



Ricerca di Sistema elettrico

## Sperimentazione per la compensazione dell'energia attiva/reattiva con la stazione di ricarica integrata presso il CR Casaccia

Antonino Genovese, Biagio Di Pietra, Danilo Sbordone

## SPERIMENTAZIONE PER LA COMPENSAZIONE DELL'ENERGIA ATTIVA/REATTIVA CON LA STAZIONE DI RICARICA INTEGRATA PRESSO IL CR CASACCIA

Antonino, Genovese, Biagio Di Pietra (ENEA)

Danilo Sbordone (Univ. Roma Sapienza, Dipartimento di Ingegneria Astronautica, Elettrica ed Energetica)

Settembre 2014

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2013

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto: Prodotti e processi per il miglioramento dell'efficienza energetica nell'elettromobilità

Obiettivo : Progettazione e studio di un convertitore per stazione di ricarica rapida in c.c. con accumulo elettrico stazionario, per l'integrazione nel sistema dei trasporti di E.E. da fonti rinnovabili non programmabili

Responsabile del Progetto: Antonino Genovese, ENEA

Si ringraziano tutti i colleghi ENEA che hanno fattivamente collaborato alla realizzazione della stazione di ricarica presso i laboratori ENEA dell'unità UTTEI-VEBIM nonché alla esecuzione delle prove descritte nel seguito del presente rapporto.

## Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	6
2.1 LA STAZIONE DI RICARICA.....	6
2.2 IL VEICOLO NISSAN LEAF .....	8
2.3 IL SISTEMA DI MISURA A TERRA .....	9
2.4 IL SISTEMA DI MISURA ON-BOARD .....	9
2.5 ANALISI PRELIMINARE.....	9
2.6 RIDUZIONE DELL'INQUINAMENTO ARMONICO .....	14
3 ESTENSIONE DEI SERVIZI OFFERTI DAL COMPENSATORE ALLA RICARICA VELOCE .....	17
3.1 SERVIZIO DI LOAD LEVELING EROGATO DAL COMPENSATORE STATICO INTEGRATO CON UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO DA 10 kW ..18	
3.2 COMPENSAZIONE DELLA POTENZA REATTIVA ASSORBITA DALLA COLONNINA DI RICARICA VELOCE.....	22
3.2.1 <i>Compensazione della sola potenza reattiva</i> .....	26
3.2.2 <i>Compensazione prioritaria della potenza reattiva</i> .....	30
4 LA STAZIONE DI RICARICA INTEGRATA CON ACCUMULO E FONTE PV.....	32
4.1.1 <i>Accumulo compensatore</i> .....	33
4.1.2 <i>Impianto PV</i> .....	34
4.1.3 <i>Gerarchia dei flussi energetici</i> .....	35
4.1.4 <i>Caricabatterie veicolo</i> .....	36
4.2 UN VEICOLO IN RICARICA .....	37
4.3 DUE VEICOLI IN RICARICA.....	41
4.4 DUE VEICOLI IN RICARICA SOVRAPPOSTA .....	43
4.5 QUATTRO VEICOLI IN RICARICA.....	44
4.6 8 VEICOLI IN RICARICA CON DISTRIBUZIONE CASUALE.....	46
5 CONCLUSIONI .....	48
6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	50

## Sommario

Lo sviluppo della mobilità è condizionato alla presenza sul mercato di dispositivi per attuare la ricarica dell'accumulo veicolare in tempi brevi. L'introduzione delle batterie al litio ha consentito un salto di qualità verso l'effettuazione di ricariche in tempi contenuti grazie alla possibilità di eseguire ricariche con caratteristiche 2C. Le infrastrutture utili a questo compito sono caratterizzate da un impegno di potenza non trascurabile e difficilmente possono trovare collocazione in ambienti tipicamente domestici. La creazione di stazioni di "rifornimento" elettrico pubbliche o allocate in ambiti privati ma al servizio di flotte di veicoli appare una soluzione maggiormente attrattiva. Sistemi di ricarica da 50 kW di potenza possono consentire ricariche nell'ordine dei 30 minuti per batterie da 65 Ah. La natura dei sistemi di ricarica costituiscono per la rete elettrica dei carichi non lineari a causa della presenza di sistemi di conversione elettronici che sono spesso fonte di disturbi armonici della corrente di linea. Inoltre possono richiedere elevati tassi di potenza reattiva specialmente nelle condizioni lontane dalla potenza nominale. Le prove condotte sulla stazione di ricarica veloce da 55 kW nella precedente annualità hanno evidenziato i problemi relativi alla distorsione armonica oltre i limiti ammissibili. La risoluzione posta in essere per rientrare entro quanto previsto dalle norme di riferimento hanno mostrato un aumento in potenza reattiva richiesta. L'utilizzo di un compensatore statico alimentato da un accumulo stazionario consente di ridurre la potenza reattiva sulla rete oltre a fornire azioni di "load levelling" attraverso l'alimentazione da impianto fotovoltaico. Di seguito sono riportate le misure eseguite sul sistema di ricarica per evidenziare come l'integrazione della stazione di ricarica con il compensatore ed un impianto fotovoltaico possa contribuire a limitare i picchi di potenza sulla rete ed a ridurre la componente reattiva. A completamento della sperimentazione è stato eseguito una analisi sul dimensionamento delle sorgenti per una stazione di ricarica integrata basandosi sulle taglie sperimentali e su un numero diverso di cariche del veicolo ( o dei veicoli).

## 1 Introduzione

I vantaggi del veicolo elettrico sotto il profilo ambientale sono ormai consolidati nella valutazione delle emissioni zero “in situ” e le valutazioni di emissioni delocalizzate presso i luoghi di produzione elettrica sono migliori grazie alla maggiore quota di rinnovabili presenti nella produzione elettrica nazionale. Contestualmente i progressi tecnologici dei sistemi di accumulo consentono una disponibilità del veicolo per una percorrenza idonea all’ambito urbano ed al traffico pendolare. In questo quadro di riferimento la ricarica del sistema di accumulo elettrico è il punto in cui convergono sia i problemi di gestione dell’utenza che gli effetti sulla rete elettrica. La ricarica rapida è quindi la sfida che progettisti e ricercatori stanno affrontando al fine di rendere il veicolo elettrico maggiormente attrattivo per l’utente finale. Pertanto la possibilità di impiego massivo del veicolo elettrico è correlata anche alle prospettive di sviluppo della tecnologia di ricarica del sistema di accumulo elettrico in tempi contenuti nell’arco della giornata e non solo durante la fase notturna. In tale scenario la sostenibilità del veicolo elettrico si gioca parimenti anche su altri tavoli dove convergono le istanze della rete elettrica sia in termini di potenza disponibile che di qualità dell’ energia. Infatti occorre tener presente sia la crescita della domanda di potenza prelevabile dalla rete per le operazioni di ricarica che gli inevitabili problemi di degrado della “qualità dei parametri di rete” che i sistemi elettronici di conversione della potenza inevitabilmente comportano.

La valutazione degli impatti della ricarica rapida riveste un aspetto importante sotto diversi aspetti sintetizzabili in: carico sulla rete elettrica, inquinamento armonico, efficienza di conversione ed integrazione di sorgenti energetiche. Ognuna di queste caratteristiche deve essere adeguatamente sostenuta sia a livello di risorsa interna del sistema di conversione che a livello di gestione del network.

Elevati livelli di potenza sono sicuramente preferibili per la brevità del ciclo di carica ma devono fare i conti con la potenza disponibile in cabina che, in relazione alle varie ore del giorno, risulta variamente disponibile. Le stazioni di ricarica veloce sono caratterizzate dal possedere una potenza di diverse decine di kW e di essere collocate su una rete in BT (Bassa tensione). Esse sono del tipo in c.c. ( corrente continua) ossia si interfacciano con il sistema di accumulo direttamente secondo il modo 4 della IEC 61851 ma anche in c.a. ( ad esempio 22 kW di potenza massima). La richiesta di potenza per la ricarica di più veicoli costituisce un aspetto da indagare poiché la rete potrebbe essere localmente soggetta a carichi in grado di superare i valori nominali. Questa limitazione è correlata all’istante temporale della giornata in quanto il carico sulla rete subisce variazioni in dipendenza delle attività giornaliere come indicato in esempio in figura 1.

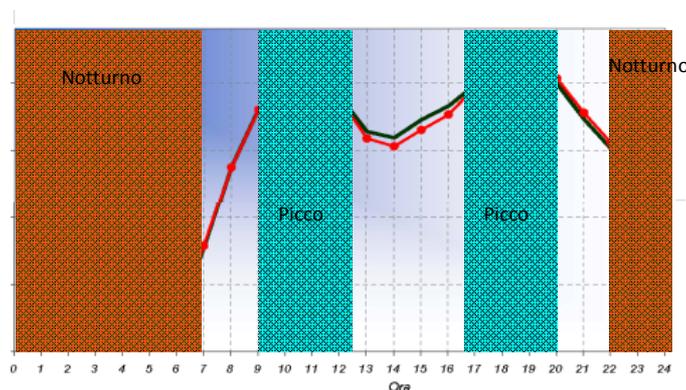


Figura 1 : diagramma tipo di carico su rete elettrica in Italia in giorno feriale

La ricarica del veicolo elettrico avviene sostanzialmente tramite l’utilizzo di convertitori elettronici che trasferiscono l’energia dalla rete al sistema di accumulo del veicolo. Tali convertitori sono elementi non lineari che inducono sulla rete un inquinamento armonico variabile in funzione della potenza assorbita e della tecnologia di interfaccia adottata. La variabilità della distorsione armonica deve in ogni caso rientrare nei limiti normativi imposti dal gestore della rete e dalla normativa nazionale.

La ricarica a 2C è tipica della carica veloce per le batterie al litio ma sono ancora in fase di accertamento gli effetti delle forti correnti sull'invecchiamento della batteria e sul degrado delle prestazioni.

Il presente report riporta i risultati della prove di ricarica veloce utilizzando una stazione di ricarica ed un veicolo che supporta la ricarica di tale tipo al fine di verificarne le prestazioni e trarre indicazioni utili per il consolidamento della diffusione della tecnologia di ricarica rapida. In particolare si intende valutare il comportamento nelle operazioni di ricarica al variare della potenza di ricarica massima installata. Le risultanze sperimentali dei test sono di ausilio sia al gestore della rete che è in grado di valutare in relazione alla tecnologia in esame gli effetti sulla linea che all'industria per la valutazione delle prestazioni e delle topologie di convertitori in grado di contribuire al pieno sviluppo della mobilità elettrica.

## 2 Descrizione delle attività svolte e risultati

### 2.1 La stazione di ricarica

La stazione di ricarica utilizzata per le prove di valutazione è una stazione il cui schema a blocchi è riportato in figura 2. Il primo stadio è un ponte trifase non controllato a diodi che provvede a fornire la c.c. al circuito di potenza. Il circuito è semplice e non richiede ulteriori azioni di controllo potendo lavorare a tensione fissa. Il bus in continua è collegato ad un blocco capacitivo per mantenere il bus a tensione costante. Di seguito vi è un inverter a ponte ad alta frequenza che genera la tensione alternata. Mediante un trasformatore di isolamento si garantisce l'isolamento galvanico tra rete e veicolo. La tensione alternata in alta frequenza è raddrizzata tramite un altro ponte a diodi (monofase) e quindi inviata all'accumulo del veicolo.

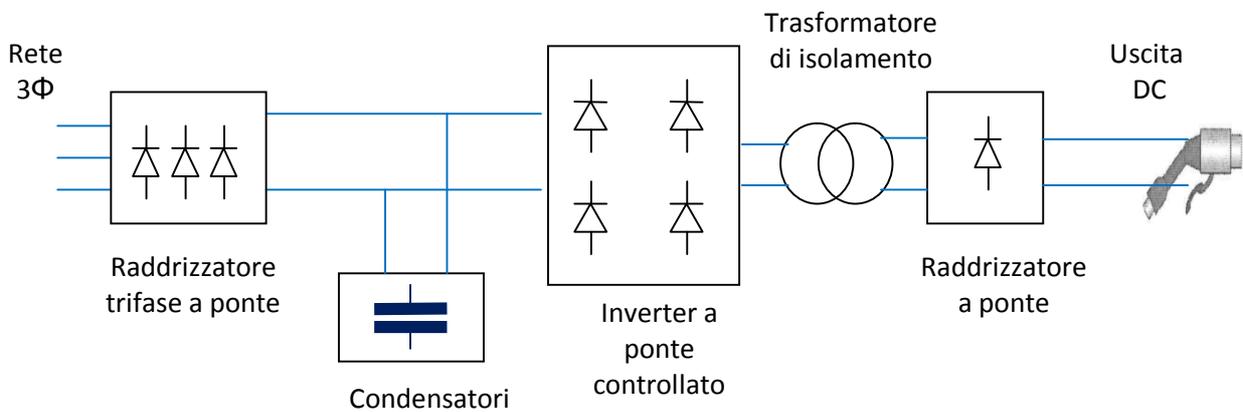
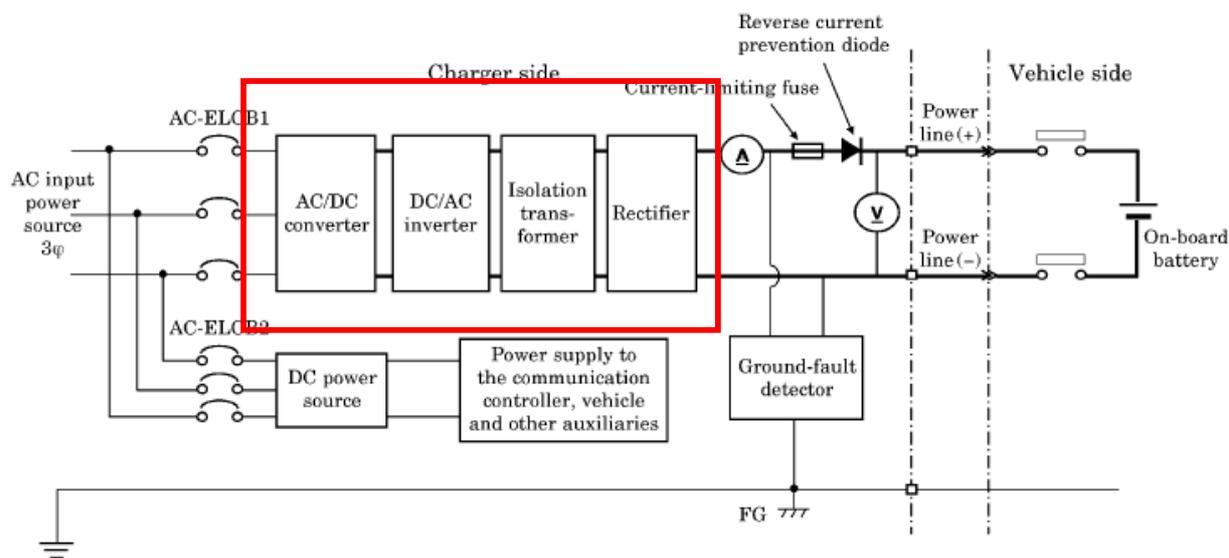


Figura 2 : schema a blocchi della stazione di ricarica rapida in c.c. utilizzata per le prove

Lo schema implementante il caricabatterie in c.c. segue le indicazioni fornite dallo standard CHAdeMo che prevede a livello circuitale una realizzazione a blocchi come indicato nella figura 3. In essa sono individuati il blocco di conversione AC/DC, quello DC/AC il trasformatore di isolamento ed il raddrizzatore. Il blocco di conversione AC/DC secondo lo standard CHAdeMo non è espressamente definito come tipologia e pertanto la soluzione di ponte non controllato individuata nella stazione in esame è pienamente legittima ma espone il sistema a possibili inconvenienti legati alla distorsione armonica della corrente di linea e al degrado del fattore di potenza.



