNR e di Università italiane, mirano a fornire al sistema imprenditoriale italiano gli strumenti utili allo sviluppo di tecnologie energetiche innovative.

### **Obiettivo generale del Progetto**

L'obiettivo generale del progetto consiste nello studio e caratterizzazione sperimentale di dimostratori di laboratorio, per lo sviluppo tecnologico e l'ingegnerizzazione di sistemi di ricarica rapida, basati su unità di accumulo di tipo buffer e tecnologie innovative di conversione statica dell'energia elettrica, per veicoli elettrici ed ibridi plug-in. A supporto dell'ottimizzazione delle applicazioni V2G e delle operazioni simultanee di ricarica rapida, sono inoltre identificate e valutate

differenti strategie di gestione dei flussi energetici e sviluppate architetture di comunicazione bidirezionali per l'interconnessione dei sistemi di ricarica in sistemi informativi web, in una logica Smart Grid.

### Elenco dei Partecipanti al Progetto

Unità di Ricerca
Istituto Motori (CNR IM)
CNR Istituto di Informatica e Telematica (CNR-IIT)
Università di Bologna - Dipartimento d'Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione (UNIBO-DEI)

### Partecipazione a progetti su tematiche affini

#### CNR-IM

Progetto PON03 - Distretto ad Alta Tecnologia – M.I.C.C.A. (Microgrid Ibride in Corrente Continua ed Alternata)

Periodo: 2014-2015

Finanziamento: 730.000 Euro - Cofinanziamento 15 %

Attività: il progetto MICCA si pone l'obiettivo di sviluppare tecnologie e strategie di gestione e controllo innovative volte all'incremento delle prestazioni e delle funzionalità di diversi componenti e sottosistemi di una micro-rete, al miglioramento della qualità della fruizione dell'energia elettrica e dell'efficienza energetica in generale tramite l'introduzione di componenti innovativi dotati di regolabilità intelligente.

#### CNR-IIT

Progetto Premiale MIUR (Bando 2013) ICT4SM (ICT per la Mobilità sostenibile)

Periodo: 2014-2015

Finanziamento: 40.800 Euro

Attività: Sviluppo di *strumenti ICT* per il contenimento dei costi energetici e alla riduzione dell'inquinamento attraverso il *supporto di applicazioni di eco-driving ed eco-routing*, e per fornire agli utenti una valutazione dell'impatto ambientale del loro profilo di mobilità, promuovendo modelli cooperativi e multi-modalità (e.g. car/bike pooling e sharing) per la mobilità sostenibile. Uno degli obiettivi primari di ICT4SM è di rendere possibile la "situational awareness" nel sistema di trasporto, e cioè la capacità di ottenere una descrizione dettagliata e continuamente aggiornata dello stato del sistema sia nel suo complesso che per i singoli veicoli, al fine di fornire dei feedback agli utenti sulla sostenibilità dei propri profili di mobilità anche in relazione a quelli degli altri utenti appartenenti alla stessa comunità.

#### CNR-IIT

Progetto Europeo H2020-GV-2014 ESPRIT (Easily diStributed Personal RapId Transit)

Periodo 2015-2017

Finanziamento: 216.000 Euro

Attività: L'obiettivo del progetto ESPRIT è di sviluppare un *innovativo prototipo di veicolo elettrico* che possa essere connesso meccanicamente ed elettricamente ad altri veicoli dello stesso tipo per facilitare la realizzazione di sistemi di car sharing cittadino e suburbano più efficienti e bilanciati. All'interno di questo progetto il CNR contribuisce allo sviluppo degli strumenti di analisi ed agli ambienti di simulazione per valutare i benefici economici, sociali ed ambientali del sistema ESPRIT nel suo complesso. Inoltre, il CNR contribuisce allo sviluppo di nuovi algoritmi per ottimizzare la redistribuzione dei veicoli all'interno del sistema car sharing e per ottimizzare la ricarica dei veicoli tenendo conto dei vincoli operativi del servizio di car sharing.

### **Coordinamento tra le attività del presente PAR e le attività condotte dagli altri due beneficiari (ENEA ed RSE spa) nell'ambito dei rispettivi AdP**

Nell'ambito del Progetto sulla Mobilità Elettrica la collaborazione con RSE ed ENEA si è basata su incontri tecnici con rappresentanti dei due enti, finalizzati ad un confronto sullo stato di avanzamento tecnico scientifico conseguito nelle rispettive unità di ricerca e sulla possibilità di perseguire obiettivi comuni con attività di tipo complementare. In particolare tali incontri si sono svolti in occasione di meeting e Workshop tenuti presso l'Università di Bari e di Cassino e varie altre sedi in cui si sono svolte riunioni di progetto, durante i quali proficua è stata la condivisione dei risultati sulle azioni da intraprendere a livello nazionale ed internazionale, per favorire la diffusione di infrastrutture di ricarica a supporto della mobilità elettrica sia di tipo privato che pubblico. Durante tali workshop, meeting e riunioni è stato inoltre possibile avere un confronto con aziende del settore elettrico ed automotive per intraprendere azioni di ricerca e sviluppo finalizzata all'affermazione a lungo termine di sistemi di ricarica non solo di tipo conduttivo, bensì anche di tipo induttivo statico e dinamico.

Nell'ambito della "Ricerca di Sistema", le attività condotte da ENEA nei precedenti PAR, attinenti quest'area tematica, sono riportate nei seguenti report:

1. Giovanni Pede, Ennio Rossi, Carlo Villante, "*Studio di massima di una stazione di ricarica rapida per linea di trasporto pubblico urbano*", Report RdS/2012/092;
2. G.Tomasso, M. Di Monaco, M. D'Arpino, U. Abronzini "*Progettazione di un convertitore modulare per infrastrutture di ricarica con accumulo integrato*", Report RdS/PAR2013/099
3. Fioricci, E. Ometto, A. "*Studio-teorico sperimentale delle prestazioni di convertitori DCDC per la ricarica rapida*" Report RdS/2013/134;
4. Genovese, F. Ortenzi, B. Di Pietra, D. Sbordone, "*Realizzazione e sperimentazione di una stazione di ricarica rapida in c.c. nel C.R. Casaccia*", Report RdS/2013/135;
5. Antonino Genovese, Francesco Vellucci, "*Realizzazione di un caricabatterie reversibile*", Report RdS/2013/267.

Dall'analisi dei contenuti dei suddetti report, risulta che ENEA ha condotto nei precedenti PAR attività sulle stazioni di ricarica rapida, e relativi componenti, principalmente basate su simulazione numerica e/o caratterizzazioni di sistemi di tipo commerciale. Pertanto dal confronto con tali report risulta che l'attività proposta dal CNR nella tematica C.4: Mobilità Elettrica si differenzia sostanzialmente per l'approccio teorico/sperimentale, finalizzato allo sviluppo tecnologico delle stazioni di ricarica rapida a supporto della mobilità elettrica nazionale, con particolare attenzione alle ripercussioni in rete ed

alla gestione delle informazioni in sistemi intelligenti di tipo distribuito. Le soluzioni adottate in questa tematica sono incentrate sullo sviluppo di un dimostratore di stazione di ricarica in scala 1:1, con relativi aspetti di gestione e controllo, che presenta caratteristiche fortemente innovative, rispetto alle soluzioni di tipo commerciale analizzate nelle suddette relazioni. L'architettura di potenza e di segnale proposta è di tipo "aperto", per consentire la corretta identificazione delle migliori soluzioni da adottare nelle reali fasi di installazioni su larga scala. I principali vantaggi derivanti da queste scelte si riscontrano principalmente nella possibilità pratica di testare/integrare sistemi di conversione, dimensionati e realizzati ad hoc per la specifica applicazione, e sistemi di comunicazione bidirezionali, a supporto della gestione ottimizzata di reti distribuite di stazioni di ricarica. Tale architettura favorisce inoltre lo sviluppo e l'implementazione di algoritmi di ricarica ottimizzata in un contesto di tipo smart-grid.

### **Linee di attività sulla Mobilità Elettrica da proseguire nel prossimo piano triennale (2015-2017)**

Le attività svolte in questo progetto iniziano con il PAR 2013\_14 e sono in linea con il Piano Triennale 2012-2014 (C.4 Mobilità Elettrica). Inoltre tali attività si integrano pienamente con quanto riportato nel Piano Triennale 2015-2017. Pertanto per il triennio 2015-2017 i partner coinvolti in questo Progetto sulla Mobilità Elettrica non prevedono la chiusura delle attività iniziate in questo PAR e intendono proseguire tali attività sviluppando le tematiche di ricerca riportate di seguito.

**CNR- IM** intende proseguire le attività di ricerca per il triennio 2015-2017 sulla tematica delle stazioni di ricarica rapida per PEV, andando ad integrare il dimostratore, già realizzato presso i laboratori dell'Istituto Motori di Napoli, con una micro-rete in corrente continua, in grado di interfacciare diverse soluzioni innovative di accumulo/generazione di energia elettrica da fonti rinnovabili. Tale studio consente di valutare le strategie di gestione dei flussi energetici tra i vari utenti della micro-rete, finalizzate ad ottimizzare le diverse operazioni della micro-rete in termini di efficienza complessiva di conversione.

Inoltre saranno studiate architetture di propulsione innovative di tipo plug in, che prevedono la gestione ottimizzata dell'energia a bordo mediante l'integrazione e l'impiego di convertitori innovativi e sistemi di accumulo di tipo ibrido (con tecnologie innovative di litio e supercapacitori).

Per il triennio 2015-2017, **CNR- IIT** intende proseguire le attività di ricerca su due tematiche principali. La prima riguarda l'integrazione prototipo di un sistema centralizzato di monitoraggio e gestione di infrastruttura di ricarica del protocollo Open Smart Grid Protocol (OSGP) definito da ETSI per abilitare l'interconnessione di tale sistema con altri dispositivi Smart Grid (ad es., pannelli fotovoltaici, smart meters). Questo permetterà ad esempio una gestione coordinata della stazione di ricarica con eventuali fonti rinnovabili e storage elettrici ad essa associata. La seconda tematica riguarda la possibilità di sviluppare strumenti ICT per permettere all'utente finale una più diretta interazione con il sistema di ricarica, ad esempio per trasferire dati sullo stato del veicolo o le sue preferenze di ricarica. Il proseguimento delle attività svolte da **UNIBO-DEI** potrebbe focalizzarsi sui seguenti temi.

#### 1) Confronto di varie topologie di convertitori active-front end

Le strutture di conversione più interessanti, per applicazioni trifasi, sono quelle multilivello, di tipo diode-clamped oppure T-type diode-clamped. Anche con soli tre livelli, è possibile migliorare

significativamente sia la qualità delle correnti di linea e della tensione del bus dc, e conseguentemente i requisiti sui filtri sono minori a parità di frequenza di commutazione.

Il convertitore diode-clamped può essere realizzato facilmente con qualunque numero (dispari) di livelli di tensione, anche se la complessità circuitale può rapidamente diventare eccessiva.

Il convertitore T-type diode-clamped è normalmente realizzato solo nella configurazione a tre livelli, ed è particolarmente apprezzato per l'elevata efficienza.

Queste famiglie di convertitori sono particolarmente idonee ad applicazioni che chiedono una tensione DC maggiore del valore di picco della tensione concatenata, poiché sono convertitori cosiddetti "in salita". Tuttavia, qualora la tensione dc debba essere inferiore, occorre prevedere uno stadio aggiuntivo di conversione dc-dc per adattare il livello di tensione del bus dc a quello del sistema utilizzatore.

Una soluzione che potrebbe elegantemente risolvere questo problema è un'evoluzione del convertitore T-type diode-clamped, nota come convertitore a matrice AC/DC. Questo convertitore è "in discersa", e conseguentemente la tensione del lato DC è sempre inferiore a quella concatenata in ingresso. Il convertitore è ancora di tipo bidirezionale e di non richiede filtri in ingresso particolarmente gravosi.

Le diverse topologie dovrebbero essere confrontare in termini di efficienza, rendimento, sollecitazione dei componenti.

## 2) Confronto con tecnologie basate su componenti in Carburo di Silicio

I convertitori statici sono oggi basati sul silicio, che tuttavia ha raggiunto molti dei suoi limiti tecnologici. Alcune tecnologie emergenti, tra cui quella del carburo di silicio (SiC) e del nitrato di gallio (GaN), promettono prestazioni eccellenti in virtù del maggior energy-gap e della più alta conducibilità. In particolare i componenti mosfet SiC attualmente disponibili presentano tensione di blocco di 1200 V, basse perdite di commutazione e più alte temperature ammissibili di giunzione. Nel breve futuro è necessario comparare l'utilizzo di questa tecnologia con quella del silicio per valutare le ottimizzazioni richieste nella progettazione dei convertitori e i possibili vantaggi che ne possano derivare.

### **Costi**

Costo totale del progetto € 272.500,00

Il dettaglio dei costi è riportato nelle tabelle di rendicontazione.

## Linea progettuale 1: Sviluppo di un dimostratore basato su un'architettura in corrente continua per la ricarica rapida di veicoli elettrici ed ibridi plug-in (PEV).

### Elenco dei Partecipanti alle attività

Unità di Ricerca	wp
Istituto Motori (CNR IM)	1.1
Istituto di Informatica e Telematica (CNR-IIT)	1.1
Università di Bologna - Dipartimento d'Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione (UNIBO-DEI)	1.1 - 1.2

### Stato dell'arte

La diffusione della mobilità sostenibile e l'ampliamento delle quote di mercato dei veicoli elettrici ed ibridi plug-in si basano sulla necessità di perseguire l'obiettivo essenziale dell'incremento di autonomia in solo elettrico. Infatti, sebbene la distanza media giornaliera percorsa da un veicolo è stimata inferiore ai 50 km, la scelta degli utenti nell'acquisto di un veicolo è generalmente ancora influenzata dalla necessità di percorrere distanze maggiori [1]. A riguardo, negli ultimi anni lo sviluppo delle tecnologie di accumulo basate sul litio, caratterizzate da elevati valori di energia specifica e velocità di ricarica, hanno favorito la recente diffusione, anche sul mercato italiano, di veicoli elettrici di nuova generazione, caratterizzati da autonomie che in base al tipo di utilizzo del veicolo possono raggiungere anche i 150 km [2-5]. D'altro canto, al fine di rendere conveniente l'utilizzo dei veicoli elettrici per maggiori distanze, è richiesta una larga diffusione di servizi di ricarica sul territorio nazionale che possano garantire tempi di ricarica confrontabili con quelli dei veicoli termici tradizionali. In particolare, da semplici considerazioni è possibile valutare che singole operazioni di ricarica rapida, dell'ordine di alcuni minuti, richiedono alla rete valori di potenza elettrica che vanno da 20 kW, per i veicoli urbani, fino a circa 300 kW, nel caso di veicoli di dimensioni maggiori [6]. Per tali motivi, una larga diffusione di veicoli PEV comporta una specifica analisi preliminare degli impatti che i veicoli elettrici in ricarica possono avere sul sistema elettrico nazionale e la valutazione di diverse strategie di ricarica da adottare. Tali strategie devono inoltre tener conto del numero di veicoli connessi in ricarica simultaneamente nelle varie ore del giorno, della possibilità di integrare in maniera efficiente sistemi di generazione basati su fonti di energia rinnovabile e della possibilità dei veicoli elettrici di supportare la rete con servizi ancillari [7-10].