**Figura 3 : schema a blocchi stazione di ricarica rapida in c.c. standard CHAdeMO**

Lo standard CHAdeMO richiede che le stazioni di ricarica rapida operino secondo il principio della corrente controllata dal veicolo il quale rinnova periodicamente la richiesta del valore di corrente di ricarica. La tensione in uscita si estende da 50 a 450 V con una corrente erogata da 0 a 125 A. La potenza massima possibile in uscita è pari quindi a 56 kW. L'efficienza minima del sistema deve essere pari al 90% nelle condizioni di massima erogazione della potenza.

Le operazioni di ricarica sono controllate tramite un controllo di tipo hardware con un sequenziamento delle azioni basate sul riconoscimento di determinati stati. Il controllo operativo della corrente avviene mediante un protocollo su rete CAN (Controller Area Network) che consente ai veicoli di inoltrare ad intervalli regolari i messaggi contenenti i valori di corrente desiderati.

La stazione utilizzata per le prove, come indicato nella figura 4, possiede una potenza nominale di 77 kVA su rete trifase a 400 V (3P+N). Il modo di ricarica è il modo 4 ma è possibile utilizzare anche il modo 3 (ricarica in c.a.) con una potenza di 22 kW e 32 A di corrente massima. Nel caso di modo 4 è previsto l'apposito connettore definito dallo standard JEVS (Japan Electric Vehicle standard) G105-1993 dalla Japan Automobile Research Institute. In figura 5 è mostrato il connettore in cui sono presenti sia i cavi di potenza in c.c. per la connessione al bus del veicolo ma anche i segnali di comunicazione (tramite protocollo CAN) che di handshaking veicolo-stazione. Per la ricarica nel modo 3 il connettore è tipo 2 con cui è possibile raggiungere valori di potenza di ricarica abbastanza elevati: con cavo fisso fino a 43 kW (63 A/400 V, la cosiddetta ricarica "fast AC"), con cavo staccabile fino a 22 kW (32 A/400 V) come nel nostro caso. Il connettore di tipo 2 è quello ufficialmente raccomandato dall'ACEA (European Automobile Manufacturers' Association) e recentemente scelto dalla Commissione Europea come standard unico nei Paesi membri.

Non sono riportate nello standard CHAdeMO indicazioni relative al limite del fattore di potenza PF per cui le limitazioni sono quelle attribuite dalle normative in vigore nel paese di utilizzo della stazione. La criticità di questo punto è uno degli elementi oggetto di valutazione nelle prove di seguito espletate.

INPUT		
Input voltage	400VAC 3P+N	
Nominal input power	77KVA	
Input frequency	50/60Hz	
OUTPUT		
	AC	DC
Maximum rated output current	32A	125A
Maximum rated output power	22kW	50kW
Maximum output DC voltage	400VAC	500VDC
CHARGE SYSTEM		
	AC	DC
	Mode 3	Mode 4
SOCKETS/PLUGS		
	AC	DC
	Type 2	JEVS G105
MODE 3 ENERGY METER		
Accuracy class in active energy	Class B - EN50470-3	
Accuracy class in reactive energy	Class 2 - EN62053-23	
Meter Standards	EN62052-11, EN62053-21, EN62053-23, EN61010-1	
COMMUNICATIONS		
Ethernet	10/100/1000BaseTX	
GENERAL		
Enclosure Rating	IP54 /IK8	
Operating temperature	-30 to 60°C	
RFID System	ISO/IEC14443A/B	
HMI	LCD 8" screen	
Interface protocol	OCPP / XML protocol	
Rear Light beacon	Three colour led status	
Power limit control	Software limit	
OPTIONAL DEVICES		
Mobile communications	3G/GPRS/GSM	
Harmonics filter (optional integrated harmonic filter module)	5th harmonic 7th harmonic	

Figura 4 : caratteristiche tecniche stazione di ricarica in prova



Figura5 : connettore per ricarica in c.c. tipo CHAdeMo

## 2.2 Il veicolo Nissan Leaf

Le prove hanno avuto luogo grazie alla disponibilità di un carico costituito dal sistema di accumulo di una Nissan Leaf. Questo veicolo è dotato di un pacco batterie della capacità di 24 kWh ( disponibili 16 kWh al 67% del DoD) composta da 48 moduli con 4 celle ciascuno ( per un totale di 192 celle). La potenza è di 90 kW avendosi una densità di potenza di 500 W/kg (scarica a 3C, 2500 W/kg di picco) e una densità di energia di 140 Wh/kg. Il tempo di ricarica secondo la modalità di ricarica rapida con standard CHAdeMO è dichiarata in 30 minuti con una ricarica da 0 a 80% .

Prove preliminari hanno confermato la ricarica in ca. 30 minuti dal 25% al 90% come indicato dalla stazione di ricarica. Con una ricarica successiva si è raggiunto il 98 % di ricarica massima, come mostrato dalla stazione, in circa 25 minuti. La seconda parte della ricarica come si vedrà nel seguito avviene a correnti molto inferiori alla prima ricarica ed i tempi sono pertanto maggiormente lunghi.

Il veicolo è dotato di un indicatore del livello di carica che fornisce una stima della carica accumulata in funzione della guida e quindi del livello di corrente utilizzato per la scarica.

### *2.3 Il sistema di misura a terra*

La stazione di ricarica è stata sottoposta ad monitoraggio per la rilevazione del comportamento elettrico ed energetico durante la ricarica del veicolo. Il monitoraggio del caricabatterie CHAdeMO è stato eseguito utilizzando il sistema di misura sviluppato per la RdS nell'annualità in corso (RdS/2013/134). Il sistema di misura è stato ideato come una stazione automatica di misura, basata su un PC equipaggiato con una scheda di acquisizione dati e con trasduttori di tensione, corrente e con un sistema di datalogging per le misurazioni della temperatura; per la acquisizione e l'elaborazione dei dati di misura è stato sviluppato un software dedicato in ambiente National Instruments LabVIEW. L'acquisizione dei valori di tensione e corrente all'ingresso ed all'uscita del convertitore è eseguita con campionamento ad elevata frequenza, in modo da poter valutare correttamente l'efficienza del convertitore anche in condizioni dinamiche. I trasduttori di tensione e di corrente sono stati scelti privilegiando la precisione e la banda passante, con portate individuate a partire dalle specifiche del convertitore da collaudare. L'impiego di trasduttori ad effetto Hall consente di garantire al sistema di misura requisiti di sicurezza elettrica importanti, quali l'isolamento galvanico tra i circuiti di misura ed i conduttori di potenza, con un livello di isolamento fino ad alcuni kV, elevata banda passante grazie al funzionamento in tecnica a ciclo chiuso, possibilità di misura anche componenti significative in DC.

L'applicazione utilizza una scheda National Instruments, modello NI USB-6255; si tratta di un modulo DAQ di acquisizione dati multifunzione della Serie M a prestazioni elevate ottimizzato per ottenere maggiore accuratezza a frequenze di campionamento elevate. NI USB-6225 è utilizzabile per le applicazioni come la registrazione dei dati ad elevato numero di canali e per le misure di segnali di uscita di sensori ad elevata banda passante, come nella applicazione presente. Per l'applicazione sviluppata, sono stati utilizzati 8 canali in configurazione differenziale, per ridurre gli effetti del rumore di modo comune.

Non si è ritenuto necessario l'utilizzo di una scheda ad effettivo campionamento simultaneo, vista possibilità di sviluppare un sistema di misura con frequenza di campionamento sufficientemente elevata da rendere trascurabile il ritardo introdotto dal multiplexer, a fronte di un consistente risparmio nei costi di sviluppo del sistema. Il software di misura ed elaborazione dei dati sperimentali è stato implementato in LabVIEW.

### *2.4 Il sistema di misura on-board*

A completamento delle informazioni raccolte durante le operazioni di ricarica è stato installato a bordo del veicolo un data logger in grado di registrare alcune grandezze che il sistema di gestione del veicolo rileva a bordo con i suoi sensori. Il sistema di rilevazione a bordo è un dispositivo che intercetta sulla rete CAN del veicolo i messaggi contenenti i valori di : tensione di batteria, corrente di batteria, SOC batteria ed energia residua in batteria.

### *2.5 Analisi preliminare*

Nella precedente annualità della Ricerca del Sistema elettrico (RDS) è stata eseguita una preliminare valutazione delle prestazioni della stazione di ricarica rapida utilizzata per ricaricare rapidamente il veicolo elettrico. Le misure riportate in [1] hanno mostrato un andamento del ciclo di ricarica dell'accumulo veicolare come mostrate in figura 6 : un tratto a corrente costante a 125 A in c.c. ed un successivo tratto a tensione costante. La figura 7 mostra invece la potenza massima erogata, prossima a 50kW, e l'integrale dell'energia erogata verso l'accumulo elettrico. In queste condizioni di utilizzo il rendimento della stazione

di ricarica ha mostrato un valore massimo del 92% per decrescere nel tempo al diminuire della potenza erogata.

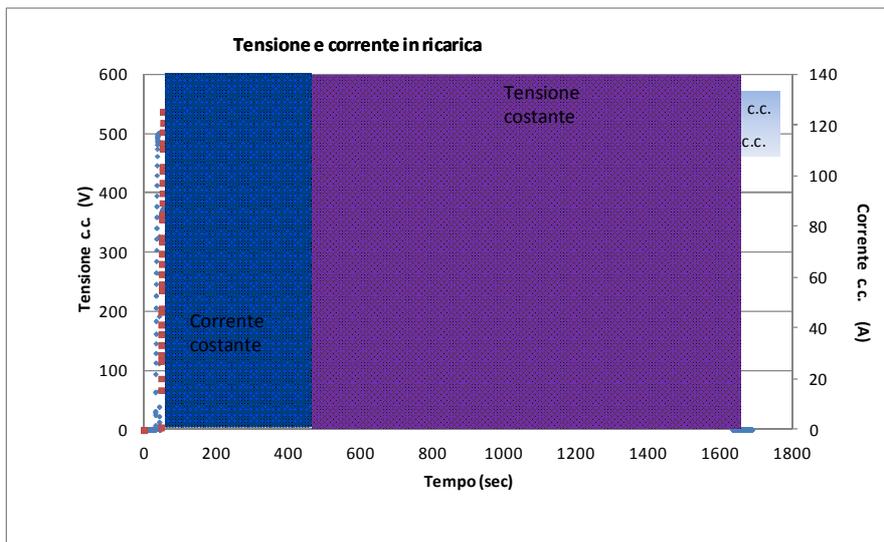


Figura 6 : profilo di ricarica tipo per corrente e tensione in c.c.

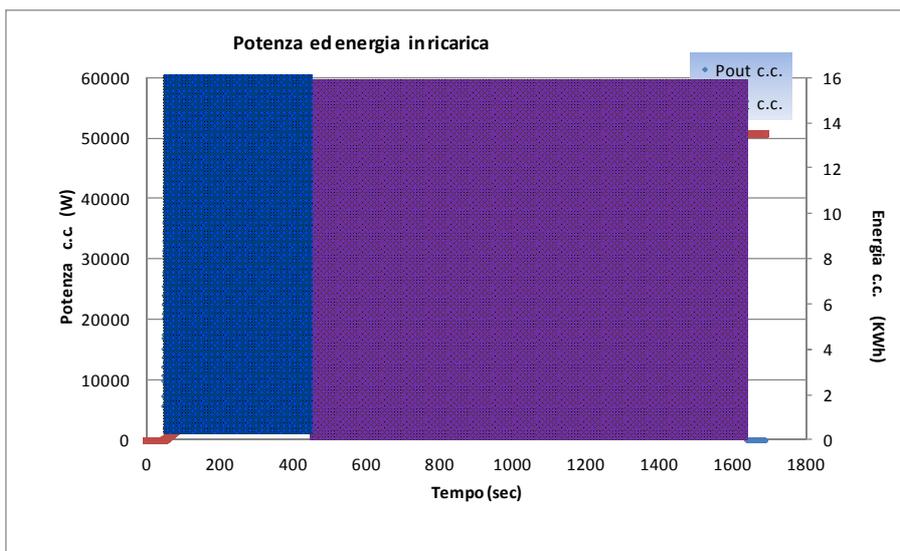


Figura 7 : profilo di ricarica tipo per potenza ed energia erogata in c.c.

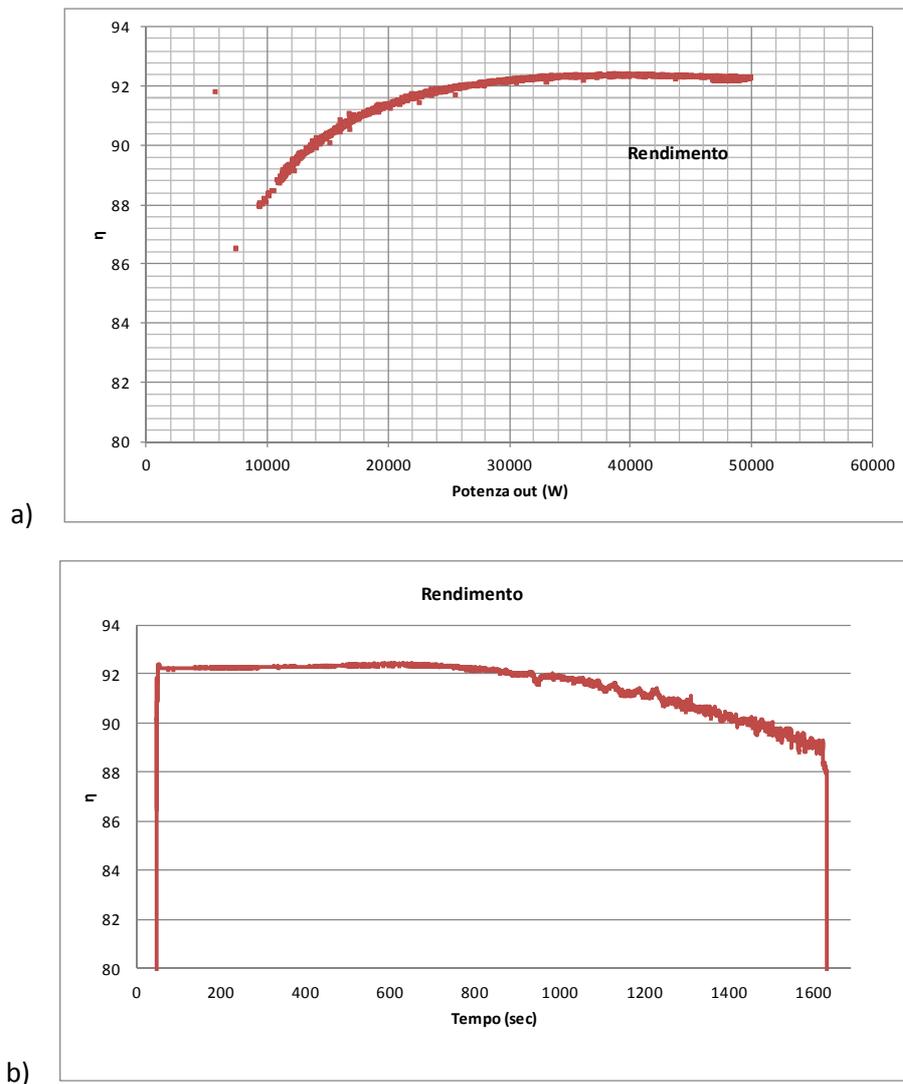
In particolare al di sotto dei 30 kW erogati il rendimento si riduce progressivamente sino all'86% per potenze intorno agli 8 kW ( figura 8). Il decadimento del rendimento suggerisce un limite operativo minimo oltre cui la stazione di tale taglia per la ricarica rapida non risulta energeticamente conveniente da utilizzare a causa dell'eccesso di perdite di conversione.

La misura della potenza lato rete elettrica ha indicato un prelievo massimo di potenza attiva di 54 kW ben distribuita sulle tre fasi. La massima potenza apparente rilevata è di di 58 kVA con una potenza reattiva massima di 15.7 kVar. In figura 9 è riportato l'andamento delle potenze lato rete.

Il DPF ossia fattore di potenza legato alla componente fondamentale della corrente di linea è mostrato insieme al fattore di potenza PF della corrente distorta in figura 10 ricordando la relazione che li collega:

$$PF = DPF * \sqrt{1 + \frac{1}{\left(\frac{THD\%}{100}\right)^2}}$$

Queste prime prove hanno indicato una limitazione nelle prestazioni della stazione di ricarica che hanno richiesto un successivo intervento del costruttore per un aggiornamento dell'hardware della stazione.



**Figura 8 : rendimento al variare della potenza erogata (a) e del tempo (b)**

La distorsione della corrente di linea come conseguenza della presenza del ponte raddrizzatore trifase influisce negativamente sulla linea incrementando la potenza inutilizzata sulla linea di alimentazione. Questo effetto peggiorativo del PF si manifesta al diminuire della potenza erogata dalla stazione di ricarica ossia della minore corrente assorbita dalla linea. La corrente in questo caso assume caratteristiche maggiormente impulsive con un degrado della distorsione come tipicamente offerto da un raddrizzatore a ponte trifase a diodi ( figura 11).

La valutazione della distorsione e delle armoniche di corrente ci consente di verificare la rispondenza ai limiti di qualità della corrente di linea. In figura 12 è riportato lo spettro delle armoniche di corrente con i

valori delle ampiezze mentre in tabella 1 sono indicati i risultati delle correnti armoniche espresse in percentuale rispetto alla fondamentale. La comparazione con i limiti normativi utilizza i valori per  $R_{sce}$  minimo pari a  $33 \Omega$  in quanto la norma prevede che tutte le apparecchiature conformi ai limiti di emissione a  $R_{sce}$  pari a  $33 \Omega$  sono idonee per il collegamento a qualsiasi punto del sistema di alimentazione.

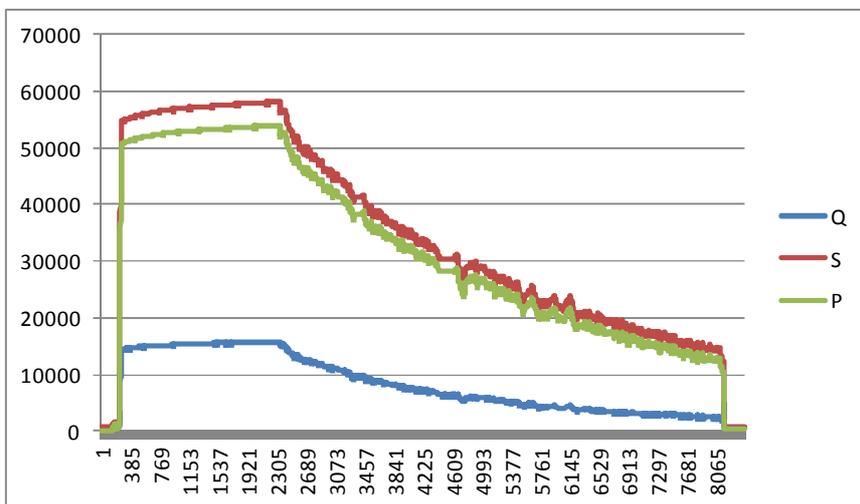


Figura 9 : potenze lato rete (W,VA,var)

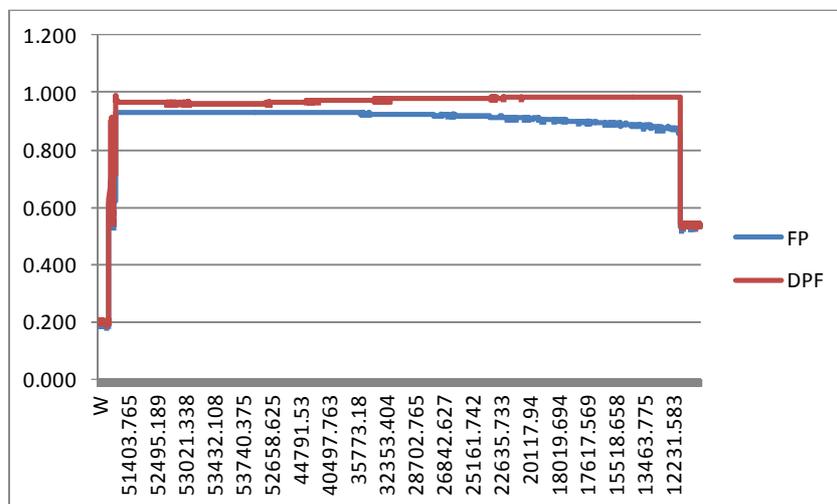


Figura 10 : Fattore di potenza della fondamentale e fattore di potenza distorto

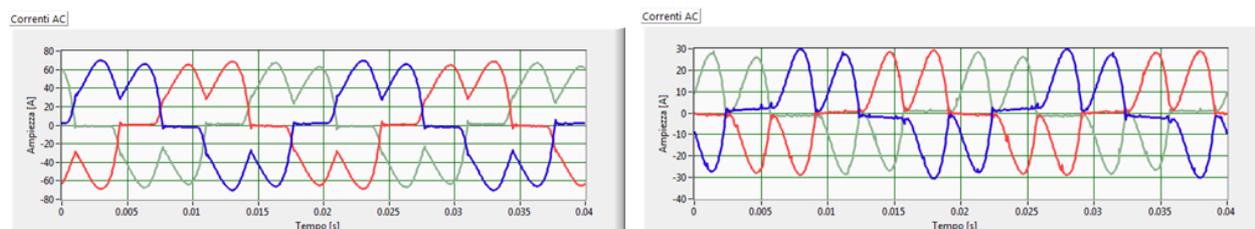


Figura 11 : corrente di linea al diminuire della potenza assorbita

Dalla tabella si evince che la distorsione armonica totale supera il limite massimo ammissibile con  $5^a$ ,  $7^a$  ed  $11^a$  armonica superiore al rispettivo limite % riferito alla fondamentale. In particolar modo la  $5^a$  armonica

risulta essere particolarmente superiore al limite con un valore pari al 250% . I valori risultano essere peggiori al diminuire della potenza erogata. Questo è evidenziato anche in figura 13 ove è riportato l'andamento della distorsione armonica totale durante la ricarica in riferimento al limite i qualità. Nella figura 14 la medesima distorsione armonica è riferita alla potenza assorbita.

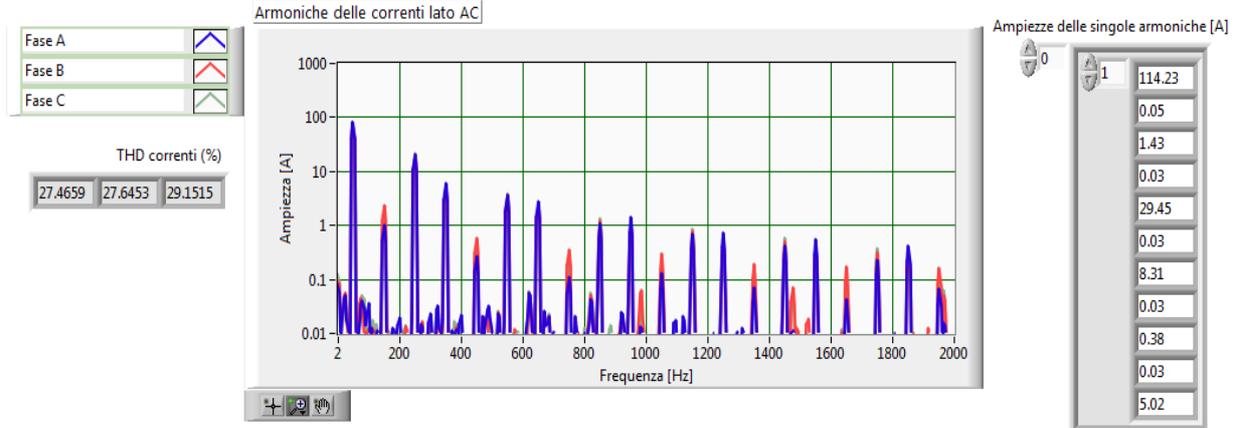


Figura 12 : spettro corrente di linea

Tabella 1 : distorsione armonica

ordine armonica	THD%	D%	Limite In/I1 %	Limite THD%
	27.2	100.0		23.0
2		0.0	4.0	
3		1.3	21.6	
4		0.0	2.0	
5		25.8	10.7	
6		0.0	1.3	
7		7.3	7.2	
8		0.0	1.0	
9		0.3	3.8	
10		0.0	0.8	
11		4.4	3.1	

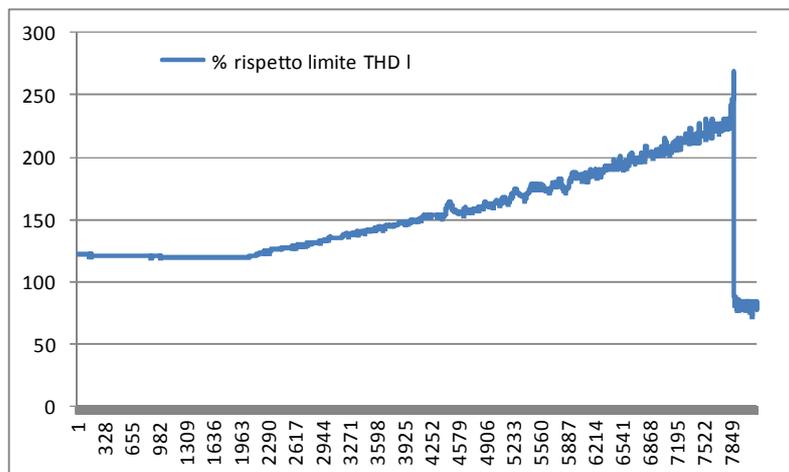


Figura 13 : THD corrente rispetto al limite durante la ricarica

All’inizio nelle condizioni di massima erogazione la THD% assume valori intorno al 125% del limite per andare al 235% del limite ammissibile quando la potenza assorbita dal caricabatterie si riduce a 10 kW.