Anche lo sviluppo di sistemi di ricarica per veicoli elettrici si è intensificato, con nuove soluzioni volte al miglioramento delle prestazioni [11-12]. I sistemi caricabatteria sono classificati in off-board e on-board. In letteratura sono descritti modelli a flusso di corrente unidirezionale e bidirezionale. I caricabatteria bidirezionali sembrano più adatti alle future reti elettriche intelligenti, in cui le batterie possono svolgere il ruolo di un accumulo di energia stabilizzante. La Commissione Elettrotecnica

Internazionale (IEC) ha sviluppato lo standard IEC 61851, che classifica le stazioni di ricarica in tre categorie. Il livello 1 è per i piccoli caricabatteria di bordo, il livello 2 è per i caricabatteria di media potenza, e il livello 3 è per le stazioni di ricarica veloce. I caricabatteria di livello 2 e 3 si prestano maggiormente ad applicazioni di ricarica veloce. L'interconnessione alla rete dei convertitori di potenza è stata fatta per lungo tempo mediante raddrizzatori trifase di tipo passivo combinati con induttanze collocate sul lato a corrente alternata o continua. Questi raddrizzatori sono semplici, raggiungono elevate efficienze e sono robusti, ma comportano una distorsione armonica delle correnti (THDi) tipicamente del 30-50% e mostrano un fattore di potenza relativamente basso. In aggiunta, non consentono l'inversione del flusso di potenza e non sono dunque adatti ad applicazioni emergenti, come quelle che prevedono lo scambio bidirezionale di energia tra veicoli elettrici e rete (vehicle-to-grid, V2G) o per smart grid [13-14].

Vi sono numerose normative che definiscono i limiti delle emissioni di armoniche di tensione e corrente in rete, tra cui le norme CEI EN 50160 e CEI EN 61000-2-4, e lo standard IEEE Std 519-2014. Anche gli standard IEC limitano le emissioni elettromagnetiche e costringono a introdurre sistemi in grado di correggere il fattore di potenza (i caricabatteria devono essere progettati in conformità con IEC 1000/03/02 o IEC 1000/03/12 a seconda delle loro potenze ), limitando di conseguenza l'utilizzo dei semplici raddrizzatori a diodi o a tiristori e favorendo la diffusione di altre tipologie di convertitori d'interfacciamento alla rete. Tra questi, i più utilizzati sono certamente i raddrizzatori attivi con modulazione PWM a tensione o a corrente impressa (voltage/current source rectifiers, VSRs e CSRs). I raddrizzatori attivi permettono un fattore di potenza unitario, una distorsione di corrente sotto il 5% e un'elevata densità di potenza [15]. Di conseguenza, un moderno caricabatterie bidirezionale per stazioni di ricarica è costituito da un filtro per interferenze elettromagnetiche, un'unità di rifasamento (Power Factor Corrector, PFC) e uno stadio di carica [16-18].

Nel caso di applicazioni V2G e di generazione distribuita, inoltre, sono presenti ulteriori problematiche di interfacciamento con la rete, come ad esempio quelle di sincronizzazione e l'islanding [19-20].

Le problematiche di sincronizzazione riguardano la necessità di produrre energia in tensione alternata in sincronismo con la rete elettrica, anche in presenza di disturbi, inquinamento armonico e guasti transitori.

L'islanding si riferisce invece a una condizione in cui un sistema produttore continua a immettere energia in rete anche quando, per un guasto, quest'ultima è stata disconnessa. Ciò costituisce un pericolo per gli operai che deve essere identificato immediatamente mediante tecniche di anti-islanding.

#### **Bibliografia**

- [1] T. Franke, J.F. Krems What drives range preferences in electric vehicle users? *Transp Policy*, 30 (2013), pp. 56–62
- [2] J.W. Fergus Recent developments in cathode materials for lithium ion batteries. *J Power Sources*, 195 (4) (2010), pp. 939–954
- [3] A.K. Padhi, K.S. Nanjundaswamy, J.B. Goodenough Phospho-olivines as positive-electrode materials for rechargeable lithium batteries. *J Electrochem Soc*, 144 (4) (1997), pp. 1188–1194
- [4] B. Scrosati, J. Garche Lithium batteries: status, prospects and future *J Power Sources*, 195 (9) (2010), pp. 2419–2430
- [5] R. Xiong, H. He, F. Sun, X. Liu, Z. Liu Model-based state of charge and peak power capability joint estimation of lithium-ion battery in plug-in hybrid electric vehicles. *J Power Sources*, 229 (2013), pp. 159–169
- [6] Aggeler D, Canales F, Zelaya H, Coccia A, Butcher N; Apeldoorn O. Ultra-fast DC-charge infrastructures for EV-mobility and future smart grids. In: Innovative smart grid technologies conference Europe; 2010. p. 1–8.

- [7] Sanzhong B, Du Y, Lukic S. Optimum design of an EV/PHEV charging station with DC bus and storage system. In: Energy conversion congress and exposition IEEE; 2010. p. 1178–84.
- [8] W. Kempton, J. Tomić Vehicle-to-grid power implementation: from stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy *J Power Sources*, 144 (1) (2005), pp. 280–294
- [9] T. Sousa, H. Morais, J. Soares, Z. Vale Day-ahead resource scheduling in smart grids considering Vehicle-to-Grid and network constraints *Appl Energy*, 96 (2012), pp. 183–193
- [10] A. Brouwer, T. Kuramochi, M. Broek, A. Faaij Fulfilling the electricity demand of electric vehicles in the long term future: an evaluation of centralized and decentralized power supply systems, *Appl Energy*, 107 (2013), pp. 33–51
- [11] M. Yilmaz, P. T. Krein, “Review of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, and Infrastructure for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles,” *IEEE Trans. Pow. Electron.*, Vol. 28, No. 5, May 2013, pp. 2151-2169.
- [12] Manuele Bertoluzzo, Nima Zabih, and Giuseppe Buja, “Overview on Battery Chargers for Plug-in Electric Vehicles,” *EPE-PEMC 2012 ECCE Europe*, Novi Sad, Serbia, pp. 1-7.
- [13] H. Mao, C. Y. Lee, D. Boroyevich, S. Hiti, “Review of high performance three-phase power-factor correction circuits,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 44, issue 4, Aug 1997, pp. 437-446.
- [14] J. W. Kolar and T. Friedli, “The essence of three-phase PFC rectifier systems,” in *Proc. Telecommunications Energy Conference (INTELEC)*, 2011, IEEE 33rd International, Amsterdam, Oct. 2011, pp. 1-27.
- [15] B. Singh, B. N. Singh, A. Chandra, K. Al-Haddad, A. Pandey and D. P. Kothari, “A review of three-phase improved power quality AC–DC converters,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 51, no. 3, pp. 641-660, June 2004.
- [16] G. Chen, K.M. Smedley, “Steady-State and Dynamic Study of One-Cycle-Controlled Three-Phase Power-Factor Correction,” *IEEE Trans. Ind. Electr.*, Vol.52, NO.2, April 2005.
- [17] L. De Sousa, B. Silvestre, Member, B. Bouchez, “A Combined Multiphase Electric Drive and Fast Battery Charger for Electric Vehicles Topology and Electric Propulsion Efficiency Analysis,” *VPPC 2010*, Lille, France, Sept. 1-3, pp. 1-6.
- [18] Doo-yong Jung, Young-Hyok Ji, Chung-yuen Won, Taek-Kie Lee, Su-Won Lee, Kwang-duck Seo, “Grid-Connected Electric Vehicles Charger Station Based on Lithium Polymer Battery Energy Storage System,” *VPPC 2010*, Lille, France, Sept. 1-3, pp. 1-5.
- [19] F. Blaabjerg, R. Teodorescu, M. Liserre, A.V. Timbus, “Overview of Control and Grid Synchronization for Distributed Power Generation Systems,” *IEEE Trans. on Ind. Electr.*, Vol. 53, No.5, pp. 1398 – 1409, Oct. 2006.
- [20] I.J. Balaguer, Qin Lei, Shuitao Yang, U. Supatti, “Control for Grid-Connected and Intentional Islanding Operations of Distributed Power Generation,” *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 58, no.1, pp. 147-157, Jan. 2011.

La linea progettuale 1 è stata suddivisa nelle seguenti attività:

**WP 1.1 – Sviluppo di architetture in corrente continua per la ricarica rapida di veicoli PEV a supporto di una integrazione efficiente dei sistemi di accumulo e generazione distribuita con la rete elettrica.**

Unità di ricerca coinvolte:

- Istituto Motori (CNR IM)
- Istituto di Informatica e Telematica (CNR-IIT)
- Università di Bologna - Dipartimento d'Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione (UNIBO-DEI)

**WP 1.2 – Sviluppo e miglioramento delle prestazioni di convertitori active front-end per applicazioni V2G e smart-grid**

Unità di ricerca coinvolte:

- Università di Bologna - Dipartimento d'Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione (UNIBO-DEI)

### **Attività WP 1.1 Sviluppo di architetture in corrente continua per la ricarica rapida di veicoli PEV a supporto di una integrazione efficiente dei sistemi di accumulo e generazione distribuita con la rete elettrica.**

#### **Obiettivi**

A partire da una analisi degli scenari di diffusione della mobilità elettrica, l'obiettivo di quest'attività consiste nello sviluppo e gestione di un dimostratore da laboratorio di architettura in corrente continua per la ricarica rapida di veicoli PEV, con il supporto di sistemi di accumulo di tipo buffer, finalizzato alla ottimizzazione dei tempi di ricarica ed alla riduzione dell'impatto di tali operazioni sulla rete elettrica.

#### **Risultati conseguiti**

**WP 1.1 (CNR-IM)** Le attività di questo WP sono rivolte alla progettazione, realizzazione e sperimentazione di un dimostratore di stazione ricarica basato su bus in corrente continua per la ricarica rapida di veicoli elettrici ed ibridi plug in. Tale attività è preceduta da una analisi degli scenari di diffusione della mobilità elettrica, nel breve e nel lungo termine, al variare dei diversi fattori abilitanti (e.g. sviluppo tecnologie dei sistemi di accumulo e sviluppo infrastrutture di ricarica). In particolare, sulla base dei suddetti scenari di diffusione, l'attività è stata rivolta al dimensionamento di possibili architetture, evidenziandone vantaggi e svantaggi con particolare riferimento al numero di stadi di conversione AC/DC e DC/DC ed alla possibilità di integrare fonti rinnovabili e sistemi di accumulo buffer in un dimostratore di stazione di ricarica. Il dimostratore realizzato presso i laboratori dell'Istituto Motori rappresenta una soluzione aperta a test e verifiche di varie soluzioni di convertitori di potenza ed architetture di tipo distribuito, ed alla valutazione di diverse strategie di gestione dei flussi energetici tra rete, sistema buffer, e veicoli in ricarica, nelle principali condizioni operative, tra cui la ricarica rapida e islanding. Il dimostratore ed i dati sperimentali forniti come output di questa attività rappresentano un reale supporto per la valutazione, la scelta e l'implementazione di sistemi di comunicazione bidirezionali per smart grid e servizi web per la gestione della ricarica elettrica che sono sviluppati negli altri WP di questo progetto sulla mobilità elettrica.

Nel seguito si riporta una breve descrizione dei principali risultati conseguiti nell'ambito di questa attività.

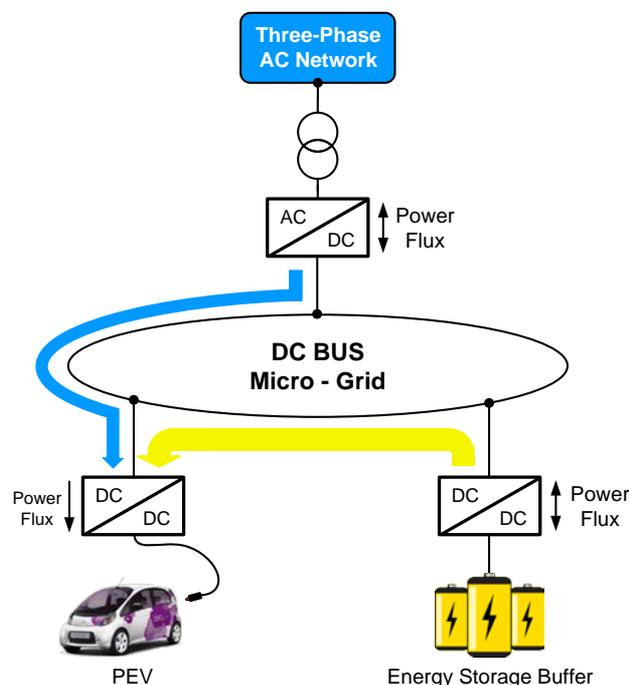
#### *Scenari di diffusione dei veicoli elettrici*

L'analisi degli scenari di diffusione di veicoli puramente elettrici ed ibridi plug-in (PEV) nel breve e nel lungo periodo, riportata in dettaglio nel deliverable tecnico allegato, ha evidenziato che il mercato di tale tipologia di veicoli è previsto evolversi in maniera piuttosto limitata almeno fino al 2020. L'accesso alle infrastrutture di ricarica a casa, in ufficio, o in aree urbane può essere considerato come la prima barriera da superare per lo sviluppo della mobilità elettrica su larga scala. Ciò potrebbe avvenire, a seconda degli scenari considerati, nel breve o nel lungo termine (anche fino al 2030). Uno scenario ottimistico, relativamente allo sviluppo delle infrastrutture di ricarica, intravede il raddoppio della diffusione sia dei veicoli puramente elettrici che dei veicoli ibridi plug-in fino a renderli numericamente confrontabili con quelli di tipo tradizionale, basati sulla sola

motorizzazione termica. Inoltre l'attuale tecnologia delle batterie comporta costi dei veicoli elettrici ed ibridi di gran lunga superiori rispetto a quelli dei veicoli tradizionali, sebbene la dilazione di questi costi sull'intero ciclo di vita del veicolo comporterebbe notevoli benefici per il mercato della mobilità elettrica. A riguardo i progressi tecnologici, in termini di prestazioni e costi dei sistemi di accumulo fanno intravedere, sia nel breve che nel lungo termine, possibili miglioramenti in termini di autonomia e costo complessivo del veicolo. Ciò rappresenterebbe il secondo fattore abilitante per lo sviluppo futuro del mercato dei veicoli a trazione elettrica ed in particolare dei veicoli puramente elettrici. Gli scenari considerati suggeriscono comunque che il mercato dei PEV può trarre maggiori vantaggi dai progressi sulle batterie se opportunamente supportato dallo sviluppo di un'appropriata infrastruttura di ricarica di tipo nazionale.