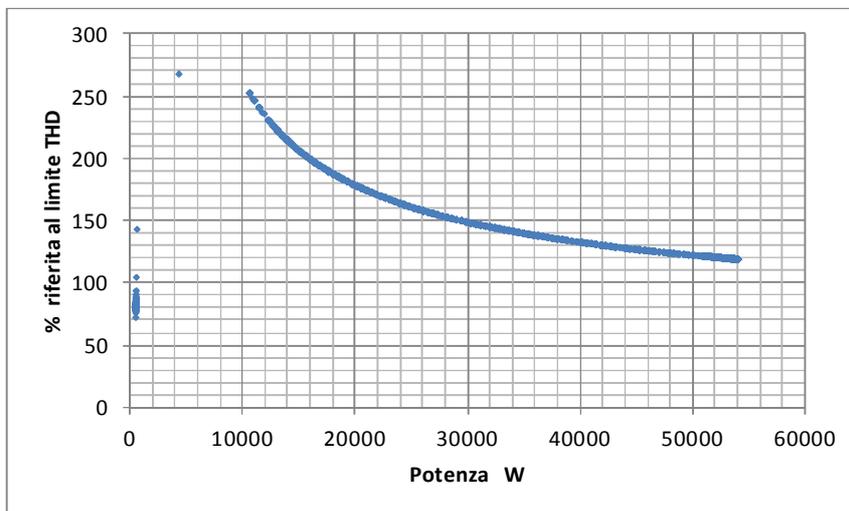


Figura 14: THD corrente in funzione della potenza assorbita

## 2.6 Riduzione dell'inquinamento armonico

La notevole differenza rispetto ai limiti normativi ha richiesto un intervento per la riduzione dell'inquinamento armonico. Questo è stato eseguito dal fornitore della stazione di ricarica mediante l'applicazione di un opportuno filtro LC in ingresso alla stazione. L'applicazione del filtro dovrebbe migliorare l'aspetto del power quality ma rischia di avere conseguenze a livello di rendimento e di potenza reattiva.

La tabella 2 riporta le rilevazioni della THD% e le ampiezze delle armoniche in percento rispetto alla fondamentale nelle nuove condizioni di sistema. La distorsione totale è rientrata nei limiti previsti dalle indicazioni normative EN 61000-2-12. Confrontando questo dato con quello precedente si evidenzia il forte abbattimento della distorsione che passa dal 27.2 % al 6.6 %. Anche la valutazione dell'inquinamento armonico per singola armonica risulta rientrare nei limiti previsti pur toccando per 11<sup>a</sup> armonica un valore prossimo al massimo ammesso.

Tabella 2 : distorsione armonica con filtro ingresso

ordine armonica	THD%	D%	Limite In/1% %	Limite THD%
		0.0		
	6.6	100.0		23.0
2		0.1	4.0	
3		0.9	21.6	
4		0.2	2.0	
5		5.1	10.7	
6		0.0	1.3	
7		2.9	7.2	
8		0.1	1.0	
9		0.5	3.8	
10		0.1	0.8	
11		2.7	3.1	

In figura 15 è riportato lo spettro armonico rilevato relativo alla tabella 2 mentre in figura 16 è possibile rilevare la forma d'onda della corrente di linea. La corrente di linea non mostra un andamento impulsivo ma assume un comportamento maggiormente sinusoidale.

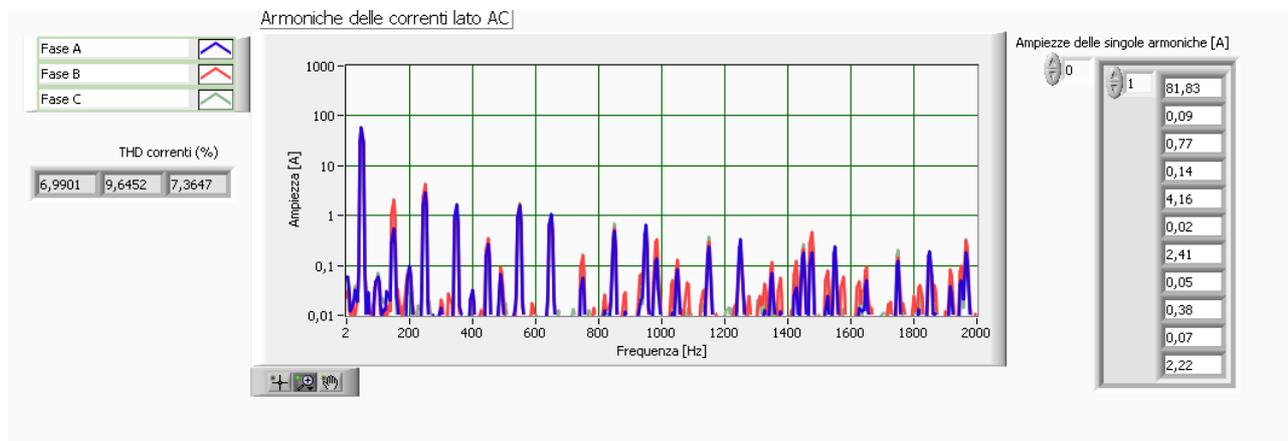


Figura 15: spettro corrente di linea con filtri

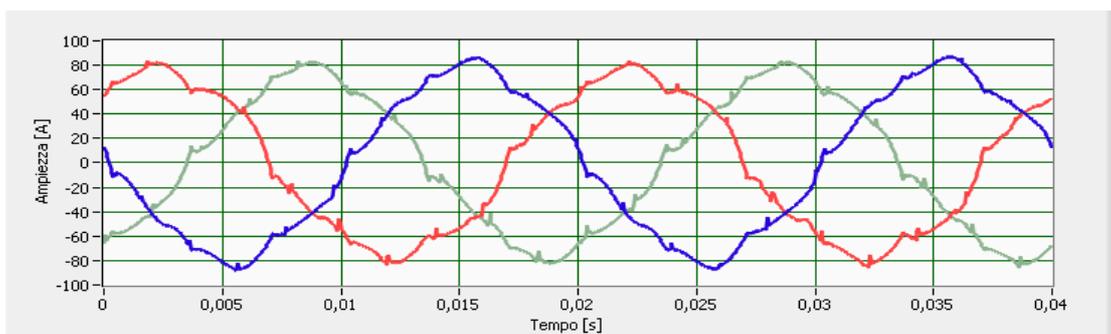


Figura 16 : corrente di linea con filtri

Analizzando il rendimento si evidenzia una leggerissima riduzione del rendimento massimo ma entro limiti più che accettabili come mostrato in figura 17 e 18.

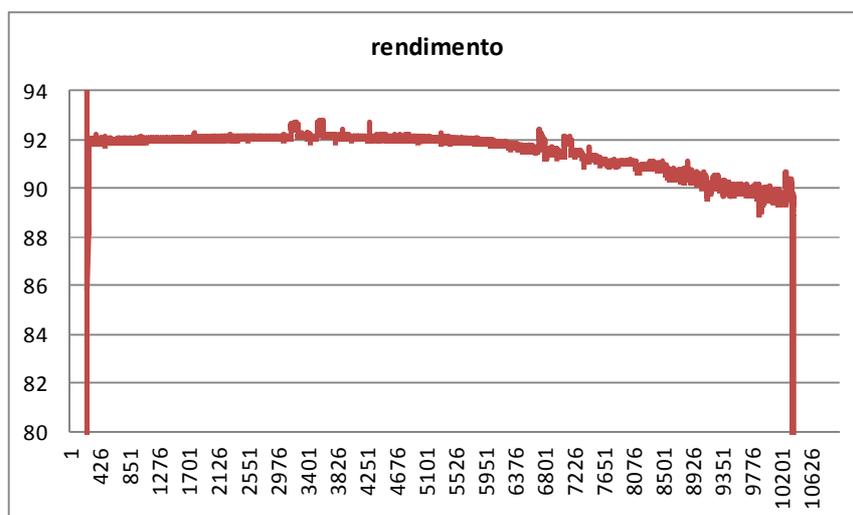


Figura 17 : rendimento al variare del tempo

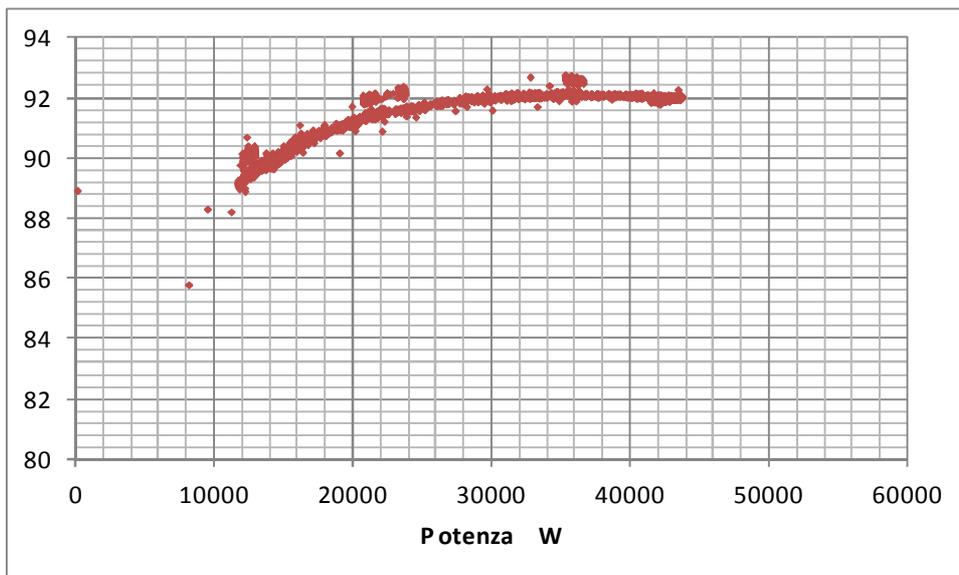


Figura 18 : rendimento al variare della potenza erogata

Se si analizza il fattore di potenza si rileva che il PF è indicativamente coincidente con il DPF per via della minore distorsione armonica. Tuttavia si ha un peggioramento del DPF a causa della presenza degli elementi filtranti che riducono sostanzialmente il fattore di potenza al diminuire della potenza erogata.

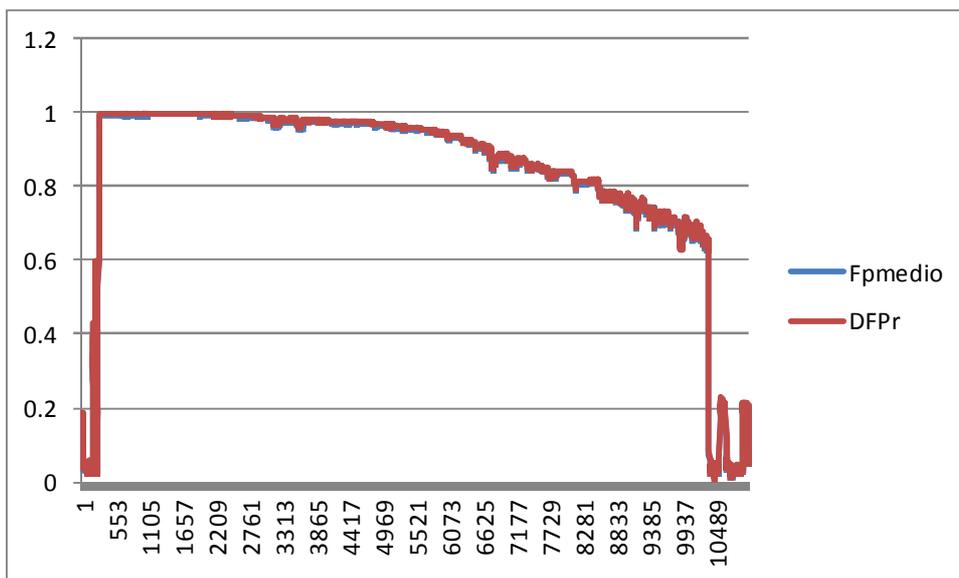


Figura 19 : Fattore di potenza della fondamentale e fattore di potenza distorto

La potenza reattiva richiesta aumenta considerevolmente al diminuire della potenza erogata sino al valore di 0.7. Questo è dovuto alla presenza del filtro che richiede una maggior componente di potenza reattiva come mostrato in figura 20. La componente reattiva cresce sensibilmente sino a superare la potenza attiva.

Il filtro ha migliorato le prestazioni per gli aspetti relativi all'inquinamento armonico ma indotto un peggioramento del fattore di potenza della fondamentale per la presenza degli elementi reattivi.

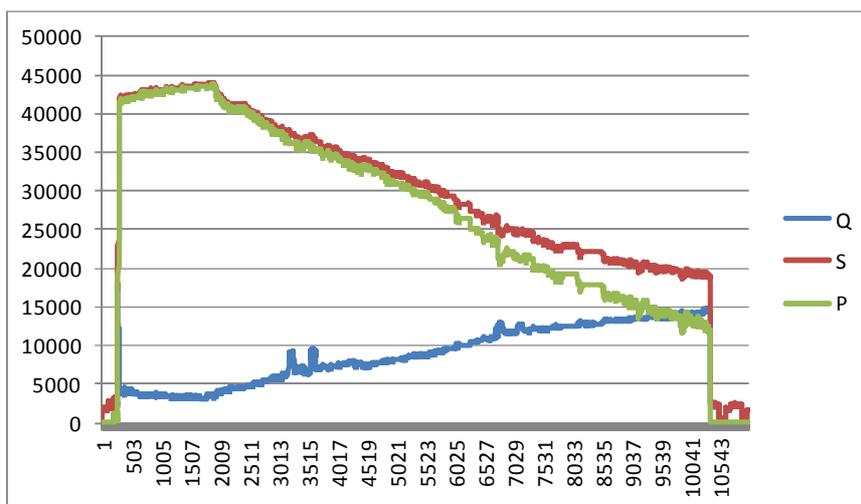


Figura 20 : potenze lato rete (W,VA,var)

### 3 Estensione dei servizi offerti dal compensatore alla ricarica veloce

In questa sezione viene descritta l'attività di ricerca svolta nella presente annualità per valutare nuovi possibili servizi offerti da un sistema di storage elettrochimico alla ricarica veloce dei veicoli elettrici. Nelle precedenti attività si è analizzato come l'impiego di un sistema di storage potesse intervenire e fornire parte della potenza attiva necessaria alla ricarica veloce del veicolo valutandone i potenziali benefici energetici.