#### *Architetture di ricarica e dimostratore di laboratorio*

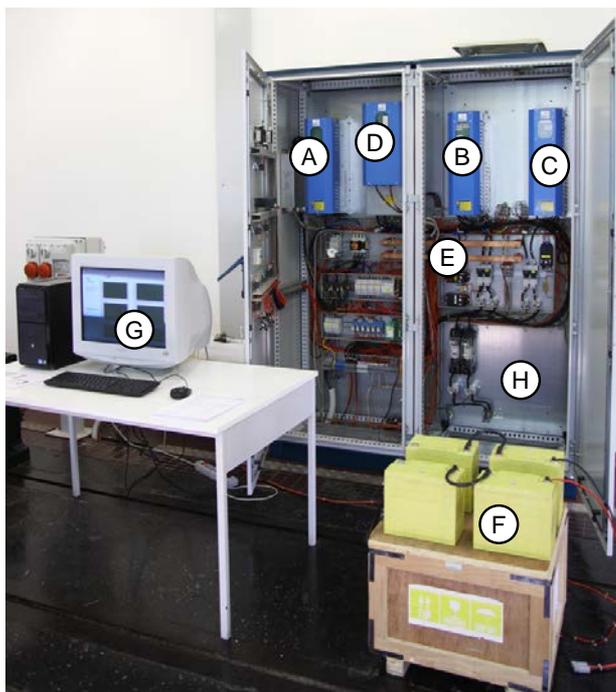
Le attività del WP1.1 sono proseguite con l'analisi delle principali architetture di ricarica, concentrando l'attenzione principalmente su sistemi di ricarica in corrente continua. In particolare, sono state analizzate architetture di potenza di tipo micro-grid, con bus in AC e in DC, finalizzate ad ottimizzare le operazioni di ricarica dei pacchi batteria di veicoli PEV. I risultati ottenuti hanno evidenziato la convenienza di utilizzare architetture di potenza con bus in corrente continua, al fine di poter ottenere una più efficiente integrazione di fonti rinnovabili e veicoli in ricarica con la micro-grid. I risultati di tale analisi hanno inoltre evidenziato la possibilità di ridurre il sovraccarico per la rete elettrica, in presenza di operazioni simultanee di ricarica rapida di più veicoli, mediante l'utilizzo di una architettura buffer. Tale architettura DC è basata sull'integrazione e gestione di sistemi di accumulo stazionari che agiscono come buffer di potenza elettrica per supportare la rete durante le operazioni di ricarica rapida dei PEV. L'architettura buffer è stata proposta per disaccoppiare il carico DC, rappresentato dai pacchi batteria dei PEV in ricarica, dalla rete di alimentazione in AC. Lo schema di funzionamento di tale architettura è riportato nella seguente Figura 1.



**Figura 1** Architettura di ricarica di tipo buffer.

Come mostrato in figura, l'architettura di ricarica proposta è fondamentalmente caratterizzata da due stadi di conversione, ottenuti attraverso convertitori di potenza AC/DC e DC/DC. In questa configurazione la potenza elettrica, richiesta per la ricarica rapida del pacco batteria del veicolo, risulta composta da due termini. Il primo termine rappresenta il flusso di potenza, proveniente dalla rete attraverso il convertitore AC/DC ed è raffigurato con la freccia blu. Il secondo termine rappresenta il flusso di potenza, proveniente dal sistema di accumulo buffer attraverso il convertitore DC/DC bidirezionale ed è raffigurato dalla freccia gialla. E' chiaro che il secondo termine, relativo al pacco batterie stazionario, è rappresentativo dell'aliquota maggiore di potenza elettrica richiesta per le operazioni di ricarica. Al contrario la potenza elettrica richiesta dalla rete durante tali operazioni risulta in questo modo di valore ridotto.

In tale contesto, le attività del PAR 2013-2014 dell'Unità di Ricerca Istituto Motori sono state finalizzate a sviluppare un dimostratore di laboratorio in scala 1:1, che consenta di effettuare analisi sperimentali su architetture micro-grid di tipo buffer per la ricarica di veicoli PEV. I convertitori che realizzano il dimostratore di laboratorio sono stati integrati all'interno di un rack, in cui sono installati i sensori per l'acquisizione delle principali grandezze elettriche e gli opportuni sistemi di protezione. Sono stati inoltre previsti una serie di relè e teleruttori, con gli opportuni sistemi di alimentazione a 12 V, per poter comandare da remoto il collegamento dei pacchi batteria al sistema di ricarica. In Figura 2 è riportata un'immagine del dimostratore con una relativa descrizione dei suoi componenti..



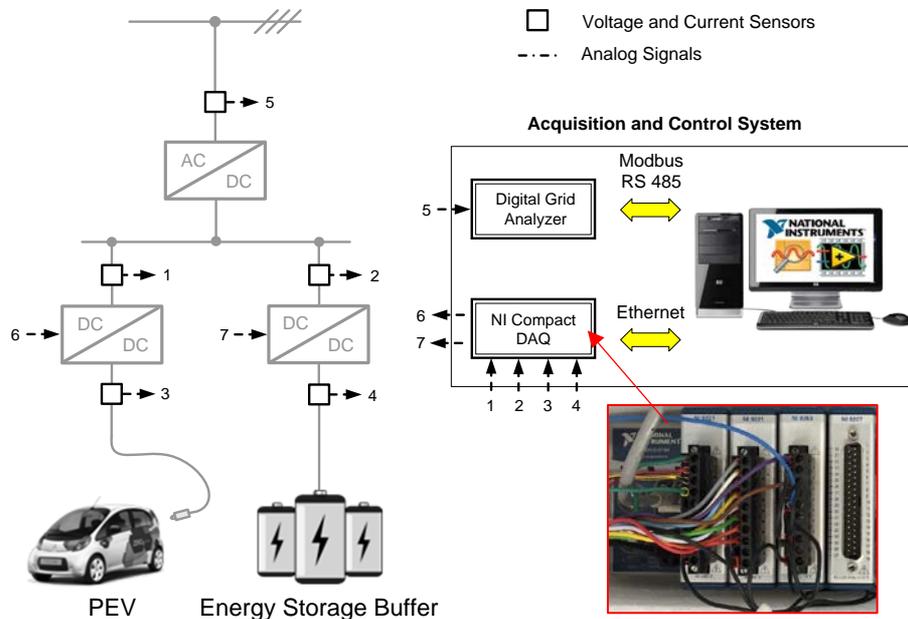
- A – Convertitore AC/DC Bidirezionale
- B– Convertitore DC/DC Bidirezionale
- C – Convertitore DC/DC Unidirezionale
- D – Convertitore DC/DC Bidirezionale per integrazione futura di fonti rinnovabili o sistemi di accumulo buffer
- E – DC-Link
- F – Pacco batteria del veicolo in ricarica
- G – PC di supervisione
- H – Spazio aggiuntivo per ulteriori componenti

**Figura 2** Immagine del dimostratore di laboratorio realizzato in Istituto Motori.

Il bus in corrente continua (E) è stato realizzato con barre in rame nudo e lavora a circa 800 V. Inoltre l'architettura interna di potenza di un convertitore bidirezionale (D) è stata predisposta per integrazione successiva di ulteriori sistemi di accumulo e/o generazione di energia elettrica. Tale convertitore risulta al momento privo delle necessarie schede di controllo, che saranno oggetto di

future attività. Durante la sperimentazione, il veicolo elettrico in ricarica è stato rappresentato mediante la connessione diretta del suo pacco batteria (F) all'architettura di ricarica.

Il dimostratore è stato inoltre dotato di un opportuno sistema di acquisizione e controllo, secondo quanto schematicamente riportato in Figura 3.



**Figura 3** Schema a blocchi del sistema di acquisizione e controllo.

Il suddetto schema mostra i diversi punti di misura dei principali parametri elettrici attraverso sensori di tensione e corrente. Le acquisizioni dei parametri in corrente continua sono ottenute per mezzo di sistema National I/O Compact DAQ, in grado di comunicare con un PC attraverso protocollo Ethernet. Il sistema Compact DAQ è costituito da un modulo (NI 9263) con uscite analogiche, utile al controllo dei convertitori attraverso segnali in tensione 0-10 V, e da tre moduli (due NI 9221 ed un NI 9207) con ingressi analogici sia in tensione che in corrente, finalizzati all'acquisizione dei segnali provenienti dai sensori. Le grandezze in corrente alternata sono acquisite attraverso l'analizzatore di rete digitale Diris A40, prodotto da Socomec. Tale analizzatore è stato integrato con un modulo ModBus RS485 per poter comunicare con un PC supervisore. L'acquisizione dei dati proveniente dal DIRIS A40 è gestita attraverso una specifica interfaccia Labview, che è stata implementata attraverso l'utilizzo delle librerie MODBUS di National Instruments. L'interfaccia software, realizzata nell'ambito di questo progetto, consente al computer (Master) di interrogare il DIRIS A40 (Slave), mediante protocollo ModBus RS485, componendo specifiche query che vengono interpretate secondo una tabella di decodifica. Tali query sono inviate all'analizzatore di rete per leggere le informazioni allocate nella memoria del DIRIS A40 in funzione delle richieste dell'utente e/o del software di supervisione del dimostratore. Le principali caratteristiche e modalità operative del DIRIS A40 sono state fornite all'Unità di ricerca del CNR-IIT come input per lo svolgimento dell'attività WP 2.1, che ha condotto la progettazione e l'ottimizzazione di reti di comunicazione tra più stazioni di ricarica sulla base di tali informazioni.

### Strategie di controllo

Le strategie di controllo dei flussi energetici che caratterizzano il dimostratore sono state implementate agendo, sia sulle schede di controllo di tipo embedded dei singoli convertitori, sia attraverso controllori esterni di tipo PI, realizzati in ambiente Labview sul pc supervisore.

Per le operazioni di carica/scarica dei PEV o dei sistemi di accumulo buffer che richiedono l'interazione della micro-grid con la rete elettrica, il convertitore AC/DC bidirezionale è stato controllato come *voltage source converter*, utilizzando il controllo embedded del convertitore, basato sullo schema operativo riportato in Figura 4.

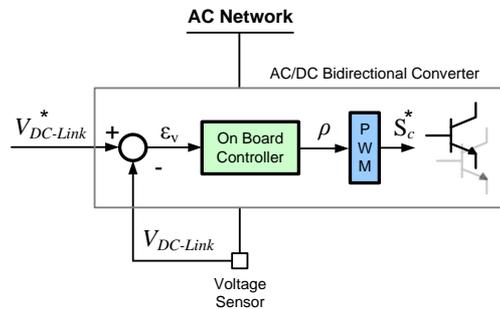


Figura 4 Schema di controllo del convertitore AC/DC bidirezionale

La strategia di controllo implementata per il convertitore DC/DC unidirezionale è relativa alla gestione diretta delle operazioni di ricarica del pacco batteria del veicolo. Lo schema di controllo di questo convertitore è riportato in Figura 5.

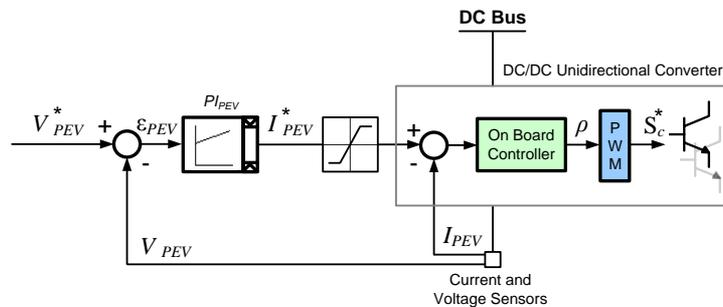
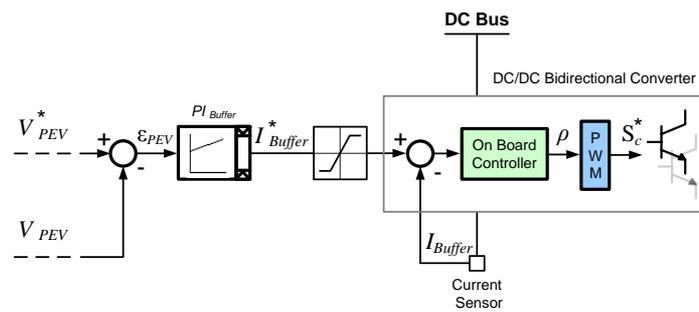


Figura 5 Schema di controllo del convertitore DC/DC unidirezionale

In questo caso la corrente di ricarica del veicolo,  $I_{PEV}$ , è regolata attraverso il controllore embedded del convertitore, mentre la sua tensione di ricarica,  $V_{PEV}$ , è controllata attraverso un anello esterno realizzato in Labview.

La gestione della ricarica rapida del veicolo con il supporto della rete avviene attraverso il controllo dei tre convertitori, coordinato dal PC di supervisione. In particolare, la logica di controllo del convertitore DC/DC bidirezionale per le operazioni di ricarica rapida dei PEV è riportata in Figura 6.



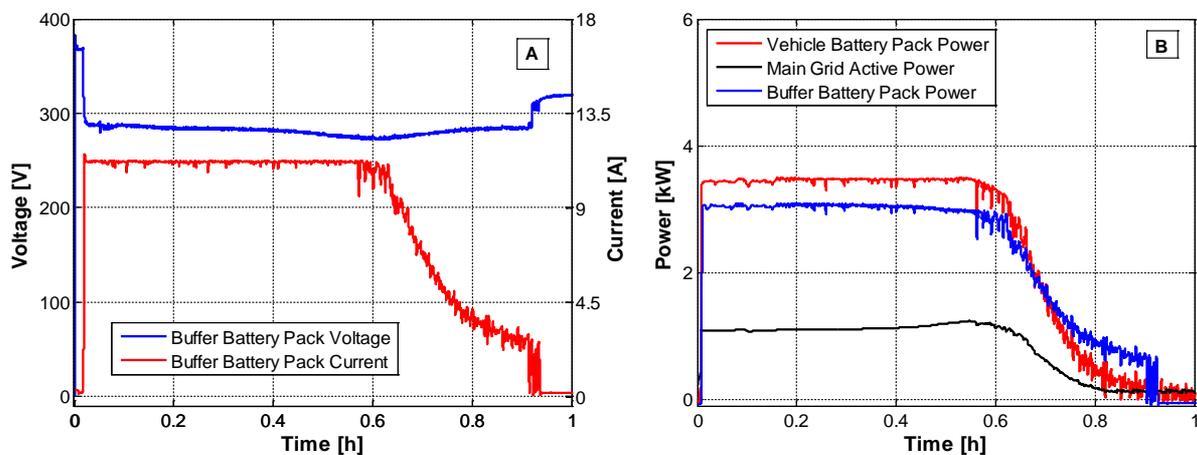
**Figura 6** Schema di controllo del convertitore DC/DC bidirezionale durante le operazioni di ricarica rapida dei PEV.

### Analisi dei risultati sperimentali

I test sperimentali sono stati realizzati in Istituto Motori mediante l'utilizzo di tecnologie di accumulo al litio, rappresentative dei pacchi batteria dei veicoli in ricarica, e tecnologie al piombo acido che sono utilizzate come sistema di accumulo buffer. I test sono stati svolti nelle seguenti due fasi:

- Caratterizzazione del dimostratore di laboratorio di Micro-grid in corrente continua per la ricarica di veicoli PEV, nelle differenti condizioni operative.
- Analisi delle prestazioni di diverse tecnologie di accumulo nell'alimentare un sistema di propulsione elettrico al banco freno dinamico su cicli di guida standard.

I risultati ottenuti sul dimostratore hanno consentito di validare le strategie di gestione dei flussi energetici e di valutare tempi di ricarica, richieste di potenza dalla rete elettrica e valori di efficienza complessivi, nelle diverse condizioni operative. A riguardo si riportano di seguito i risultati sperimentali relativi ad una ricarica rapida di un pacco batterie LiFePO<sub>4</sub> da 51 V – 40 Ah, ottenuta utilizzando la potenza elettrica proveniente della rete elettrica e dal sistema di accumulo buffer al piombo da 288 V 40 Ah. In questo caso i tre convertitori sono stati controllati da un PC supervisore secondo gli schemi riportati nel paragrafo precedente. I principali risultati relativi a tale test sono mostrati in Figura 7.



**Figura 7** Tensione, corrente e potenza vs tempo per le operazioni di ricarica a 60 A di un pacco batterie LiFePO<sub>4</sub> da 40 Ah alimentate da rete + sistema di accumulo buffer con  $I_{Buffer}^* = 12A$

Durante la fase di ricarica a corrente costante, il sistema di accumulo buffer è stato scaricato al valore massimo di corrente consentito, impostato a 12 A (A), raggiungendo la tensione minima di 230 V (A) alla fine di tale fase. La potenza elettrica proveniente dal sistema di accumulo buffer, attraverso il convertitore DC/DC bidirezionale, ha raggiunto il valore di 3.1 kW, limitando la potenza attiva fornita dalla rete alla rete al valore massimo di 1.35 kW. Di conseguenza la potenza attiva fornita dalla rete elettrica è ridotta di circa il 70% rispetto alla potenza attiva necessaria per la ricarica dello stesso pacco batteria senza il supporto del buffer. La seconda parte del test è invece relativa alla fase a tensione costante, dove la corrente di ricarica del pacco batteria LiFePO<sub>4</sub> è limitato dal riferimento che viene fornito dal PI in funzione della sua tensione. L'efficienza complessiva media per tale test è risultata  $\eta_{avg} = 0.82$ , ed è stata valutata come il rapporto tra l'energia fornita alla batteria LiFePO<sub>4</sub> e la somma delle energie provenienti dal buffer e dalla rete.

Nell'ambito di tale attività ulteriori test, riportati nel deliverable tecnico allegato, sono stati condotti al fine di valutare le prestazioni del dimostratore in differenti condizioni operative. I principali risultati ottenuti per tali test sono riportati in Tabella 1.

Modalità di ricarica	Solo Rete	Buffer+ Rete	Buffer+Rete	Buffer+Rete	Islanding
Massima Corrente di ricarica per il veicolo [A]	60	60	60	60	60
Massima Corrente di scarica per il buffer [A]	\	4	8	12	14
Massima Potenza di carica/scarica per il veicolo (buffer) [kW]	3,4 (0)	3,4 (1,14)	3,4 (2,22)	3,4 (3,08)	3,4 (3,85)
Tensione DC Link [V]	784	781	783	784	712
Potenza DC Link [kW]	4,47	4,19	4,06	3,41	3,56
Potenza Attiva [kW]	4,5	3,4	2,22	1,35	\
Fattore di Potenza Medio	0,94	0,90	0,80	0,58	\
Efficienza media DC/DC unidirezionale [p.u.]	0,77	0,83	0,90	0,92	0,94
Efficienza Media DC/DC bidirezionale [p.u.]	\	0,61	0,79	0,85	0,92
Efficienza Media AC/DC bidirezionale [p.u.]	0,99	0,98	0,91	0,70	\
Efficienza Media Complessiva [p.u.]	0,76	0,74	0,77	0,82	0,86

**Tabella 1** Principali condizioni operative e parametri elettrici dei test realizzati sul dimostratore di laboratorio.

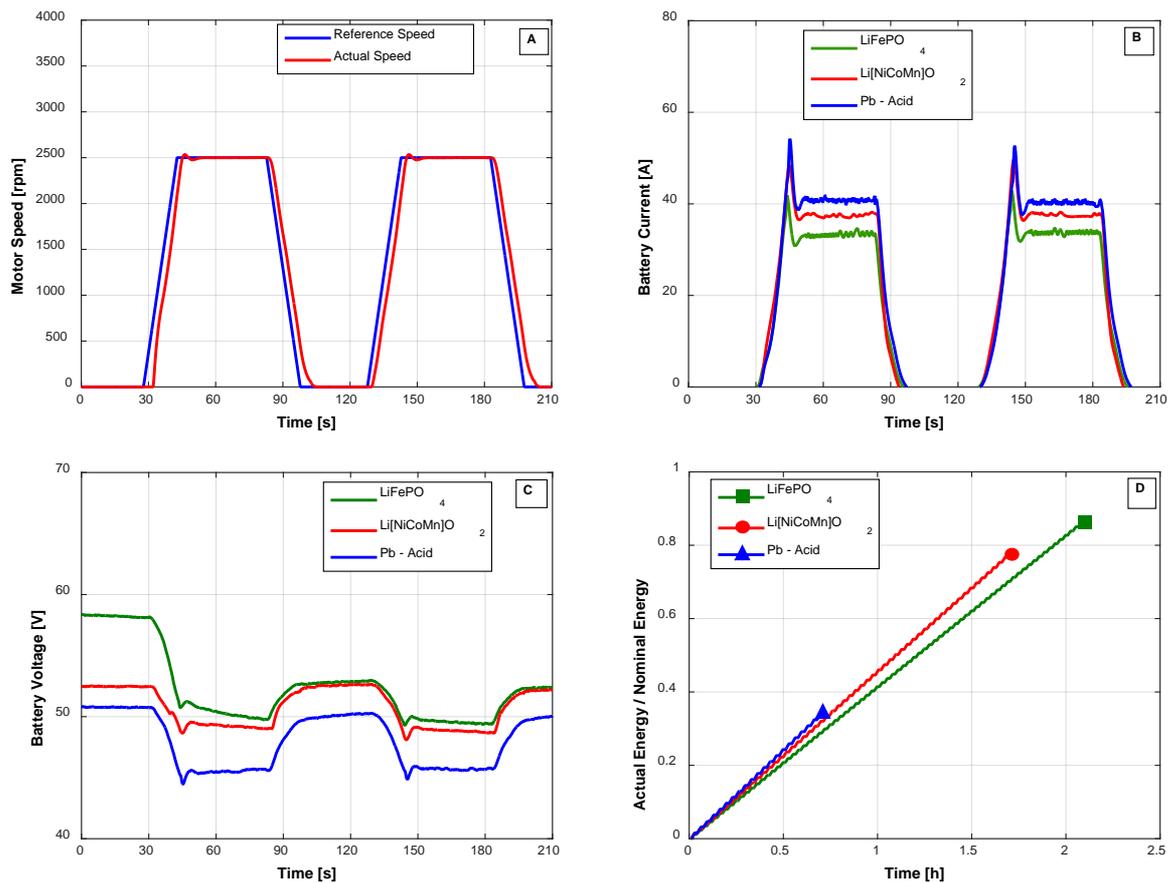
Dalla tabella è possibile osservare che, nelle condizioni operative analizzate, il dimostratore lavora con valori medi di efficienza complessiva,  $\eta_{avg}$ , che sono risultati in tutte le prove superiori al 70%. Il valore più alto di efficienza è stato valutato, per entrambi i convertitori DC/DC, nelle condizioni di islanding, quando le operazioni di ricarica sono supportate dalla potenza elettrica proveniente solo dal buffer con una tensione di riferimento per il DC link,  $V_{DC-Link}^*$ , impostato a 710 V. Il leggero

decremento di efficienza valutato nelle altre condizioni operative è giustificato dal fatto che il coinvolgimento del convertitore AC/DC nelle operazioni di ricarica porta il DC-Link ad una tensione di 790V, incrementando in questo modo il rapporto di conversione tra il DC-Link e i pacchi batteria connessi alla micro-grid. Ulteriori perdite sono da attribuire ai ripple di corrente immessi sul DC-Link dal funzionamento dell'AC/DC.

Ulteriori test su varie tecnologie di batterie al litio sono riportati nel deliverable. Tali test hanno dimostrato la potenzialità del dimostratore di laboratorio, basato su una architettura con bus in corrente continua ed abbinato ad un sistema di accumulo buffer, di ricaricare pacchi batteria per veicoli elettrici in tempi inferiori ai 20 minuti, fino all'80% di stato di carica, senza particolari aggravii per la rete elettrica.

Test sperimentali sono stati inoltre condotti su pacchi batterie per veicoli elettrici, nelle fasi successive alle operazioni di ricarica con il dimostratore. Infatti, le prestazioni di diverse tecnologie di accumulo sono state analizzate nelle loro reali operazioni di scarica, quando alimentano un azionamento elettrico al banco freno dinamico su cicli di guida prestabiliti. A riguardo sono stati svolti test di autonomia al variare della pendenza stradale su un ciclo guida preso come riferimento di tipo trapezoidale. I principali risultati sono riportati in Figura 8 relativamente alle tecnologie di batterie  $\text{LiFePO}_4$ ,  $\text{Li}[\text{NiCoMn}]\text{O}_2$  e piombo, per una pendenza stradale del 10%.

Il ciclo di guida considerato è basato su un'onda di tipo trapezoidale, con un periodo di riposo di circa 20 secondi, e una fase di accelerazione e decelerazione, per l'azionamento elettrico, pari 167 rpm·s<sup>-1</sup> (A). Il ciclo di guida è stato ripetuto per ogni pacco batteria fino al raggiungimento della tensione minima. Nelle Figure 8 A, B e C sono riportati gli andamenti in un range di tempo considerato pari a 220 secondi. I valori di corrente raggiunti durante le fasi di accelerazione sono pari a 40, 48 e 50 A (B). La corrente di scarica maggiore è stata raggiunta per il pacco batteria al piombo in quanto, come riportato in Figura 8 (C), ha mostrato una maggiore caduta di tensione. Tale valore raggiunge i 62 A alla fine del test, quando la batteria al piombo completa la sua fase di scarica. In figura (D) sono inoltre riportate le capacità di scarica dei singoli pacchi batteria con riferimento al loro valore nominale. In particolare, i pacchi batteria al litio hanno mostrato un'efficienza di scarica prossima o superiore all'80%, evidenziando prestazioni adatte a soddisfare i requisiti delle applicazioni automotive. Al contrario, i sistemi di accumulo al piombo, per elevate correnti di scarica, hanno mostrato una notevole riduzione della capacità.



**Figura 8** Test di autonomia per batterie LiFePO<sub>4</sub>, Li[NiCoMn]O<sub>2</sub> ed al piombo su ciclo guida dinamico con pendenza stradale pari al 10%.

In definitiva il dimostratore sviluppato nell'ambito di questo progetto ha dimostrato le potenzialità, per l'architettura con bus in corrente continua e buffer di supporto, di poter soddisfare le esigenze richieste per le infrastrutture di ricarica a supporto della mobilità elettrica. Infatti, mediante tale tipo di configurazione di potenza è possibile tendere ad una notevole riduzione dei tempi di ricarica, sfruttando in particolare le caratteristiche delle attuali tecnologie di accumulo al litio, contenendo allo stesso tempo le richieste di potenza dalla rete elettrica. Anche le efficienze di conversione traggono beneficio da questo tipo di configurazione, grazie alla riduzione delle perdite legata alle conversioni AC/DC.

**WP 1.1 (CNR-IIT)** Le attività di CNR-IIT in questo WP sono state rivolte ad interagire con l'Unità di Ricerca del CNR-IM al fine di poter progettare ed ottimizzare la comunicazione bidirezionale tra stazione di ricarica ed infrastruttura e quindi provvedere alla integrazione del DIRIS A40, con il prototipo hardware della centralina di comunicazione, attraverso un modem MODBUS/TCP.

**WP 1.1 (UNIBO-DEI)** L'attività di UNIBO-DEI è stata sostanzialmente di supporto alle altre unità per la definizione delle specifiche e delle prestazioni dei sistemi. Le simulazioni e i modelli analitici realizzati hanno permesso di individuare

- i possibili stati di funzionamento del convertitore di interfaccia alla rete.
- le variabili per il controllo e la rappresentazione dello stato del convertitore di interfaccia

- le modalità di interfacciamento alla rete secondo la norma CEI 0-21, che definisce la regola tecnica di riferimento per la connessione di utenti attivi e passivi alle reti BT.

### **Confronto con i risultati attesi ed eventuali scostamenti rilevati**

L'obiettivo principale del WP 1.1. è stato pienamente raggiunto con lo sviluppo e gestione di un dimostratore da laboratorio di architettura in corrente continua per la ricarica rapida di veicoli PEV, con il supporto di sistemi di accumulo di tipo buffer, finalizzato alla ottimizzazione dei tempi di ricarica ed alla riduzione dell'impatto di tali operazioni sulla rete elettrica. Per tale attività non si riscontano particolari scostamenti con i risultati attesi.