Proseguendo l'attività intrapresa nella scorsa annualità, è stato utilizzato il compensatore statico da 30 kVA presente nel C.R Casaccia per implementare e testare i seguenti nuovi servizi erogati durante la ricarica veloce del veicolo elettrico con la stazione Chademo:

- Load levelling con impiego di energia prodotta da un impianto fotovoltaico
- Compensazione della potenza reattiva assorbita durante il ciclo di ricarica veloce

Il compensatore statico utilizzato per implementare e testare i nuovi servizi è dettagliatamente descritto nel Report RdS/2013/118 ; si riporta comunque in Figura lo schema unifilare con i principali dispositivi che lo costituiscono.

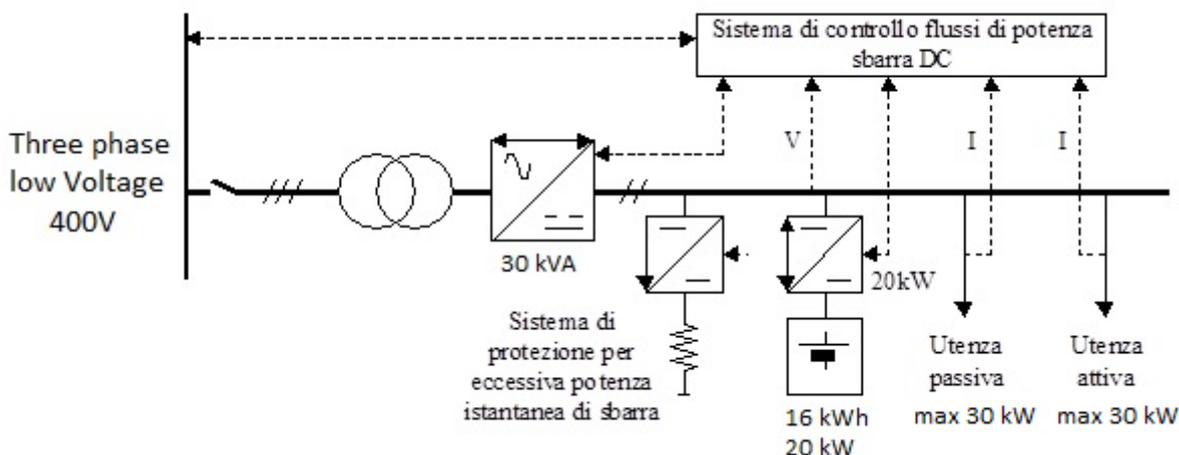


Figura 21 - schema di principio del compensatore statico impiegato per il supporto alla colonnina Chademo

Il sistema di conversione è in grado di scambiare continuamente una potenza di 30kVA con un limite della potenza attiva pari a 20 kW legato alla potenza nominale del sistema di conversione DC/DC. La

potenza attiva e reattiva erogata dal compensatore statico è regolata dai set-point forniti attraverso comunicazione CAN dal sistema di controllo implementato in Labview in secondo le logiche definite nei successivi paragrafi.

### 3.1 Servizio di load leveling erogato dal compensatore statico integrato con un impianto fotovoltaico da 10 kW

Nel presente paragrafo si riportano i risultati dei test sperimentali condotti presso in C.r ENEA Casaccia per provare i vantaggi e le criticità nell'utilizzo di un campo fotovoltaico da 10 kWp integrato con il compensatore statico da 30 kVA per fornire l'energia attiva assorbita dalla colonnina di ricarica Chademo installata presso l'ed. F33<sup>1</sup>.

La nuova logica di controllo del compensatore prevede un ciclo giornaliero di carica e scarica legato all'utilizzo del veicolo elettrico; in particolare durante il giorno, quando il veicolo è in servizio, le batterie da 16 kWh del compensatore vengono caricate da un impianto fotovoltaico da 10 kW, le stesse vengono scaricate durante le ore serali in modo da compensare il carico della colonnina di ricarica veloce Chademo.

I test sono stati effettuati emulando in Labview la produzione di energia da un campo fotovoltaico da 10 kWp connesso in derivazione allo stesso quadro generale dell'edificio F.33 come indicato in Figura 21.

Per emulare la produzione del campo fotovoltaico sono stati modificati in Labview i set point di potenza attiva forniti al compensatore statico in modo da fargli assorbire dalla rete lo stesso profilo di produzione (con passo orario) del campo fotovoltaico indicato in Figura 22 fino alla carica completa del pacco batteria (SOC 100%); l'energia prodotta in eccesso rispetto alla capacità di accumulo del compensatore si considera immessa in rete.

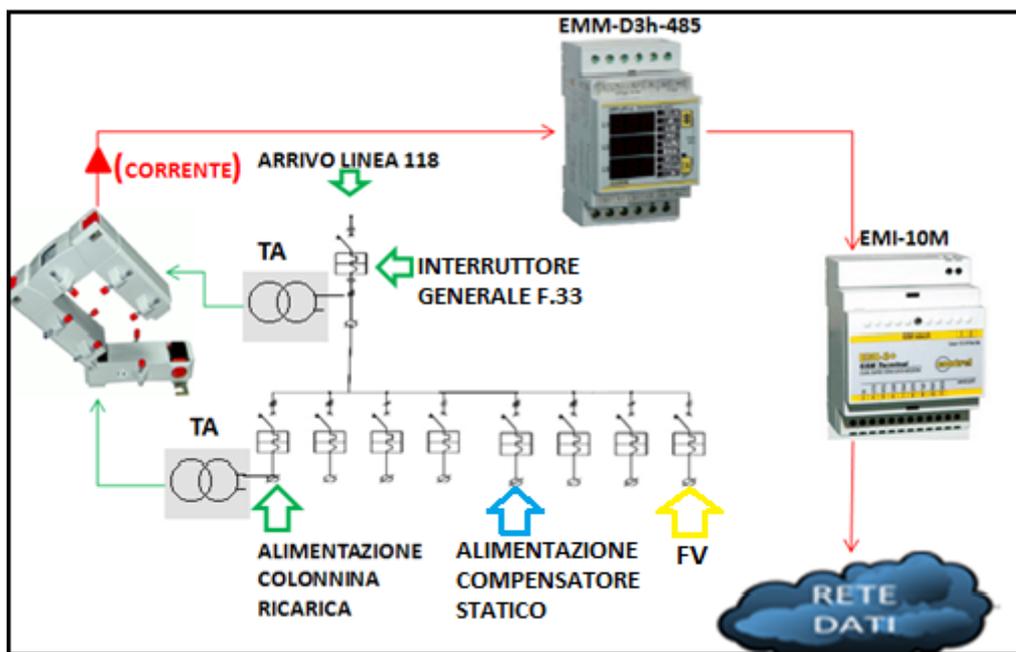


Figura 21: Schema unifilare del quadro generale dell'edificio F33 e inserzione del sistema di misura

<sup>1</sup> si ringrazia per il supporto fornito durante le prove e nella elaborazione delle misure da Alessandro Vergine, laureando in Ingegneria Elettrica presso l'Università La Sapienza di Roma

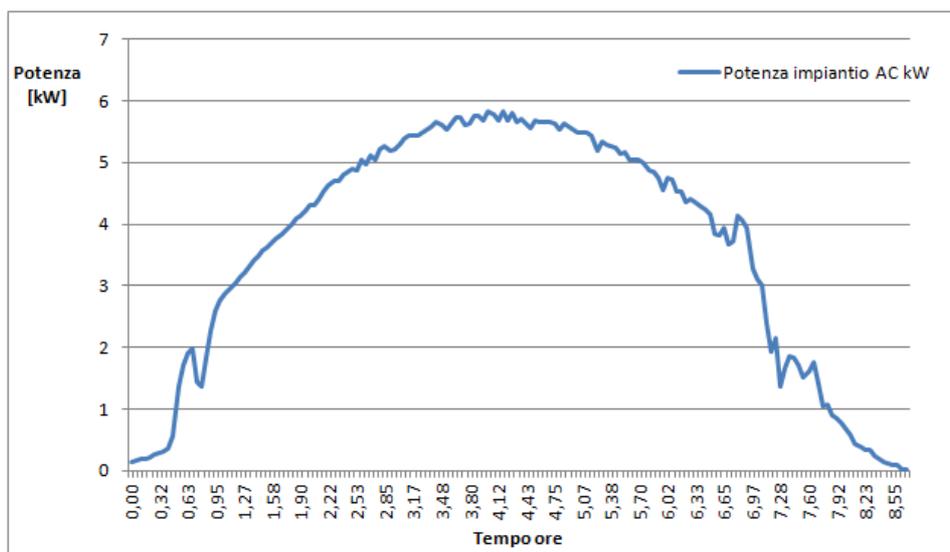


Figura 22: Produzione giornaliera FV da 10 kWp emulato

Per monitorare il profilo di carico della colonnina Chademo e controllare il compensatore statico è stato necessario aggiungere al sistema di acquisizione esistente in cabina un nuovo sistema di smart metering installato all'interno del quadro generale dell'edificio F33, come indicato in Figura 21, e costituito da :

- 3 trasformatori di corrente apribili modello CTS 23-100 da 100/5 A; classe di precisione 3% con frequenza operativa 50-60 Hz.
- Multimetro multifunzione EMM-D3h-485 con porta RS485 control; Caratteristiche tecniche sulle misure: Tensione range di misura (20-500)V trms fase-fase; 380V rms fase-neutro; precisione misura  $\pm 0,5\% \pm 1$  digit. Corrente range di misura (0,02-5)A tms; precisione misura  $\pm 0,5\% \pm 1$  digit

Il sistema di smart metering è inoltre dotato di un convertitore del protocollo Modbus in protocollo TCP/IP per rendere le misure disponibili via LAN al sistema di controllo implementato in Labview come mostrato nello schema di Figura 23.

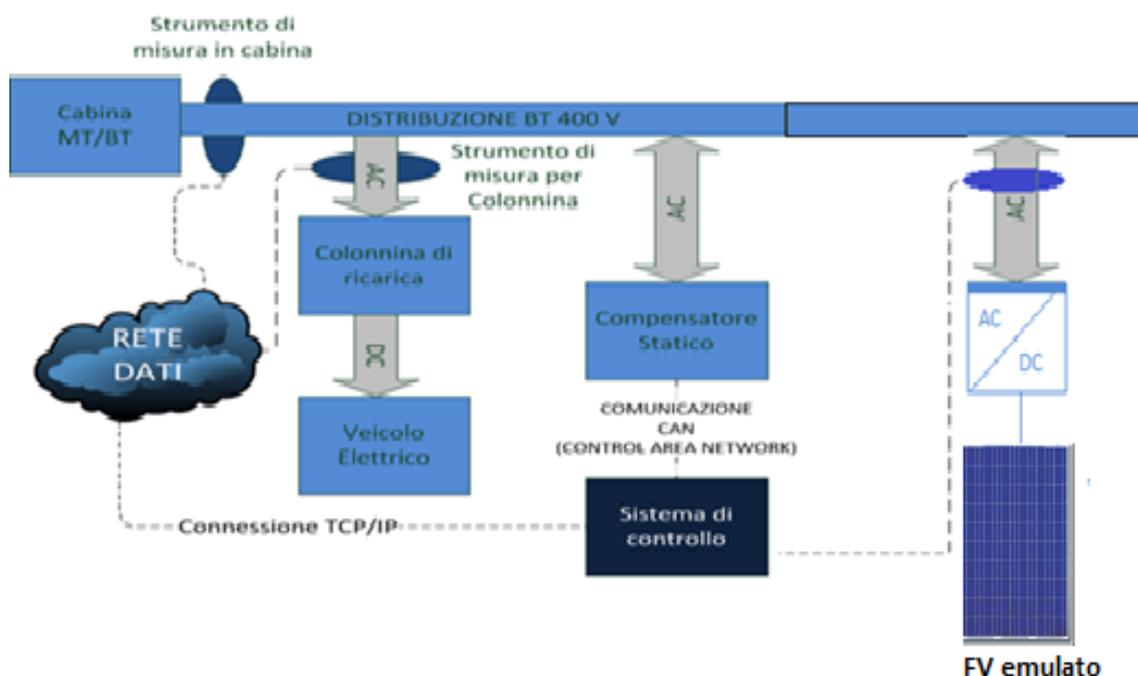


Figura 23: Schema a blocchi del sistema di controllo implementato per test ricarica veloce

Si riportano di seguito le condizioni iniziali del compensatore e del veicolo prima di avviare il test:

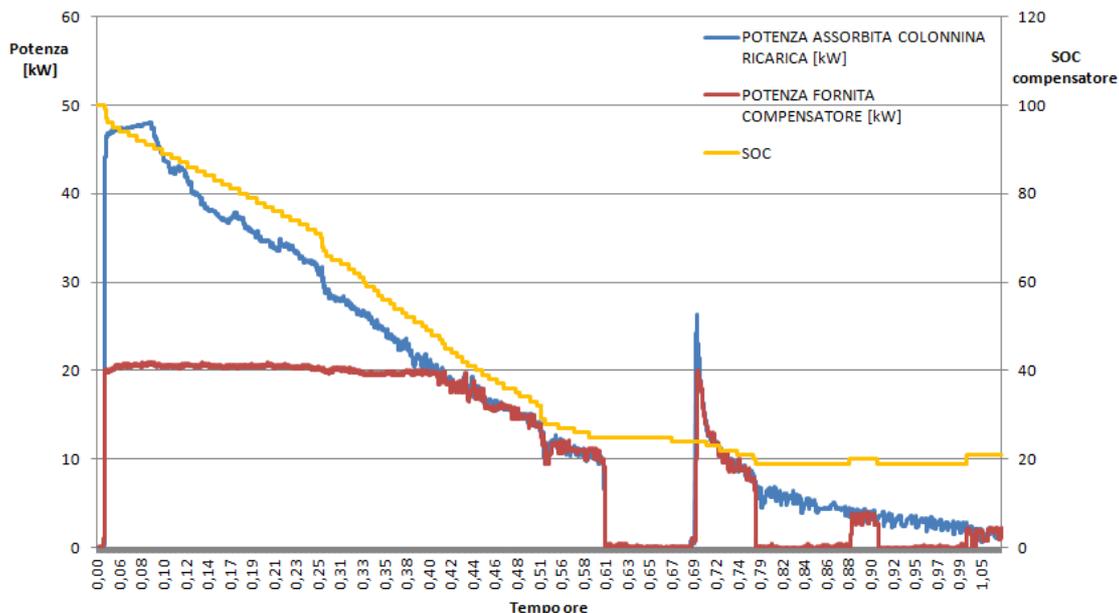
-Compensatore

- Stato di carica iniziale delle batterie 100 %
- Soglia intervento compensatore 0 kW

-Veicolo:

- l’auto elettrica parte con un SOC pari al 10%

La figura 25 mostra il comportamento del compensatore durante l’intera fase di ricarica del veicolo.