### **Deliverables**

Il principale deliverable di questa attività è il seguente:

- Report D\_4.1.1: "Sviluppo di un dimostratore da laboratorio dotato di sistema di accumulo buffer ed implementazione di strategie di gestione di un'architettura in corrente continua per la ricarica di veicoli PEV. (CNR-IM)

Il report è tecnico è composto da 4 sezioni distinte:

- Analisi della potenziale diffusione dei veicoli a trazione elettrica In Italia
- Stato dell'arte sulle tecnologie ed architetture di ricarica per veicoli elettrici ed ibridi plug-in (PEV)
- Sviluppo di un dimostratore di laboratorio per la ricarica rapida di PEV
- Analisi e discussione dei risultati sperimentali

In particolare, le attività descritte nel report tecnico partono da un'analisi preliminare sull'attuale mercato dei veicoli elettrici/ibridi, in Italia, finalizzata ad evidenziare i principali fattori abilitanti che possono favorirne la diffusione su larga scala. Viene poi fornita una panoramica sullo stato dell'arte delle tecnologie ed architetture di ricarica per i veicoli PEV, con particolare riferimento ad architetture di ricarica rapida in corrente continua. In seguito all'analisi dello stato dell'arte è descritta l'attività di sviluppo, gestione e controllo di un dimostratore di micro-grid in corrente continua per la ricarica rapida dei PEV, realizzato presso i laboratori del C.N.R. Istituto Motori con l'integrazione di sistemi di accumulo tipo buffer. Il dimostratore di stazione di ricarica è dimensionato su una potenza di rete di 20 kW e consente, mediante un sistema di accumulo buffer da 40 Ah, tempi di ricarica anche inferiori ai 20 min e riduzioni di potenza dalla rete anche fino al 100% (islanding operation). Il report tecnico si conclude con la discussione dei risultati sperimentali ottenuti su pacchi batteria specifici per trazione elettrica, attraverso l'utilizzo del dimostratore, nelle sue diverse condizioni operative, e di banchi freno di tipo dinamico.

### **Benefici per gli utenti finali**

Lo sviluppo di tecnologie correlate a stazioni di ricarica basate su architetture in corrente continua integrate con unità di accumulo di tipo buffer, in grado di supportare ricariche veloci per veicoli elettrici, favorisce la diffusione della mobilità elettrica, senza alcuna necessità di ricorrere a modifiche

strutturali dell'attuale rete elettrica di distribuzione. Inoltre, il dimostratore realizzato ed i relativi risultati ottenuti consentono di supportare lo sviluppo industriale di stazioni di ricarica per PEV, basate sull'architettura di conversione in corrente continua proposta in questo progetto con le relative logiche di controllo.

### **Diffusione dei risultati (indicare anche le modalità di diffusione)**

Una prima diffusione dei risultati conseguiti durante l'attività di ricerca è avvenuta attraverso la presentazione all'International Conference on Applied Energy (ICAE2015) di una pubblicazione dal titolo: "DC Charging Station for Electric and Plug-in Vehicles", successivamente pubblicata sulla rivista: Energy Procedia, Volume 61, 2014, Pages 1126-1129, ISSN 1876-6102, <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.1037>. La pubblicazione inserita negli atti della conferenza è stata oggetto di peer-review.

Inoltre, la diffusione dei risultati conseguiti è stata svolta mediante la partecipazione alle due edizioni dell'International Conference on Applied Energy, la prima svolta a Taipei dal 30 maggio al 02 giugno 2014 e la seconda ad Abu Dhabi negli Emirati Arabi dal 28 al 31 marzo 2015. Tale partecipazione ha consentito di stabilire interazioni e confronti con professori e ricercatori che hanno partecipato alla medesima conferenza e che lavorano sui medesimi argomenti.

La rete di rapporti scientifici, stabilita nelle suddette conferenze, ha inoltre portato alla stesura di un libro, su argomenti affini alle attività di questo progetto. Il libro comprenderà diversi contributi di autori internazionali e sarà pubblicato nel 2016 da Springer con il titolo: "Smart Charging Technologies and Applications for Electric and Plug-in Hybrid Vehicles".

Per ragioni di tempo, la presentazione degli altri risultati del progetto a conferenze nazionali/internazionali e a riviste scientifiche del settore potrà avvenire solo nell'arco del 2016.

Le attività preliminari di questo progetto sono state in parte oggetto di una tesi di laurea magistrale. Di seguito si riportano i dettagli di tale tesi.

**Titolo:** Plug-in electric vehicle charging architecture in smart grid scenario: a laboratory case study

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica

**Autore:** Vincenzo Sepe

**Istituzione:** Università degli Studi di Napoli Federico II

**Dipartimento:** Ingegneria Elettrica e delle Tecnologie dell'Informazione

**Data:** 20 Maggio 2014

**Relatore:** Prof. Mario Pagano

**Co-Relatori:** Ing. Ottorino Veneri, Ing. Clemente Capasso

**Title:** Experimental Analysis on Laboratory DC Fast Charging Architecture for Electric and Plug-in Hybrid Vehicles

**Autore:** Capasso, Clemente

**Istituzione:** Università degli Studi di Napoli Federico II

*Dipartimento: Ingegneria Elettrica e delle Tecnologie dell'Informazione*

*Dottorato in Ingegneria elettrica 27° Ciclo*

*PHD Coordinator: Serpico, Claudio*

*Tutor: Prof. Diego Iannuzzi, Ing. Ottorino Veneri*

*Data: 31 March 2015*

In aggiunta, le attività di questo progetto sono state in parte oggetto di una tesi di dottorato. Di seguito si riportano i dettagli di tale tesi.

*Title: Experimental Analysis on Laboratory DC Fast Charging Architecture for Electric and Plug-in Hybrid Vehicles*

*Autore: Capasso, Clemente*

*Istituzione: Università degli Studi di Napoli Federico II*

*Dipartimento: Ingegneria Elettrica e delle Tecnologie dell'Informazione*

*Dottorato in Ingegneria elettrica 27° Ciclo*

*PHD Coordinator: Serpico, Claudio*

*Tutor: Iannuzzi, Diego; Veneri, Ottorino*

*Data: 31 March 2015*

Infine, si è provveduto alla sottomissione, in collaborazione con CNR-IIT, di un articolo dal titolo "Experimental setup of a DC micro-grid for PEV fast charging and V2G operations supported by open and interoperable communication systems" al simposio IEEE PES Power Electronics, electrical drives, automation and motion (SPEEDAM), 2016, al quale si intenderà presentare questo articolo e partecipare alle relative sessioni.

### **Apparecchiature disponibili e acquisite**

#### *Apparecchiature disponibili*

- Banchi prova per la caratterizzazione dei sistemi di accumulo in condizioni stazionarie e dinamiche.
- Sistemi di acquisizione e controllo National Instruments e dSPACE.
- Carichi elettronici ed alimentatori in corrente continua a parametri variabili
- Prototipi di convertitori innovativi.

#### *Acquisti strumenti ed attrezzature (quote d'uso)*

- Test-bench dinamici per l'analisi dei sistemi di propulsione elettrici dotati di controllo per l'esecuzione di cicli di guida stradali, comprensivi di componenti ed accessori di misura, controllo ed allineamento assi.
- Attrezzature per analisi grandezze elettriche di rete.
- Licenze software.

## Attività 1.2 Sviluppo e miglioramento delle prestazioni di convertitori active front-end per applicazioni V2G e smart-grid

### Obiettivi

L'attività di UNIBO-DEI riguarda espressamente il controllo di un convertitore active front-end idoneo ad applicazioni Smart-Grid e vehicle-to-grid (V2G) per sistemi di ricarica.

Con riferimento alle problematiche di questo tipo di applicazione, gli obiettivi sono i seguenti.

1) Definizione di metodologie di controllo per la riduzione delle armoniche di corrente in rete.

Attualmente vi è un interesse crescente per lo sviluppo di sistemi di controllo che riducono le armoniche di corrente adottando anelli di controllo basati su regolatori di tipo risonante o ripetitivo. Sebbene queste soluzioni consentano prestazioni notevoli, presentano problemi di stabilità e di taratura all'aumentare dell'ordine armonico, nonché differenti requisiti in termini di capacità di calcolo e di memoria, che è necessario indagare e comparare. Inoltre è di interesse la riduzione dell'ondulazione di corrente ad alta frequenza in relazione alla tecnica di modulazione PWM, in quanto essa condiziona il rendimento del convertitore e le perdite dei filtri.

2) Definizione di strategie per la sincronizzazione con la rete e l'anti-islanding.

L'identificazione della condizione di islanding è attualmente oggetto di numerose ricerche. Le soluzioni proposte sono solitamente classificate come passive, se ricercano rapide variazioni nella tensione di rete, o attive, se iniettano segnali in rete e ne analizzano la risposta.

3) Problematiche di ottimizzazione

Il filtro normalmente utilizzato in ingresso a raddrizzatori PWM attivi è di tipo puramente induttivo (L), oppure include elementi capacitivi (LC oppure LCL). Tuttavia, ciò determina un picco di risonanza che può influire sulla stabilità del convertitore o porre dei limiti alla taratura dei regolatori dell'anello di corrente. E' dunque necessario definire idonee metodologie di progettazione sia del convertitore, sia del software di controllo.

### Risultati conseguiti

**WP 1.2 (UNIBO-DEI)** Nel seguito sono brevemente descritti i risultati conseguiti da UNIBO-DEI.

a) *Simulazione in ambiente MATLAB Simulink-PLECS un sistema completo di ricarica da 22 kW con stadio PFC e stadio dc-dc interleaved.*

Nella fase iniziale dello studio è sviluppato il modello matematico di un sistema di ricarica costituito da un raddrizzatore trifase AC/DC operante come power factor corrector, e un convertitore dc-dc di tipo interleaved. La scelta della topologia è stata fatta sulla base delle seguenti considerazioni:

- il convertitore AC/DC con modulazione PWM, bidirezionale in potenza è uno standard industriale, consente di ottenere fattore di potenza unitario in ingresso e un'ottima qualità della corrente in ingresso;
- il convertitore DC/DC interleaved consente di ridurre l'ondulazione della corrente in uscita a valori trascurabili, tali da non essere causa di invecchiamento delle batterie nel processo di ricarica.

In seguito, il modello è stato realizzato in ambiente Matlab Simulink / PLECS per valutare le prestazioni in termini di efficienza, ipotizzando che gli stadi di potenza siano basati sul modulo Infineon IKW40N120T2. Sotto le ipotesi dello studio, la densità di potenza del convertitore si attesta indicativamente attorno a 3.8 kW/dm<sup>3</sup>. Quest'attività iniziale ha permesso di individuare le metodologie di progettazione, le tecniche di controllo e le prestazioni tipiche del convertitore di interfaccia.

*b. Studio sulla riduzione delle perdite di commutazione e della riduzione del ripple di corrente ottenibile mediante ottimizzazione della tecnica di modulazione.*

Sono stati condotti alcuni studi sulla tecnica Space Vector Modulation (SVM) nel tentativo di migliorare la qualità della corrente di linea. In particolare, nell'ambito della tecnica SVM sono state analizzate le infinite possibili sequenze di commutazione, ottenute miscelando in proporzioni diverse le due configurazioni nulle. Scegliendo come indicatore di prestazione il valore efficace del ripple della corrente in uscita dall'inverter in un ciclo, si è definita analiticamente la legge di modulazione ottima. Tale legge definisce univocamente la ripartizione delle due configurazioni nulle al variare dell'indice di modulazione e dell'argomento del vettore tensione richiesto. Le prestazioni della legge di modulazione ottima sono poi state confrontate con quelle delle modulazioni di tipo simmetrico, a due fasi e PWM sinusoidale. Si è rilevato che tale modulazione consente una riduzione delle perdite di commutazione attorno al 15 % pur lasciando inalterato il ripple di corrente.

*c. Definizione del sistema di controllo di un convertitore di interfaccia nelle configurazioni "raddrizzatore PWM" e "filtro attivo" con specifica attenzione al miglioramento della qualità delle armoniche di rete (abbattimento sino alla 19a armonica).*

L'obiettivo primario di questa attività è stata la definizione di un sistema di controllo in grado di abbattere il contenuto armonico della corrente d'ingresso e di migliorare il fattore di potenza.

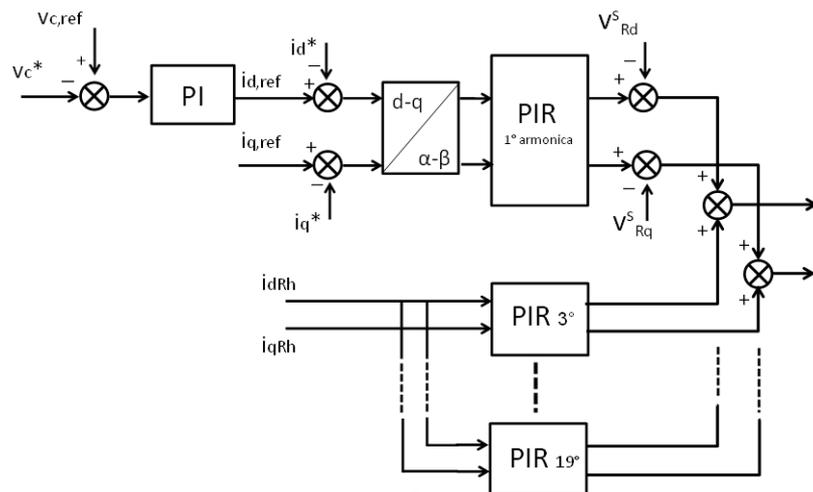
In un sistema di riferimento sincrono con la tensione di rete, opportunamente orientato, è possibile controllare la tensione del bus DC tramite la sola componente  $d$  della corrente in ingresso, mentre la componente di asse  $q$  rappresenta un grado di libertà per regolare la potenza reattiva scambiata con la rete. Per il miglioramento della qualità della corrente in ingresso, sono state valutate due soluzioni alternative:

- 1) utilizzo di regolatori di corrente proporzionali-integrali risonanti (PIR)
- 2) utilizzo di regolatori di corrente ripetitivi (REP).

Un regolatore risonante ha la seguente funzione di trasferimento:

$$G(s) = k_p + k_I \frac{s}{s^2 + \omega_0^2}.$$

Essa presenta due poli immaginari a pulsazione  $s = \pm j \omega_0$ . Poiché il guadagno alla pulsazione  $\omega_0$  è teoricamente infinito, il regolatore risonante si presta all'annullamento dell'errore di inseguimento o alla compensazione di disturbi per segnali a frequenza nota  $\omega_0$ . Nel caso di utilizzo di regolatori risonanti, si è adottato lo schema indicato nella Fig. 9, in cui si distingue un regolatore PI per la regolazione della tensione del bus DC e un regolatore PIR per ogni armonica da abbattere (sino alla 19a armonica) per ciascuna componente di corrente.



**Figura 9:** Schema di controllo di un filtro attivo con misura della corrente di rete.

Il secondo approccio tentato è basato sull'impiego di regolatori ripetitivi. Il controllo ripetitivo si fonda sull'uso del Principio del Modello Interno (IMP, Internal Model Principle), e prevede di includere nel regolatore la funzione generatrice di ogni segnale periodico di periodo noto  $T_p$  in modo da permettere l'inseguimento/reiezione di qualunque segnale di riferimento/disturbo col medesimo periodo. Nel dominio tempo-discreto l'implementazione si riduce a una coda circolare. Il guadagno del regolatore ripetitivo diventa teoricamente infinito in corrispondenza di tutti i multipli della frequenza  $1/T_p$ . Purtroppo, poiché questa caratteristica permane anche ad alta frequenza, sorgono notevoli problemi di stabilità, che sono normalmente superati ponendo un filtro passa-basso in cascata al regolatore. Tuttavia tale filtro introduce uno sfasamento nell'anello di controllo, che lo rende meno efficace, e necessita un'attenta taratura.