**Figura 24: Diagramma di carico colonnina, compensatore e SOC batterie compensatore**

Dal grafico di Figura 24 si evince come la richiesta iniziale di potenza dell’autoveicolo sia pari a 47.5 kW e la stessa viene mantenuta per un tempo di 415 s; dopo l’assorbimento iniziale la potenza assorbita si riduce ad una potenza di circa 11 kW in un tempo di circa 0,5 ore. Successivamente la colonnina inizia automaticamente la ricarica lenta come prevede il protocollo di ricarica al fine di garantire una carica completa del pacco batterie fino a fine prova.

Quando la potenza richiesta dalla colonnina scende sotto 20 kW, il sistema di storage riesce a compensare e inseguire la totale potenza assorbita dalla colonnina come si può vedere dall’andamento di Figura 25 dove viene mostrato il carico assorbito dall’interruttore generale in presenza di compensatore.

Terminata la fase di ricarica del veicolo che ha avuto una durata complessiva di 1.18 ore, è stato invertito il flusso di potenza ai morsetti del compensatore per riportare lo stato di carica dello storage al 100% secondo il profilo di potenza riportato in Figura 27. Analizzando l’andamento del SOC di Figura 26 è stato possibile individuare quale zona del profilo di Figura 27 è stato utilizzata per ricaricare le batterie del compensatore e quale zona corrisponda all’energia prodotta in eccesso e immessa in rete.

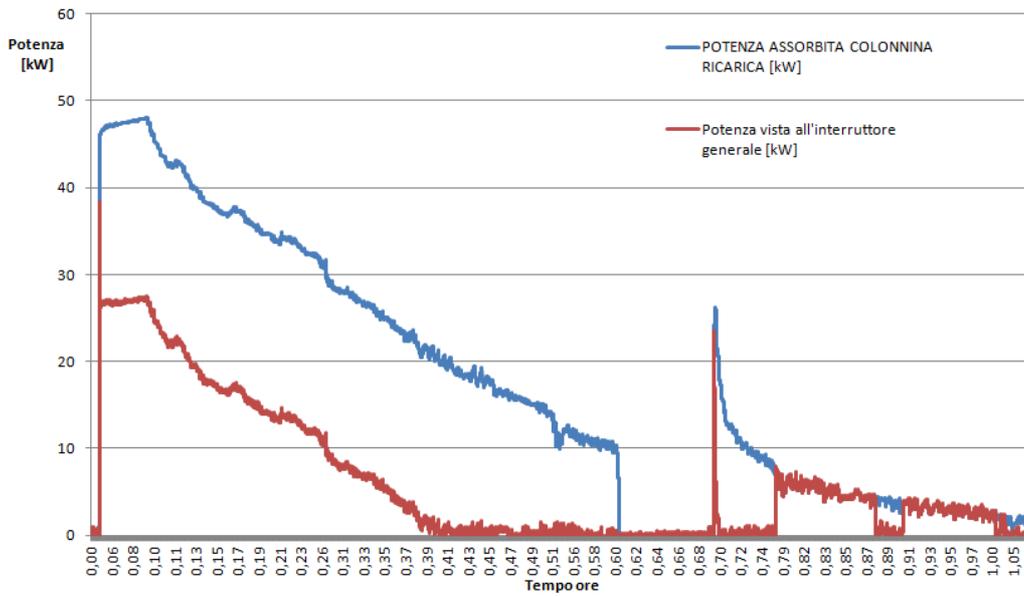


Figura 25: potenza assorbita dalla colonnina e potenza fornita dall'interruttore generale

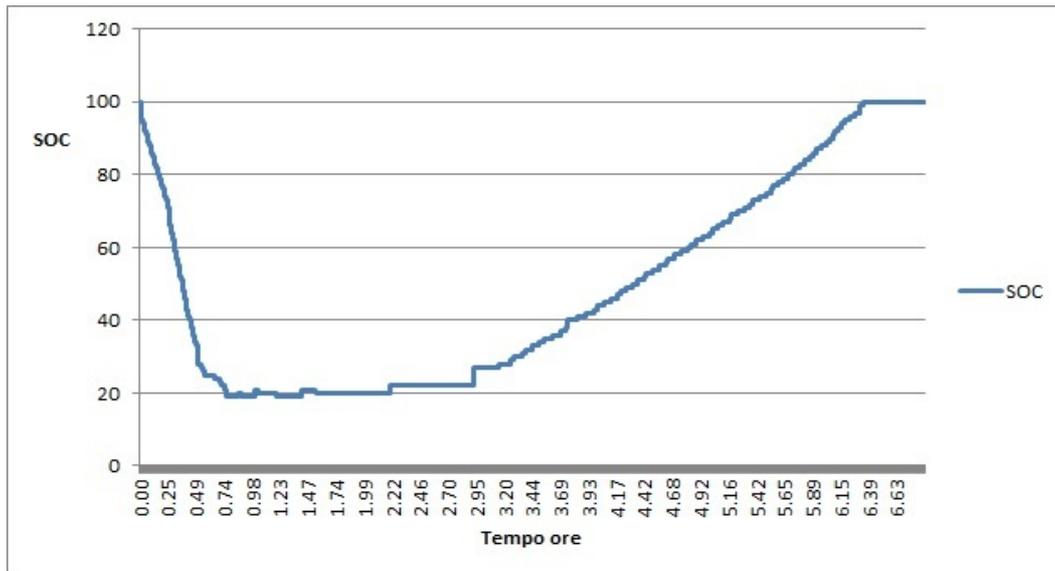


Figura 26: Andamento del SOC del sistema di storage con fase di alimentazione della colonnina (scarica), fase di carica da campo fotovoltaico

Dall'analisi delle misure fatte in fase di compensazione e di ricarica da fotovoltaico emergono i seguenti risultati

Analisi del funzionamento compensatore:

- SOC iniziale batterie compensatore 100%
- Energia ceduta dalle batterie del compensatore 13.02 [kWh]
- Energia ceduta dal compensatore 11.84 [kWh]
- SOC finale batterie compensatore 19%
- Rendimento compensatore in fase di scarica 90%
- Energia immagazzinata da campo fotovoltaico 16.80 [kWh]
- Energia accumulata nel compensatore dalle batterie litio polimeri 14.17 [kWh]
- Rendimento di carica del compensatore da fotovoltaico 84%

Analisi del funzionamento colonnina di ricarica

- SOC iniziale batterie Nissan Leaf 10%
- Energia richiesta colonnina di ricarica 18.54 [kWh]
- SOC finale nissan leaf 85%

Dall’analisi emerge un basso rendimento di ricarica del sistema di storage da FV pari circa 84%, imputabile alle ridotte potenze con cui è stato ricaricato il sistema di storage rispetto alla potenza nominale del compensatore. Infatti iniziando la fase di ricarica dalle prime ore di produzione di campo FV l’inverter e il buck Booster si trovano a lavorare in condizioni di esercizio penalizzate dalla parzializzazione del punto di lavoro con rendimenti nettamente inferiori rispetto a quelli nominali. Si ritiene comunque aperta la problematica della ricerca del dimensionamento ottimo del sistema di accumulo in termini di capacità del pacco batteria, potenza del sistema di conversione e potenza di picco dell’impianto FV.

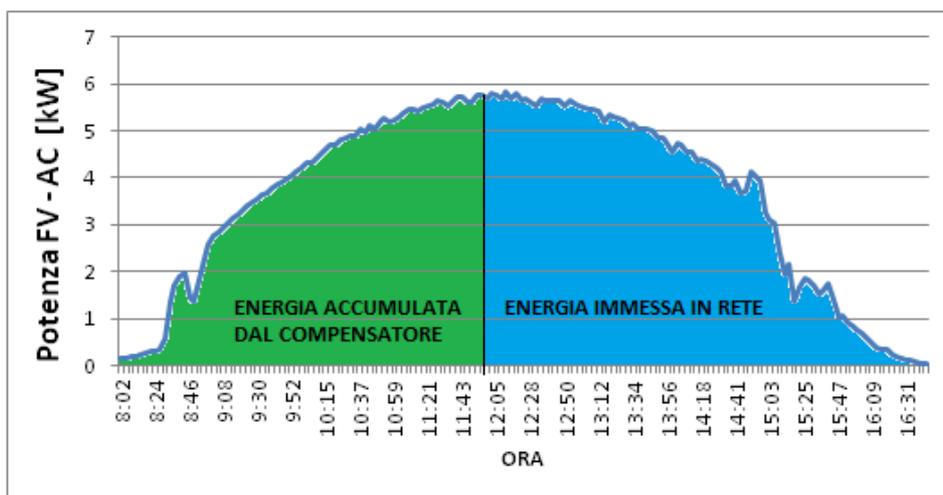
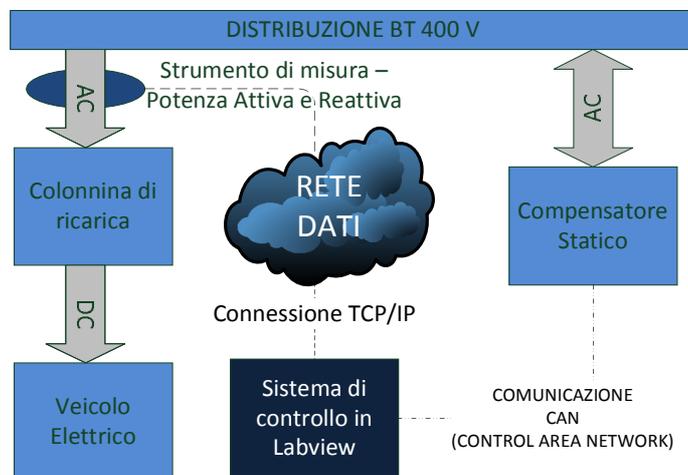


Figura 27: Energia utilizzata per accumulo ed energia immessa in rete da produzione FV

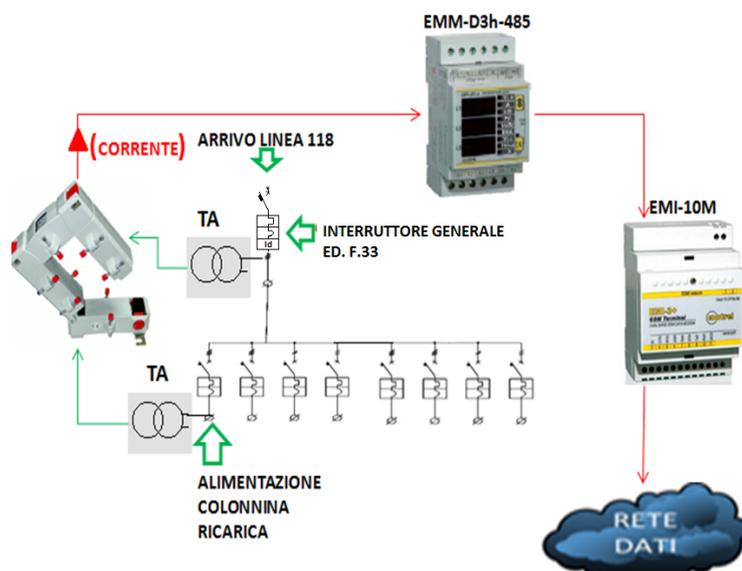
### 3.2 Compensazione della potenza reattiva assorbita dalla colonnina di ricarica veloce

L’obiettivo dell’attività descritta in questa sezione è quello di analizzare come il compensatore statico possa fornire servizi ancillari attraverso la sua caratteristica di poter intervenire anche sulla potenza reattiva.

Al fine di implementare una procedura di compensazione di potenza reattiva a supporto della ricarica veloce di un veicolo elettrico, è stato modificato il sistema di monitoraggio e controllo per le reti energetiche implementato in Labview durante la passata annualità dal Dipartimento DIAEE dell’Università La Sapienza e descritto nel report RdS/2013/103 nell’ambito dell’obiettivo A, “Reti di poligenerazione distribuita” del Progetto C.1. Lo schema a blocchi che caratterizza il sistema studiato è indicato in Figura 29, dove viene mostrata l’interazione tra strumento di misura e sistema di controllo. Per poter implementare le logiche di compensazione della potenza reattiva descritte di seguito, è stato necessario installare un sistema di smart metering nel quadro generale dell’ed. F33 a monte dell’interruttore che alimenta la colonnina Chademo (Figura 8).