Il sistema di controllo basato su regolatori risonanti o ripetitivi è stato implementato in ambiente Matlab-Simulink in modo da essere utilizzabile anche sulla piattaforma di prototipazione rapida dSpace. In simulazione, l'uso dei nuovi regolatori ha permesso di ridurre il Total Harmonic Distortion (THD) da oltre il 21% a circa 1,6% in presenza di carichi fortemente distortenti.

La successiva attività di ricerca è stata la valutazione dell'effetto dei disturbi di rete (riduzione della tensione nominale del 30% per 10 ms, del 50% per 100 ms, oltre il 95% per 5s, dissimmetrie della tensione di rete, rapide prese di carico), secondo la norma di riferimento CEI EN 61851-22, che pone attenzione alle prove di immunità ai disturbi condotti per le stazioni di ricarica dei veicoli elettrici. Le simulazioni hanno mostrato il corretto comportamento del sistema di controllo di Fig. 9, ma anche la criticità della saturazione dei regolatori per il miglioramento delle prestazioni.

*d. Tecniche per l'islanding detection, e loro implementazione negli schemi di controllo.*

Nelle applicazioni vehicle-to-grid, i veicoli connessi alla rete elettrica hanno la possibilità di invertire il flusso di potenza, comportandosi come sistemi di generazione distribuita. Nonostante i tentativi di armonizzazione da parte degli enti europei (CENELEC), ciascun paese ha sviluppato propri standard e normative per i dispositivi produttori interfacciati alla rete elettrica. Tuttavia, in generale, il funzionamento isolato di una porzione della rete pubblica non è permesso. In caso d'interruzione della rete (intenzionale o meno), il sistema generatore deve rilevare la condizione di funzionamento in "isola" e immediatamente interrompere il funzionamento. Questo meccanismo di sorveglianza è

noto come protezione “anti-islanding”. L’attività di ricerca si è concentrata su due metodi anti-islanding attivi, ritenuti idonei alle stazioni di ricarica dell’energia elettrica per applicazioni V2G.

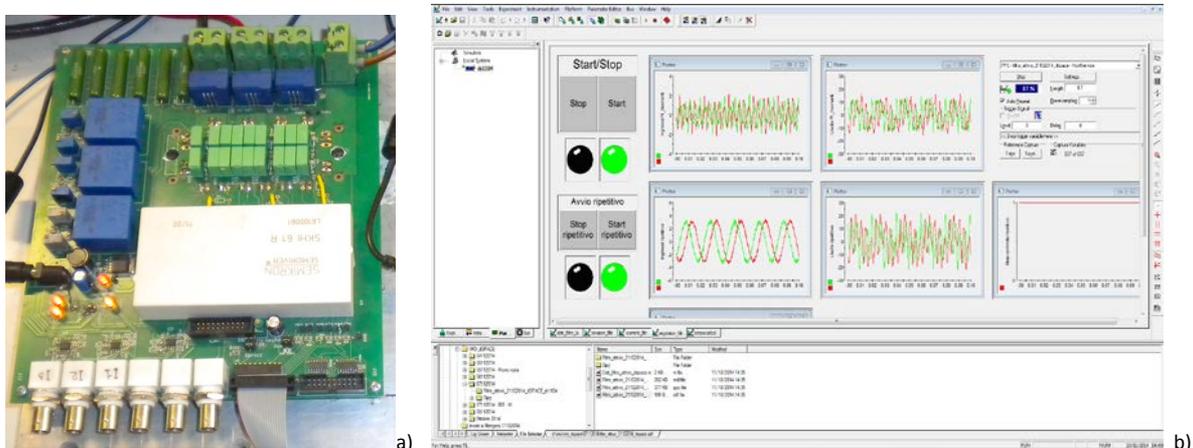
*Voltage drift method* – il metodo si basa su principio di generare un disturbo nella potenza attiva immessa in rete dal convertitore d’interfaccia.

*Frequency drift method* – il metodo si basa sul principio di generare un disturbo nella potenza reattiva immessa in rete dal convertitore di interfaccia.

Entrambi i metodi si sono dimostrati idonei al riconoscimento di condizioni funzionamento in isola, rispettando le specifiche della normativa CEI 0-21.

e. *Realizzazione di un prototipo di convertitore di interfaccia da utilizzare come filtro attivo o raddrizzatore controllato bidirezionale PWM per la verifica sperimentale delle tecniche di controllo proposte.*

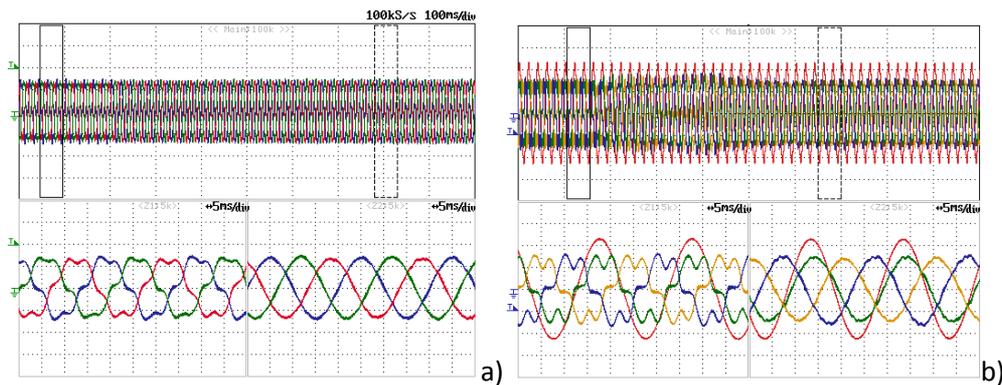
E’ stato realizzato un banco comprendente un convertitore active-front-end posto in parallelo a un carico distorto. Il convertitore, completamente progettato all’interno del laboratorio LEMAD dell’Università di Bologna, è mostrato in Fig. 10 (a). Il convertitore può sia operare da raddrizzatore attivo, sia da filtro attivo. Il sistema di controllo è realizzato in ambiente Simulink e gestito tramite il Control Desk di dSpace visibile in Fig. 10(b).



**Figura. 10** - Inverter (a) e sistema di controllo nell’ambiente di sviluppo rapido dSpace (b).

f. *Prove sperimentali.*

E’ stata eseguita una campagna di prove sperimentali per validare i modelli teorici e le prestazioni dei sistemi di controllo sviluppati. Le prove hanno verificato il corretto funzionamento del convertitore d’interfaccia realizzato, sia nella configurazione “raddrizzatore pwm” sia nella configurazione “filtro attivo”. Le Figure 11(a) e 11(b) mostrano alcuni risultati sperimentali ottenuti durante le prove utilizzando il sistema di controllo con regolatori risonanti e ripetitivi.



**Figura. 11** – Transitorio della corrente di rete dovuto all'intervento dei regolatori risonanti (a) e ripetitivi (b).  
Scala: 2A/div.

Il sistema di controllo basato su regolatori risonanti è in grado di compensare efficacemente la distorsione della corrente di rete. Il THD delle correnti si riduce dal valore del 21,5 % prima dell'intervento del filtro attivo, al 2.03 % o al 3.78% rispettivamente all'entrata in funzione dei regolatori risonanti o di quelli ripetitivi.

#### Confronto con i risultati attesi ed eventuali scostamenti rilevati

I sistemi di controllo sviluppati basati su regolatori risonanti o su regolatori ripetitivi si sono dimostrati entrambi in grado di soddisfare la normativa di riferimento.

I target di progetto erano i seguenti:

- corretto funzionamento in modalità raddrizzatore attivo e filtro attivo in condizioni tipiche delle applicazioni industriali;
- abbattimento della distorsione delle correnti in ingresso indicativamente di un fattore 10 (es: riduzione del THD delle correnti in ingresso da 20 a 2), e comunque tali da rientrare nelle norme IEEE-STD 519 e EN 61000-3-12;
- controllo indipendente delle singole armoniche di corrente sino alla 17a;
- riduzione delle perdite di commutazione del convertitore rispetto alle normali tecniche di modulazione SVPWM.

Nello specifico caso in esame, il coefficiente TDD (total distortion demand) dovrebbe essere inferiore al 5% (Tabella 2).

Si è sperimentalmente verificato che il convertitore d'interfaccia in configurazione B) era in grado di abbattere la distorsione da circa il 21.5% al 2%, compensando l'effetto del carico sino alla 19a armonica.

Parimenti, l'uso del regolatore ripetitivo consentiva di scendere a una distorsione del 3.8% circa.

Maximum harmonic current distortion in percent of $I_L$						
Individual harmonic order (odd harmonics) <sup>a, b</sup>						
$I_{Sc}/I_L$	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
$< 20^c$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
$> 1000$	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Tutte le attività preventivate in fase di proposta sono state sostanzialmente coperte, in misura congrua rispetto all'importanza dei singoli argomenti. In particolare, si sono concentrati gli sforzi sugli aspetti di modellazione numerica e verifica sperimentale, piuttosto che su modelli puramente teorici.

Un'attività parzialmente sacrificata è stata lo studio di diverse soluzioni di filtro in ingresso al convertitore. Tuttavia, si è preferito rivolgere la maggior parte degli sforzi alla realizzazione e verifica sperimentale di un sistema di controllo soddisfacente i requisiti di flessibilità dell'applicazione, e in grado di assicurare una qualità elevata della corrente in rete. Assieme all'ottimizzazione della tecnica di modulazione, ciò consente una riduzione della taglia dell'induttore di filtro in ingresso al convertitore stimabile tra il 10% e il 30% indipendentemente dalla soluzione adottata.

### Deliverables

Il principale deliverable di questa attività è il seguente:

- Report D\_4.1.2: "Sviluppo di strategie di controllo per un convertitore active front-end idoneo ad applicazioni smart-grid e V2G".

Il report tratta i seguenti argomenti:

- realizzazione del prototipo di convertitore per applicazioni active-front-end
- controllo del convertitore active front end come raddrizzatore controllato
- controllo del convertitore active front end come filtro attivo con regolatori ripetitivi
- controllo del convertitore active front end come filtro attivo con regolatori risonanti

Nel report sono inoltre riportati i seguenti modelli di simulazione:

- modelli in ambiente Simulink – dSpace di un convertitore di interfaccia controllato con regolatori ripetitivi
- modelli in ambiente Simulink – dSpace di un convertitore di interfaccia controllato con regolatori risonanti

### Benefici per gli utenti finali

Le tecniche di controllo sviluppate per il miglioramento della qualità della corrente assorbita dalla rete comportano diversi vantaggi, sia per l'utente della stazione di ricarica, sia per il gestore.

In primo luogo è possibile una riduzione dei requisiti dei filtri EMC in ingresso e di rifasamento, e conseguentemente del loro ingombro.

In secondo luogo, la riduzione delle armoniche in rete e delle perdite del convertitore comporta un aumento potenziale dell'efficienza del gestore, che potrebbe auspicabilmente riflettersi in una riduzione del costo dell'energia per l'utente finale, o comunque un risparmio delle risorse energetiche.

### **Diffusione dei risultati**

Una prima diffusione dei risultati conseguiti durante l'attività di ricerca è avvenuta attraverso le pubblicazioni seguenti:

- G. Rizzoli, L. Zarri, M. Mengoni,; A. Tani, L. Attilio, G. Serra, D. Casadei, "Comparison between an AC-DC matrix converter and an interleaved DC-DC converter with power factor corrector for plug-in electric vehicles, "2014 IEEE International Electric Vehicle Conference (IEVC), 17-19 Dec. 2014, Florence, Italy, pp. 1-6, DOI 10.1109/IEVC.2014.7056209, ISBN: 9781479960750
- M. Mengoni, A. Tani, L. Zarri, G. Rizzoli, G. Serra, D. Casadei, "Control of an Open-Ended Induction Machine Using a Dual Inverter System With a Floating Capacitor Bridge, " ECCE 2015, Montreal, CA, 20-24 Sept. 2015, pp. 4872-4879, IEEE Catalog Number: CFP15ECD-USB, ISBN: 978-1-4673-7150-6.

Il primo lavoro scientifico confronta due soluzioni per ricarica-batteria per veicoli elettrici o plug-in. Il sistema basato su convertitore active-front end con funzionamento da power-factor corrector, seguito da uno stadio dc-dc interleaved, è confrontato con una soluzione innovativa basata su convertitore ac-dc di tipo a matrice, che offre potenzialmente vantaggi di compattezza. L'articolo è stato peraltro premiato con il Best Paper Award della conferenza.

Il secondo lavoro scientifico non è direttamente focalizzato sull'interfacciamento di convertitori alla rete, ma utilizza le tecniche sviluppate nel corso del progetto per la realizzazione di un azionamento innovativo, alimentato da due convertitori, di cui uno è un raddrizzatore pwm d'interfaccia (floating bridge).

Per ragioni di tempo, la presentazione dei rimanenti risultati del progetto a conferenze nazionali/internazionali e a riviste scientifiche del settore potrà avvenire solo nell'arco del 2016.

La conferenza di riferimento per queste attività è IEEE IECON 2016, che si svolgerà a Firenze, per la quale la scadenza per la proposta di articoli scientifici è attualmente fissata a metà Marzo 2016.

### **Apparecchiature disponibili e acquisite**

Lo schema del sistema di controllo dei convertitori elettronici è stato implementato nell'ambiente Matlab/Simulink, prodotto da Mathworks, di uso comune in ambito universitario.

Il modello circuitale del convertitore, la rete di alimentazione, i carichi distorcenti sono stati invece realizzati in due ambienti software diversi:

- Powersystem toolbox, di Mathworks

- PLECS toolbox, di PLEXSIM

Il primo è un toolbox di Matlab ampiamente noto per la realizzazione di simulazione di sistemi elettrici. Ha il vantaggio di essere perfettamente integrato in Simulink, ma non nasce specificatamente per la simulazione di sistemi elettronici di potenza in commutazione.

Diversamente, PLECS Blockset (Piece-wise Linear Electrical Circuit Simulation) è sviluppato in particolare per la simulazione dei circuiti elettrici in commutazione. Il vantaggio principale consiste nella buona velocità di esecuzione, perché l'algoritmo d'integrazione si limita a calcolare lo stato del convertitore statico solo negli istanti di commutazione, approssimando per quanto possibile le forme d'onda inter-ciclo in modo lineare.

L'implementazione sperimentale degli schemi di controllo è avvenuta mediante la piattaforma dSpace DS1104 installata in un PC in configurazione miditower.

Linea progettuale 2: Sviluppo di architetture e soluzioni tecniche per sistemi di comunicazione bidirezionali ed algoritmi di controllo per l'ottimizzazione delle procedure di ricarica.

#### Elenco dei Partecipanti alle attività

Unità di Ricerca	WP
Istituto di Informatica e Telematica (CNR-IIT)	2.1
Istituto Motori CNR IM	2.1
Università di Bologna - Dipartimento d'Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione (UNIBO-DEI)	2.1

#### Stato dell'arte

Negli ultimi anni il mercato internazionale delle automobili elettriche è stato in continua espansione, al punto che tale mercato è più che raddoppiato negli ultimi tre anni. Ad oggi (dati aggiornati a dicembre 2014) il numero di automobili elettriche circolanti è superiore a 665,000, il che corrisponde a circa il 0.08% del parco auto circolante nel mondo. Inoltre il mercato dei veicoli elettrici è sempre più *multi-modale* in quanto oltre alle auto elettriche è possibile contare circa 46,000 autobus elettrici e più di 235 milioni di veicoli elettrici a due ruote (e-bike, e-motorcycle, ecc.). Un fattore generale che si pone come ostacolo ad un maggiore sviluppo della mobilità elettrica è rappresentato dalle infrastrutture di ricarica. Anche senza pensare ad un modello distributivo come quello delle tradizionali stazioni di servizio, è comunque necessario garantire un numero sufficiente di punti di ricarica, che siano accessibili al pubblico, al fine di evitare ai guidatori il timore di rimanere senza la sufficiente ricarica.

Ad oggi gran parte delle stazioni di ricarica sono infrastrutture su strada fornite da aziende di servizi elettrici. Tuttavia, solo attraverso l'intervento dei privati è possibile garantire uno sviluppo delle infrastrutture di ricarica su larga scala e a livello nazionale. Per raggiungere questo obiettivo è necessario fornire : i) una maggiore flessibilità del servizio di ricarica, ii) una maggiore facilità di fruizione del servizio di ricarica, tramite l'accesso ad informazioni più dettagliate sulla disponibilità e la tipologia dei servizi di ricarica iii) una gestione da remoto, ottimizzata per la riduzione dei costi operativi. In particolare, è ormai evidente che è necessario consentire la completa interoperabilità tra diverse infrastrutture di ricarica per poter implementare logiche di roaming del servizio di ricarica analoghe a quelle da anni utilizzate nel mondo delle telecomunicazioni mobili. Al tempo stesso è necessario fornire agli operatori gli strumenti per garantire servizi di ricarica sempre più personalizzati per gestire le esigenze di flotte di veicoli elettrici (ad esempio servizi specifici per il car-sharing elettrico, offrire servizi premium e tariffe differenziate). Per raggiungere questi obiettivi è necessario dotare l'infrastruttura di ricarica di una piattaforma ICT interoperabile, che permetta l'interconnessione e la gestione coordinata di stazioni di ricarica ad accesso pubblico gestite da operatori distinti. Anche il Piano Nazionale Infrastrutturale per la Ricarica dei veicoli alimentati ad

energia Elettrica (PNire) impone l'adozione di soluzioni interoperabili, non solo in termini di tecnologie di ricarica (prese e modi di ricarica), ma anche in termini di protocolli di comunicazione.

Finora i gestori di reti di ricarica hanno per lo più sviluppato sistemi proprietari per la supervisione delle loro infrastrutture. Questa situazione è radicalmente cambiata con la creazione dell'Open Charge Alliance, un consorzio globale di produttori di stazioni di ricarica e di gestori di infrastruttura di ricarica per lo sviluppo di sistemi aperti. Il risultato principale delle attività di questo consorzio è la proposta dell'Open Charge Point Protocol (OCPP), un protocollo interoperabile ed aperto per la gestione centralizzata di stazioni di ricarica connesse in rete.

La linea progettuale 2 è composta dalla seguente attività:

### **2.1 – Sviluppo di architetture e soluzioni tecniche per sistemi di comunicazione bidirezionali nelle Smart Grid, a supporto della gestione ottimizzata di reti distribuite di stazioni di ricarica rapida di veicoli elettrici per applicazioni V2G.**

Unità di ricerca coinvolte:

- Istituto di Informatica e Telematica (CNR-IIT)
- Istituto Motori (CNR IM)
- Università di Bologna - Dipartimento d'Ingegneria dell'Energia Elettrica e dell'Informazione (UNIBO-DEI)

#### **Attività 2.1 Sviluppo di architetture e soluzioni tecniche per sistemi di comunicazione bidirezionali nelle Smart Grid, a supporto della gestione ottimizzata di reti distribuite di stazioni di ricarica rapida di veicoli elettrici per applicazioni V2G.**

##### **Obiettivi**

L'attività è principalmente volta alla progettazione e sviluppo di architetture e soluzioni tecniche per permettere la comunicazione bidirezionale tra stazione di ricarica ed infrastruttura al fine di consentire l'integrazione della stazione in un sistema informativo centralizzato di monitoraggio e controllo dei servizi di ricarica in logica Smart Grid. Da un lato si intendono integrate nel sistema di comunicazione tecnologie a Radio Frequenza (WiFi, 3/4G, ecc.), che permetteranno di raccogliere e trasferire in tempo reale al sistema informativo centralizzato i dati riguardanti i diversi sotto-sistemi della stazione di ricarica, tramite l'utilizzo di protocolli di comunicazione TCP/IP. Dall'altro lato, saranno definite soluzioni e tecniche in grado di coprire le necessità di una comunicazione di più "alto livello" per la condivisione di dati strutturati complessi quali, ad esempio, preferenze di ricarica dell'utente o profili di ricarica ottimizzati. Inoltre, è obiettivo di questa attività sviluppare strumenti (anche simulativi) di tipo web per permettere all'utente di interagire direttamente con il sistema informativo. Infine, l'attività vuole sviluppare soluzioni a supporto di logiche di controllo dei servizi di ricarica elettrica in reti distribuite di stazioni di carica, ad esempio per visualizzare informazioni sullo stato delle stazioni di ricarica interconnesse in rete, prerequisito per fornire agli utenti (singoli veicoli e/o flotte) servizi a valore aggiunto, quali la stima dei tempi attesi di ricarica.

## Risultati conseguiti

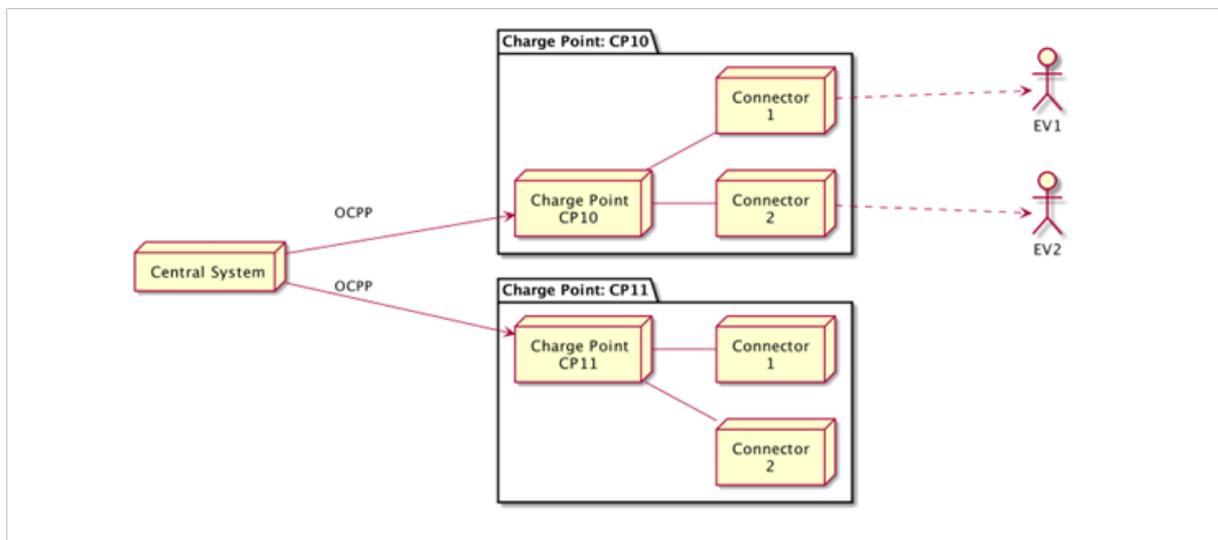
**WP 2.1 (CNR-IIT)** I principali risultati conseguiti dal CNR-IIT sono riportati di seguito.

1. sviluppo di un prototipo software del protocollo Open Charge Point Protocol (OCPP) - versione 1.6, che permette di gestire in modo centralizzato una infrastruttura di stazioni di ricarica interconnesse in rete. Il prototipo OCPP sviluppato in questa attività è stato realizzato adottando una framework software altamente scalabile, basata su WebSockets, servizi HTTP di tipo RESTful, tecnologie di programmazione open-source.
2. sviluppo di un prototipo hardware di una centralina di comunicazione per l'interconnessione di stazioni di ricarica in reti eterogenee, utilizzando protocolli di rete TCP/IP e tecnologie radio. Tale prototipo è stato realizzato utilizzando un computer single-board che offre molteplici slot di espansione ed interfacce di Input/Output. Inoltre la centralina di comunicazione è interconnessa ad un analizzatore di rete tramite un driver che utilizza il protocollo di comunicazione seriale Modbus/TCP.

Nel seguito si riporta una breve descrizione di questi due risultati.

### Prototipo software del protocollo OCPP

Il protocollo OCPP è un protocollo aperto e standard utilizzato per gestire la comunicazione tra uno o più punti di ricarica (Charge Point – CP) connessi in rete, dove viene effettuata la carica di un veicolo elettrico, ed un sistema di supervisione centralizzato (Central System – CS), che rappresenta il nodo centrale che monitora e controlla i CP ad esso associati, oltre che gestire le informazioni necessarie ad autorizzare gli utenti per i servizi di ricarica offerti. In Figura 12 è riportato uno schema dell'architettura di un sistema OCPP.



**Figura 12 - Architettura del protocollo OCPP.**

Come evidenziato nella figura, ogni CP può essere dotato di uno o più connettori, che sono numerati attraverso un identificativo numerico a partire da 1 per il primo connettore, 2 per il secondo connettore e così via (l'identificativo 0 viene utilizzato per indicare l'intero CP). Il protocollo di

comunicazione tra il veicolo elettrico ed il CP è stato già standardizzato (ISO 15118-2) ed è universalmente adottato indipendentemente dallo specifico connettore adoperato per la ricarica. Al contrario la standardizzazione del protocollo di comunicazione fra il CP ed i sistemi di controllo è stato oggetto di un processo di standardizzazione che è partito con ritardo, ma che alla fine ha portato alla definizione del protocollo OCPP. Il protocollo OCPP ha subito diverse evoluzioni ed attualmente la versione più aggiornata è la 1.6. Ad oggi OCPP è utilizzato in più di 20.000 stazioni di ricarica pubbliche disponibili, e fornisce un modello di comunicazione tra le stazioni di ricarica e il sistema di gestione standard. In realtà OCPP non è solo un protocollo di comunicazione per lo scambio di messaggi, ma include funzionalità avanzate per il supporto di politiche di ricarica intelligente per il bilanciamento del carico elettrico e l'applicazione di profilo di uso specifici. Inoltre, OCPP offre una serie di funzionalità per la gestione delle transazioni e delle sessioni di ricarica, la fatturazione dei servizi di ricarica, le notifiche, identificazione di anomalie e guasti e relativa allarmistica, autorizzazione dell'utente, analisi dello stato corrente e dello storico, ecc.

Nel protocollo OCPP 1.6 le funzionalità e i messaggi associati ad esse sono raggruppati in entità chiamate profili, che prendono il nome di:

- *Core*: funzionalità di base, sostanzialmente in linea con quanto già definito nella versione 1.5;
- *Firmware Management*: supporto per l'aggiornamento del firmware di un CP per la gestione della diagnostica del CP;
- *Local Auth List Management*: funzionalità per la gestione degli utenti autorizzati ad usare un CP
- *Reservation*: supporto per la prenotazione dei servizi di un CP;
- *Smart Charging*: supporto di politiche dinamiche per la ricarica intelligente, ad esempio utilizzando il segnale pilota di controllo;
- *Remote Trigger*: supporto per il controllo da remoto dei messaggi generati da un CP

A secondo delle funzionalità richieste, gli sviluppatori del protocollo possono scegliere di implementare uno o più profili. Nel prototipo sviluppato da IIT si è scelto di implementare il profilo Core (che è l'unico obbligatorio) ed il profilo Smart Charging. Un ampio set di messaggi è definito nel profilo core, che permettono di gestire diverse funzioni, quali la configurazione del CP, la gestione delle transazioni del servizio di ricarica, l'acquisizione di dati sul funzionamento del CP, e gestione degli allarmi e delle notifiche. È opportuno sottolineare che il protocollo OCPP non solo specifica per ogni messaggio le interazioni tra CP e CS ma anche il formato dei parametri del messaggio, i loro tipi di dati e le chiavi di configurazione per modificare o meno il comportamento dei due attori coinvolti nel protocollo.

Sono stati specificati due diversi approcci software per implementare i messaggi OCPP. Il primo approccio prevede l'utilizzo della tecnologia SOAP (Simple Object Access Protocol). Il secondo approccio si basa sull'utilizzo di JSON (JavaScript Object Notation) che è un formato leggero per lo scambio di dati, completamente indipendente dal linguaggio di programmazione adottato. Il prototipo sviluppato utilizza JSON e WebSocket come protocollo di scambio di documenti JSON, una tecnologia web che fornisce canali di comunicazione tra un client ed un server di tipo full-duplex attraverso una singola connessione TCP, superando le limitazioni presenti nel protocollo HTTP tradizionale. In particolare, il CS opera come un WebSocket server ed il CP opera come un WebSocket client. Un WebSocket server può essere implementato con diversi linguaggi di programmazione. In questo caso si è utilizzato Java, sfruttando il supporto che questo linguaggio offre incluso, a partire da

Java EE 7, nella libreria standard. Come Web Application Server, cioè un server capace di ospitare applicazioni web e servizi web (servlet in Java), è stato utilizzato Tomcat.

In Figura 13 è illustrato il diagramma delle componenti del CS sviluppato, che rappresenta la struttura interna del software del CS modellato in termini dei suoi componenti principali e delle relazioni fra di essi. Come mostrato nella figura, il CS è costituito dai seguenti moduli Java, interagenti tra di loro:

- OCPP Manager: responsabile per la gestione dei messaggi OCPP in ingresso ed in uscita circolanti sulle connessioni WebSocket attive con i vari CP associati.
- Persistence Manager: responsabile per la gestione della coda dei messaggi ed il mantenimento di dei dati OCCP utilizzando risorse persistenti (principalmente un database, o una zona di memoria o un ramo del file system)
- SmartCharging Manager: responsabile per la gestione dei profili di ricarica e le relative schedulazioni.
- SendRequest Manager: responsabile della gestione delle richieste che partono dal CS verso i diversi CP.
- GUI per le interazioni con il gestore della infrastruttura di ricarica (utente del CS).