**Figura 29 – Schema a blocchi del sistema implementato**



**Figura 8: sistema smart metring installato nel quadro generale ed. F33 per gestire la compensazione del carico generato dalla ricarica veloce**

Il gateway di rete EMI 10 M mostrato in Figura 8 converte le misure da protocollo MODBUS in protocollo TCP/IP consentendo al sistema di controllo implementato in Labview di effettuare l'acquisizione dati via LAN. Il sistema di controllo, elaborando i dati acquisiti, invia la decisione al compensatore attraverso l'interfaccia CAN configurata a 250 kBit/s. La risoluzione temporale di tale sistema comporta l'analisi e l'invio dei dati con una frequenza di 0,5 Hz.

I nuovi servizi di compensazione reattiva implementati in Labview, prevedono due nuove logiche di controllo del compensatore.

La prima logica si basa sulla compensazione della sola potenza reattiva assorbita dalla colonnina di ricarica veloce in modo da cercare di mantenere il fattore di potenza visto dal punto di consegna il più alto possibile. Il sistema di controllo fornisce al compensatore i set point di potenza reattiva con la seguente sequenza

- Acquisisce la potenza reattiva induttiva che la colonnina sta assorbendo
- Lo confronta con una soglia di intervento che può cambiare dinamicamente
- Compensa tale valore facendo erogare al compensatore una equivalente potenza reattiva capacitiva limitandola al suo massimo "erogabile".

la potenza massima reattiva erogabile è calcolata come

$$Q_{max} = \sqrt{30^2 - P_{attiva}^2}$$

dove

- 30 è la massima potenza apparente in kVA erogabile dal sistema
- P<sub>attiva</sub> è la potenza istantanea erogata dal compensatore

In questa logica di controllo è previsto un set di potenza attiva pari a zero, quindi al massima potenza reattiva erogabile in rete coincide con la potenza apparente nominale del compensatore.

Per illustrare meglio la logica di controllo se ne riporta nella figura seguente il diagramma di flusso:

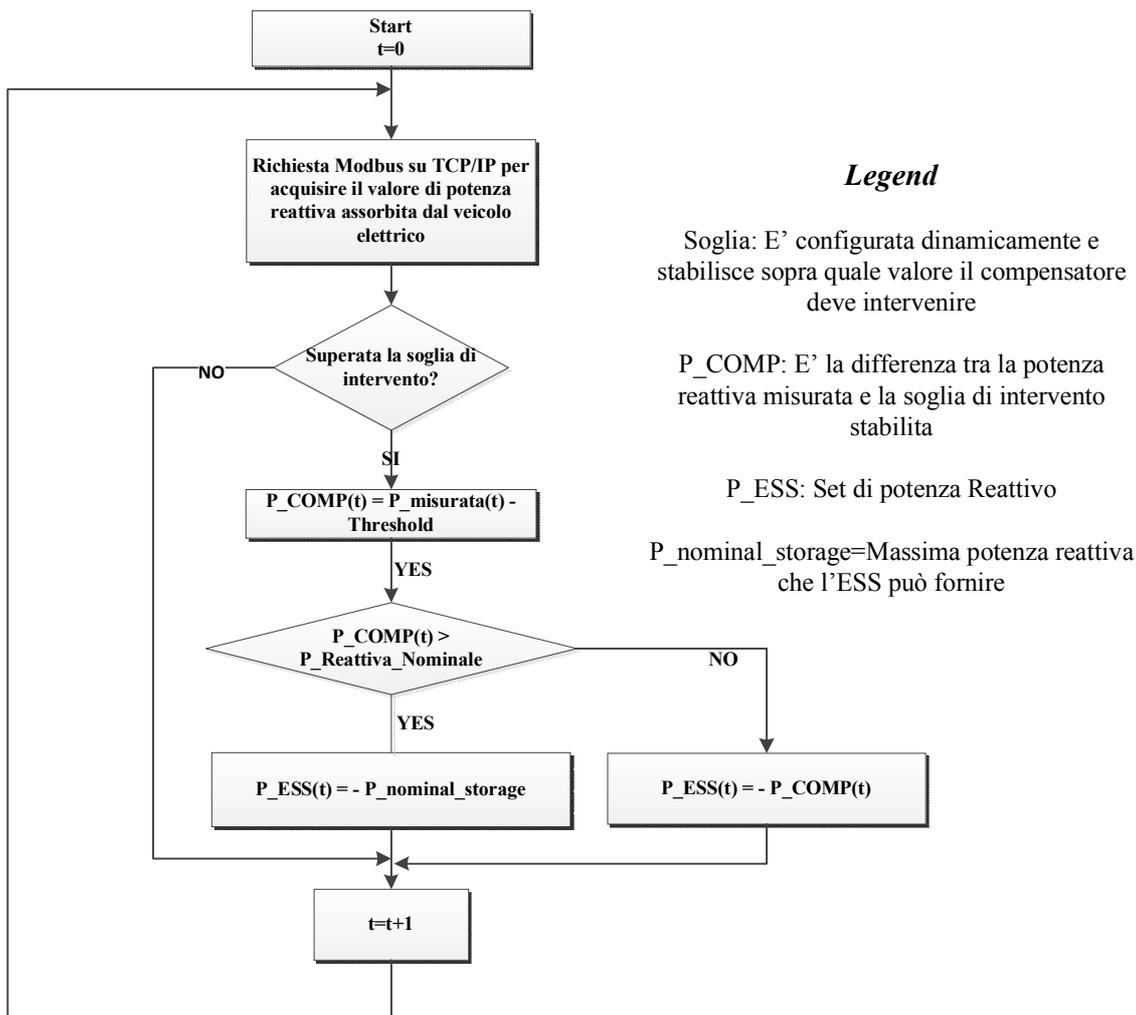


Figura 9 - Logica di controllo per compensazione reattiva

La seconda logica di controllo, cerca di sfruttare appieno le potenzialità del compensatore statico da 30 KVA eseguendo in via prioritaria la compensazione della potenza reattiva richiesta dalla colonnina e, se possibile, cerca di compensarne anche la richiesta di potenza attiva secondo la sequenza di seguito riportata:

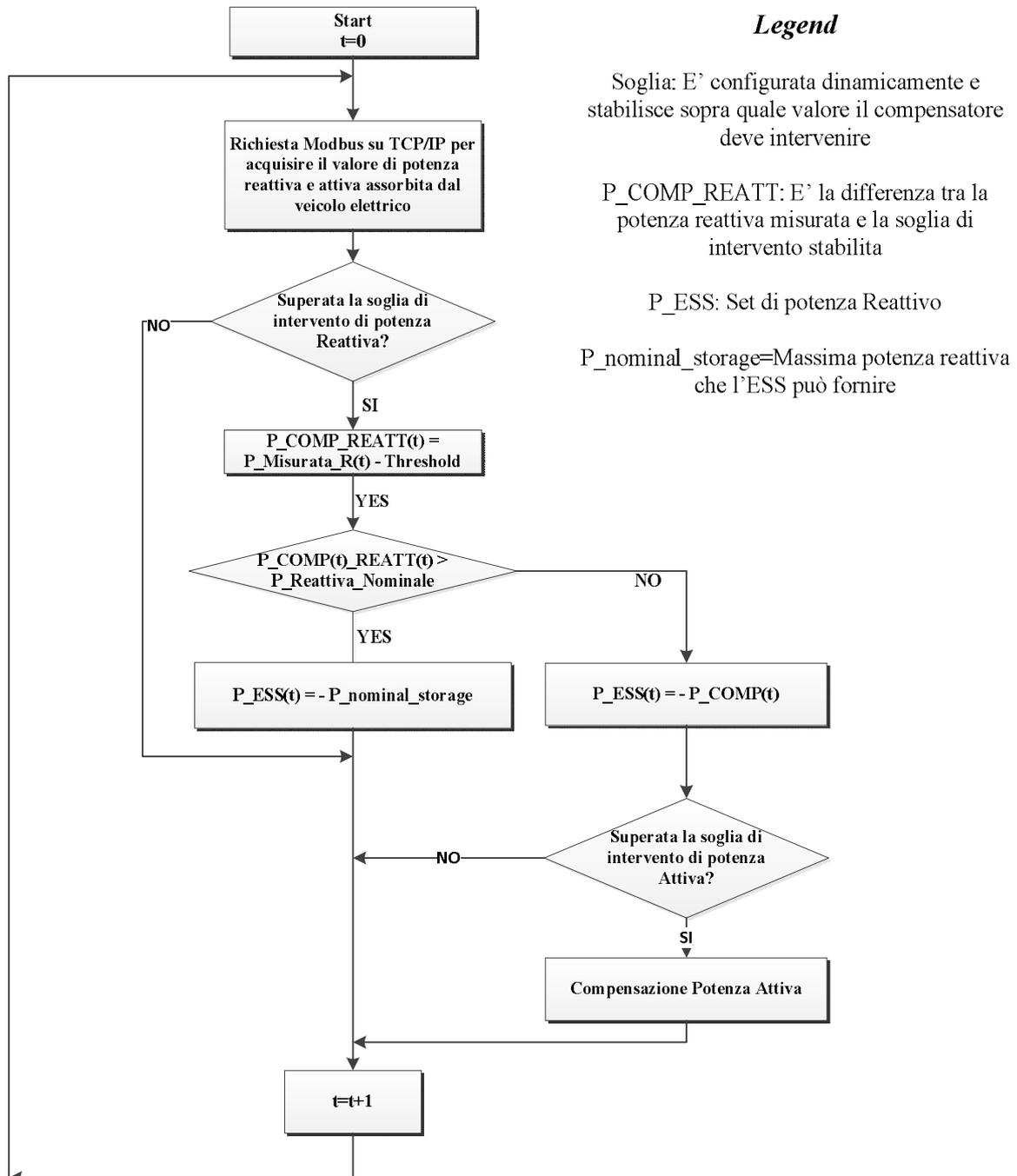


Figura 32 - Compensazione Reattiva – Attiva

- Acquisisce la potenza reattiva induttiva che la colonna sta assorbendo
- Lo confronta con una soglia di intervento che può cambiare dinamicamente
- Compensa tale valore facendo erogare al compensatore una equivalente potenza reattiva capacitiva limitandola al suo massimo “erogabile”.
- Acquisisce la potenza attiva richiesta dalla colonna

calcola la potenza attiva erogabile calcolata come :  $P_{Attiva_{Max}} = \sqrt{30^2 - Q_{ESS}(t)}$

Dove  $Q_{ESS}(t)$  è la potenza reattiva che il compensatore sta fornendo.

- Fornisce il set point di potenza attiva al compensatore pari alla potenza assorbita dalla colonna con valore massimo pari a  $P_{Attiva_{Max}}$

Si riporta in figura 32 il diagramma di flusso dei comandi forniti dalla seconda logica di controllo implementata in Labview.

Di seguito si riporta uno screenshot del programma di monitoraggio e controllo sviluppato in Labview che permette tutto ciò.

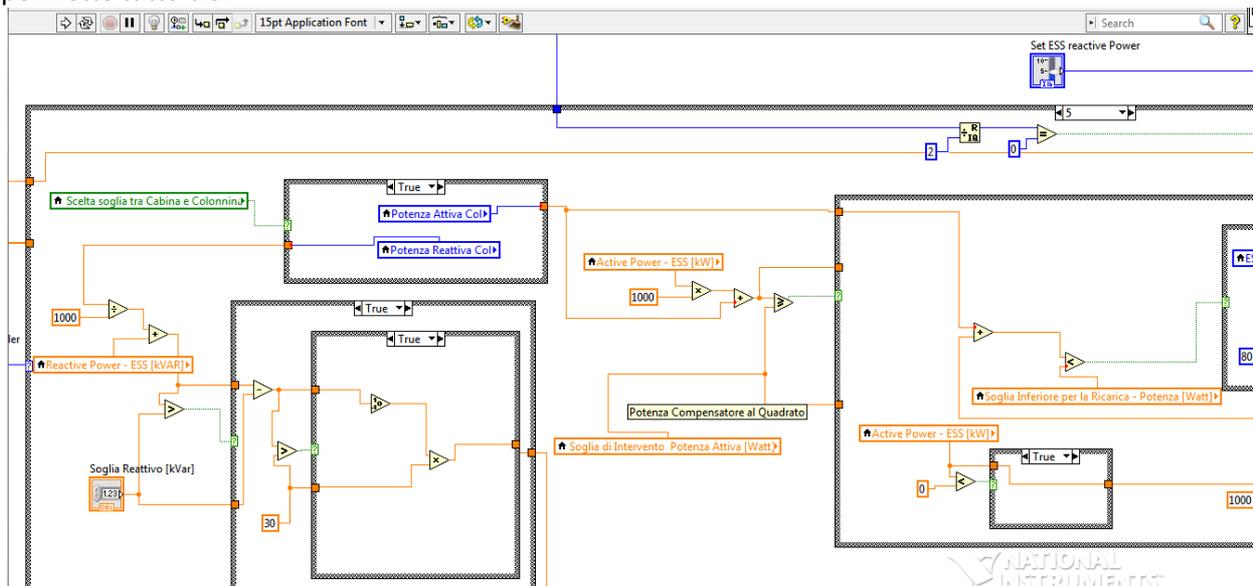


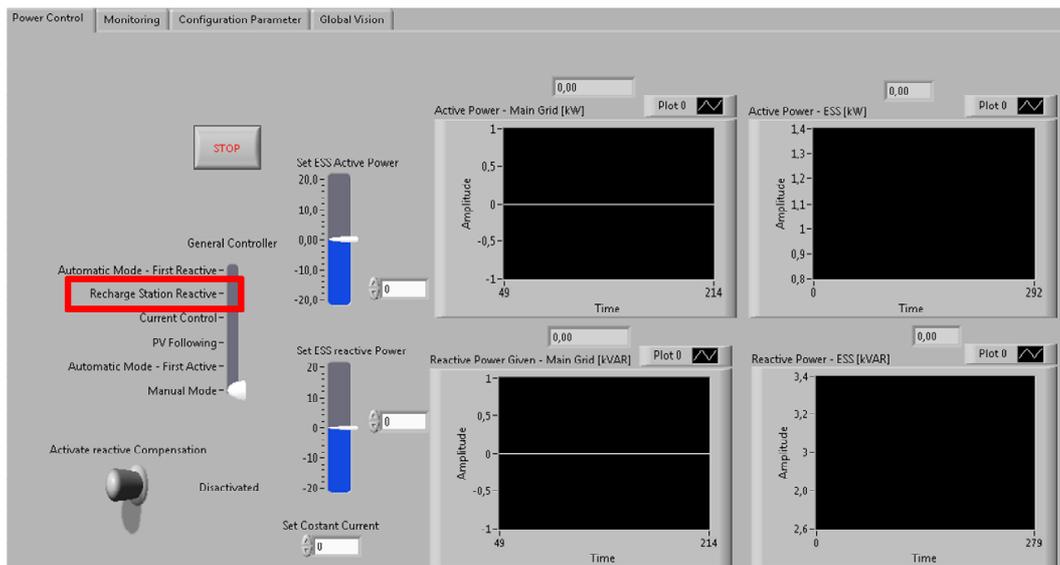
Figura 10 - Parte di programma Labview per il controllo della potenza reattiva erogata dal compensatore statico

Si riportano nei paragrafi seguenti i risultati delle prove sperimentali effettuati con il sistema colonna Chademo - compensatore statico del C.r Casaccia per verificarne la funzionalità e i benefici energetici apportati alla rete dalle due logiche di controllo sopra esposte<sup>2</sup>.