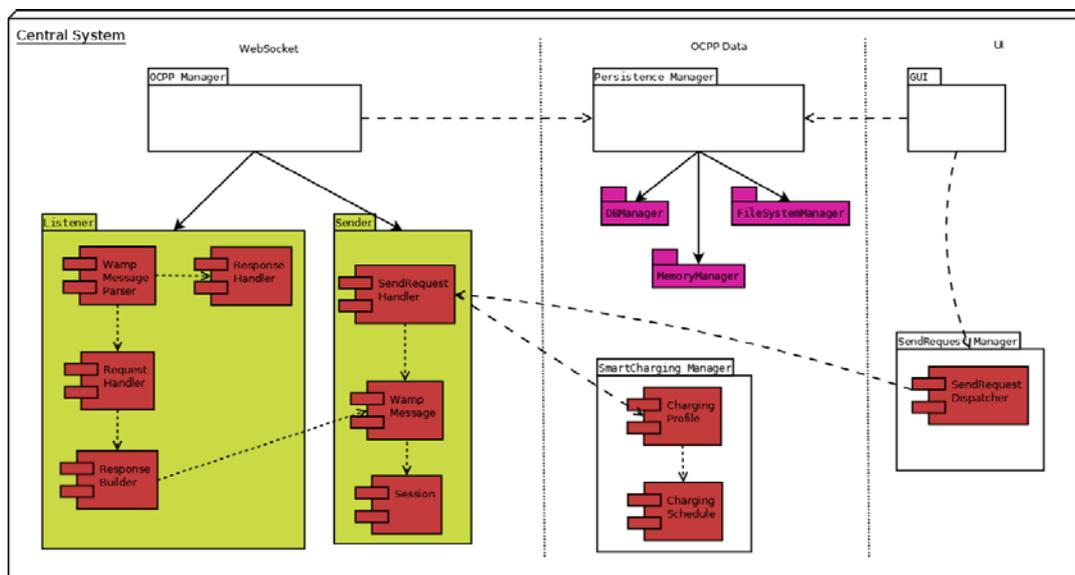


Figura 13 - Diagramma delle componenti del CS.

Nell'architettura OCCP, il CP interagisce con il CS ed esegue le richieste che riceve dal CS, quindi è naturale implementare il CP come un client WebSocket. Tuttavia, il CP ha anche un ruolo attivo in quanto deve gestire il processo di acquisizione delle misure elettriche e dei segnali di controllo relativi allo stato dei connettori e del processo di ricarica. Nel prototipo realizzato queste funzionalità di acquisizione di dati sono state implementate interfacciando la centralina di comunicazione con un analizzatore di rete DIRIS A40 prodotto dalla SOCOMEC tramite un modulo di comunicazione MODBUS/TCP.

In Figura 14 è illustrato il diagramma delle componenti del CP. Logicamente vi sono diverse analogie tra l'architettura software del CS e del CP, in particolare per quanto riguarda l'implementazione dell'OCPP Manager, che deve gestire le comunicazioni con il CS e lo scambio dei messaggi OCPP. La

differenza principale è legata al fatto che il componente Sender non ha un sotto-modulo Session, che nel CS è necessario per gestire molteplici connessioni verso differenti CP, mentre il componente Listener ha un sotto-modulo ConnectionHandler associato alla connessione WebSocket.

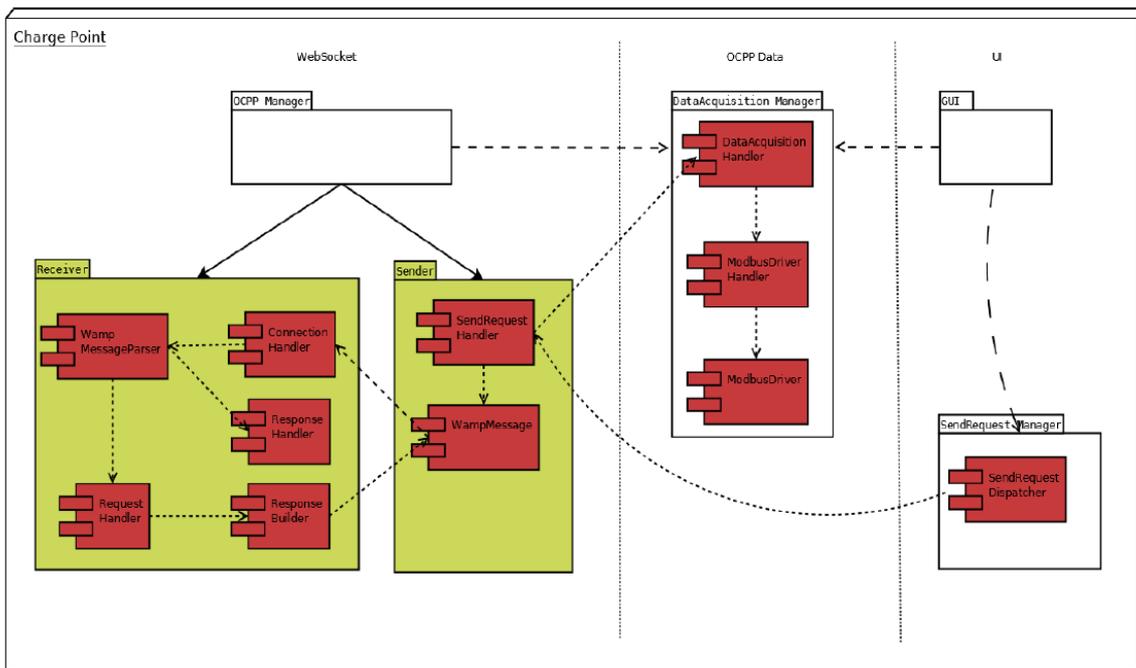


Figura 14 - Diagramma delle componenti del CP.

Il nucleo dell'implementazione del CP è rappresentato dal componente DataAcquisition Manager che ha la funzione di gestire la raccolta dei dati dai vari sensori/attuatori presenti nel CP. Nel prototipo realizzato è stato sviluppato un driver MODBUS/TCP sfruttando una libreria C open source libmodbus. Tale driver permette la lettura da remoto, tramite una opportuna API, delle misure effettuate dall'analizzatore di rete DIRIS A40.

Infine è opportuno sottolineare che il prototipo include degli strumenti web per permettere agli utenti di interagire con il CS e verificare l'esito di diverse operazioni su CP simulati.

#### Prototipo hardware della centralina di comunicazione

Il nucleo centrale del prototipo hardware per la gestione di una stazione di ricarica rapida interconnessa in rete è rappresentato da una centralina di comunicazione implementata tramite un single-board computer (un calcolatore implementato su una sola scheda elettronica), dotato di molteplici interfacce di comunicazione. In particolare, la scheda elettronica utilizzata nel prototipo è una Ventana GW5300 prodotta dalla GATEWORKS. La Figura 15 mostra la vista superiore e la vista inferiore della scheda Ventana GW5300.

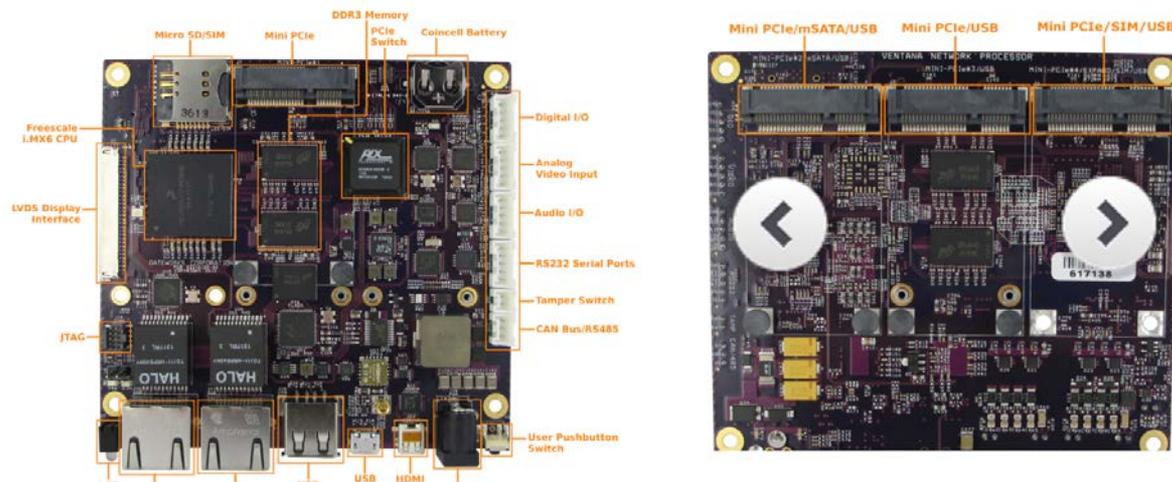


Figura 15 - Vista (sinistra) superiore ed (destra) inferiore della scheda elettronica Ventana GW5300

Le risorse (CPU e memoria) della scheda GW5300 permettono di utilizzare questa scheda anche per l'esecuzione di task complessi ed il supporto di framework applicativi avanzati. Questo è importante per supportare il framework Java per applicazioni web che è stato utilizzato per l'implementazione del prototipo software dell'protocollo OCPP. Uno degli obiettivi perseguiti durante la progettazione hardware del prototipo è stato quello di garantire la possibilità di connessione verso reti di comunicazione eterogenee. Per questo motivo la centralina di comunicazione integra sia interfacce radio a corto/medio raggio che interfacce radio a lungo raggio. Infine, la scheda elettronica può anche supportare l'acquisizione di dati da dispositivi elettronici tramite opportuni driver e relativi modem di comunicazione. Per dimostrare questa funzionalità è stato integrato un analizzatore di rete, il DIRIS A40 prodotto dalla SOCOMEC tramite un modem MODBUS/TCP

**WP 2.1 (CNR-IM)** Le attività di CNR-IM in questo WP sono state rivolte a supportare l'Unità di Ricerca del CNR-IIT fornendo le principali caratteristiche, le linee guida di programmazione e modalità operative dell'analizzatore di rete SOCOMEC DIRIS A40, installato nel dimostratore della stazione di ricarica oggetto del WP 1.1. Tali attività sono state fondamentalmente dedicate a fornire dettagli tecnici di input per lo svolgimento del WP 2.1, che ha riguardato la progettazione e l'ottimizzazione di reti di comunicazione tra più stazioni di ricarica, integrando il DIRIS A40, attraverso un modem MODBUS/TCP, con il prototipo hardware della centralina di comunicazione.

**WP 2.1 (UNIBO-DEI)** L'attività di UNIBO-DEI è stata sostanzialmente di supporto alle altre unità per la definizione delle specifiche e delle prestazioni dei sistemi. Le simulazioni e i modelli analitici realizzati hanno permesso di individuare

- i possibili stati di funzionamento del convertitore di interfaccia alla rete.
- le variabili per il controllo e la rappresentazione dello stato del convertitore di interfaccia
- le modalità di interfacciamento alla rete secondo la norma CEI 0-21, che definisce la regola tecnica di riferimento per la connessione di utenti attivi e passivi alle reti BT.

### **Confronto con i risultati attesi ed eventuali scostamenti rilevati**

L'obiettivo principale della linea 2, relativo allo sviluppo di sistemi di comunicazione bidirezionali a supporto della gestione ottimizzata di reti distribuite di stazioni di ricarica rapida di veicoli elettrici per applicazioni V2G, è stato pienamente raggiunto. Formati e modelli di Linked Open Data applicabili per la rappresentazione dei dati raccolti non sono stati integrati nel prototipo così come inizialmente previsto in quanto non attualmente supportati nel protocollo OCPP.

### **Benefici per gli utenti finali**

I potenziali benefici per gli utenti finali sono molteplici. Da un lato, sistemi aperti ed interoperabili di monitoraggio e supervisione di stazioni interconnesse in rete vengono messi a disposizione dei gestori di infrastruttura di stazioni di ricarica e dei produttori di stazioni di ricarica. Dall'altro tale sistema offre ai possessori di veicoli elettrici la possibilità di accedere a servizi di ricarica personalizzati ed ottimizzati, che possono essere forniti senza soluzione di continuità su scala metropolitana, regionale e nazionale.

Infine, la maggiore flessibilità nel poter integrare la stazione di ricarica con sistemi e software eterogenei favorisce l'apertura del mercato a nuovi gestori per la comunicazione dei dati. A tale riguardo, il supporto delle comunicazioni wireless facilita l'interazione tra la stazione di ricarica ed i dispositivi personali dell'utente (ad es. smartphones). Questo a sua volta favorisce un'innovazione del servizio di ricarica offerto, in cui l'utente riceve suggerimenti sulla stazione di ricarica più idonea a soddisfare le proprie preferenze (ad es. rapidità del servizio di ricarica e costi di ricarica).

### **Deliverables**

- D\_4.2.1: "Sviluppo di un dimostratore da laboratorio di un sistema di comunicazione bidirezionale per Smart-Grid e di servizi web per la gestione della ricarica elettrica". (CNR-IIT)

In questo rapporto tecnico vengono analizzati i requisiti di una piattaforma ICT interoperabile che possa abilitare servizi di monitoraggio e gestione di infrastrutture di ricarica tra loro interconnessi in rete al fine di erogare servizi di ricarica a valore aggiunto che siano flessibili, personalizzati ed ottimizzati. Quindi viene descritto il protocollo di comunicazione OCPP, che rappresenta uno standard per le comunicazioni tra una infrastruttura di stazioni di ricarica interconnesse in rete ed un sistema di supervisione centralizzate. Infine viene dettagliata l'architettura del prototipo software del protocollo OCPP e del prototipo hardware di una centralina di comunicazione per l'interconnessione in rete del dimostratore da laboratorio di una stazione di ricarica.

### **Diffusione dei risultati**

La diffusione dei risultati è avvenuta tramite:

- Presentazione di un articolo dal titolo "EnergyTest: A tool for assessing building energy sustainability" alla conferenza IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe), 2014
- Partecipazione al workshop annuale 2015 del Joint Programme on Smart Grids dell' European Energy Research Alliance (EERA)

- Sottomissione, in collaborazione con CNR-IM, di un articolo dal titolo “Experimental setup of a DC micro-grid for PEV fast charging and V2G operations supported by open and interoperable communication systems” al simposio IEEE PES Power Electronics, electrical drives, automation and motion (SPEEDAM), 2016.

### **Apparecchiature disponibili e acquisite**

Per lo svolgimento delle attività sono state utilizzate apparecchiature disponibili nei laboratori del CNR-IIT (oltre a materiale di consumo da laboratorio), ed in particolare:

- single-board computer per lo sviluppo di applicazioni in sistemi embedded;
- interfacce di rete a radio frequenza;
- analizzatori di rete.