### 3.2.1 Compensazione della sola potenza reattiva

Per poter implementare il controllo della sola potenza reattiva erogata dal compensatore è stata predisposta una apposita interfaccia in Labview , riportata in Figura 11, dove selezionando la modalità "recharge station reactiv" si abilita l'inseguimento della sola potenza reattiva della colonna Chademo.

<sup>2</sup> Si ringrazia per il supporto fornito durante le prove e nella elaborazione dei dati Lorenzo Chiavaleri Laureando in Ingegneria Elettrica all'Università la Sapienza

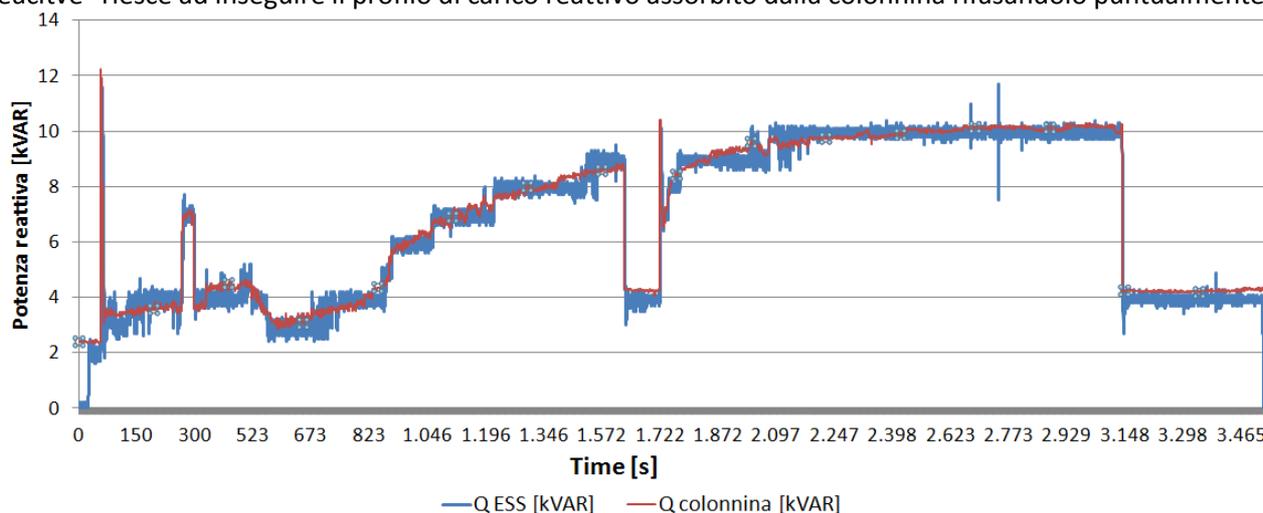


**Figura 11: interfaccia Labview per selezionare la modalità di controllo del compensatore tipo "recharge station reactive"**

Si riportano di seguito i risultati della prova condotta ricaricando la Nissan Leaf con la colonnina Chademo (a cui è stato applicato un filtro per ridurre il contenuto armonico, come descritto nei precedenti paragrafi). Condizioni iniziali:

- Stato di carica delle batterie del compensatore (SOC): 88%
- tensione media di cella delle batterie del compensatore: 286,6 V
- stato iniziale del veicolo - SOC batterie veicolo: 10%

Come si evince dal grafico di Figura 12, il compensatore statico pilotato in modalità "recharge station reactive" riesce ad inseguire il profilo di carico reattivo assorbito dalla colonnina rifasandolo puntualmente.



**Figura 12: andamento potenza reattiva erogata dal Compensatore statico e assorbita dalla colonnina Chademo durante la prova**

Gli effetti della compensazione della potenza reattiva sono evidenti nell'andamento del fattore di potenza visto a monte dell'interruttore che alimenta sia la colonnina che il compensatore; infatti come si nota dalla Figura 13 il fattore di potenza del sistema colonnina-compensatore statico si mantiene praticamente unitario per tutta la ricarica veloce del veicolo, mentre lo stesso misurato subito a monte della colonnina raggiungerebbe valori molto bassi (0,3-0,4) soprattutto nella seconda parte della ricarica.

Si riporta inoltre in Figura 14 l'andamento della tensione misurata al punto di consegna dell'edificio in relazione alla potenza reattiva erogata dal compensatore. Si nota come, pur essendo la linea di alimentazione ampiamente sovradimensionata rispetto ai flussi di potenza in gioco, si può notare un trend della tensione di linea crescente verso i valori nominali (400 V). si ritiene comunque necessario indagare negli sviluppi futuri il beneficio in termini di tensione di linea indotto dall'utilizzo del compensatore, in quanto le prove sono state effettuate in presenza di altri carichi alimentati in derivazione dallo stesso interruttore generale che potrebbero influenzare il trend della tensione monitorata. Inoltre si ritiene necessario utilizzare un analizzatore di rete, in quanto il multimetro utilizzato presenta una precisione nella misura della tensione letta pari a  $\pm 0,5\% \pm 1$  digit, dalla quale potrebbero dipendere le oscillazioni da 387 V a 389 V.

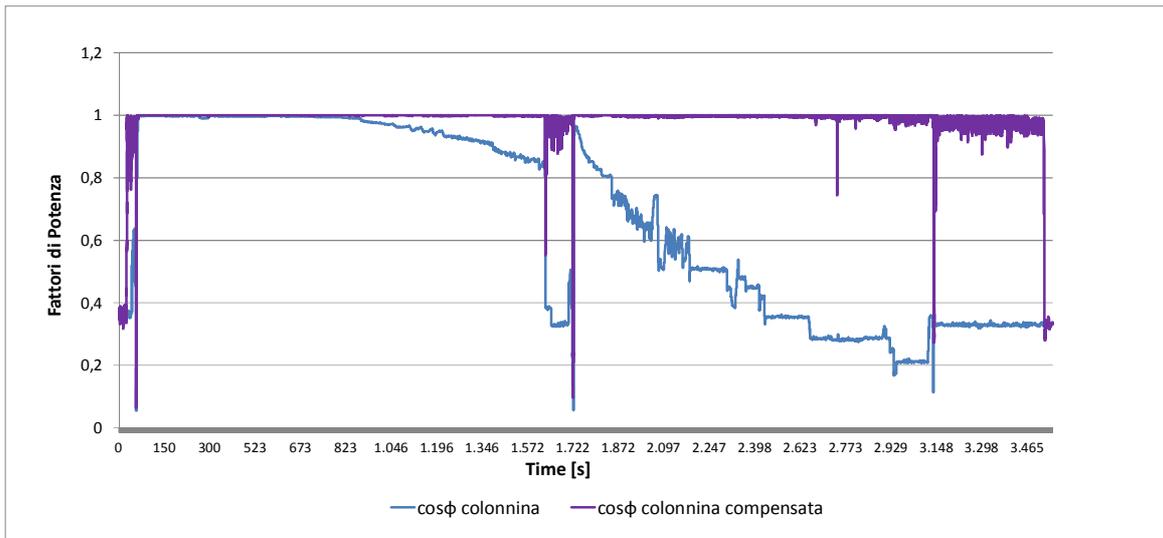


Figura 13: Andamento del fattore di potenza a monte della colonna Chademo e a monte dell'interruttore generale

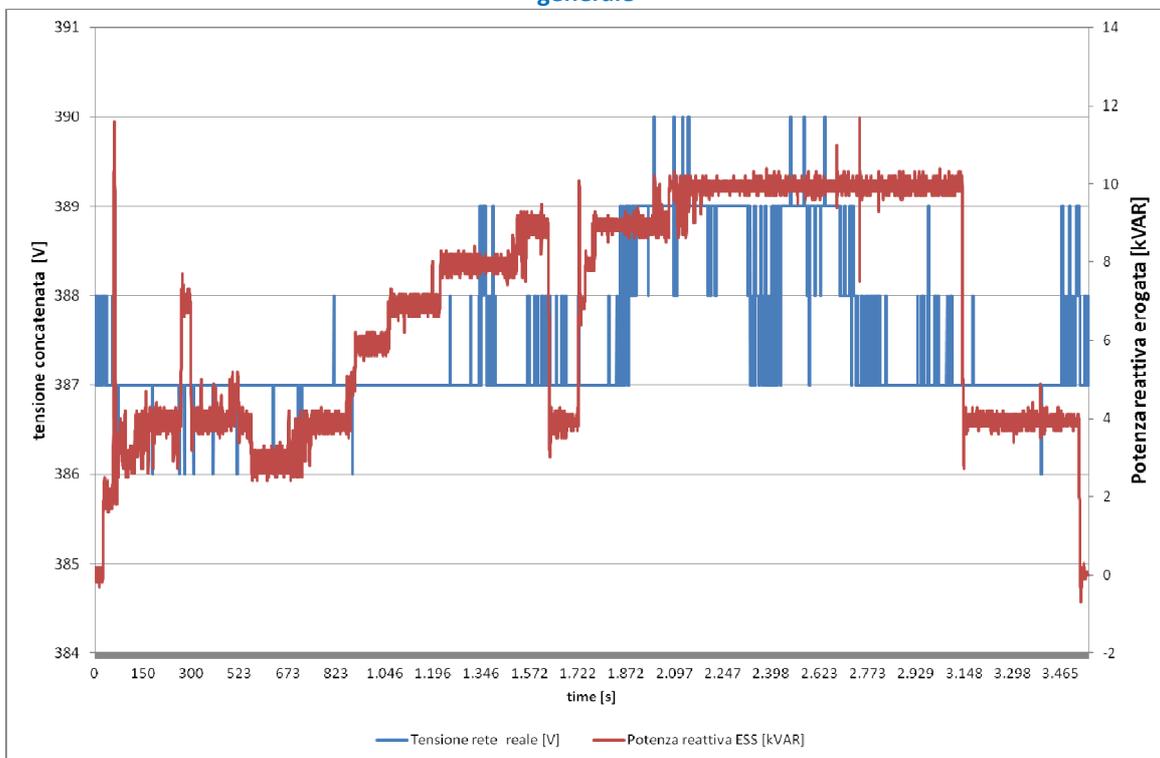
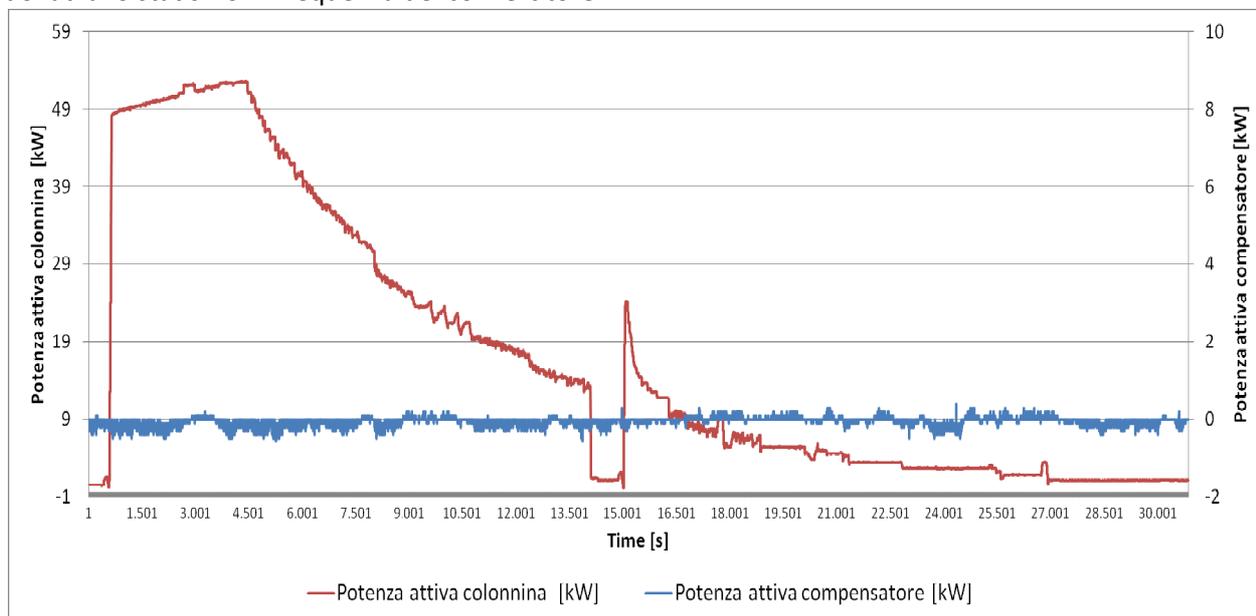


Figura 14: tensione concatenata misurata a monte del quadro generale di edificio e potenza reattiva erogata dal compensatore durante la prova di ricarica veloce

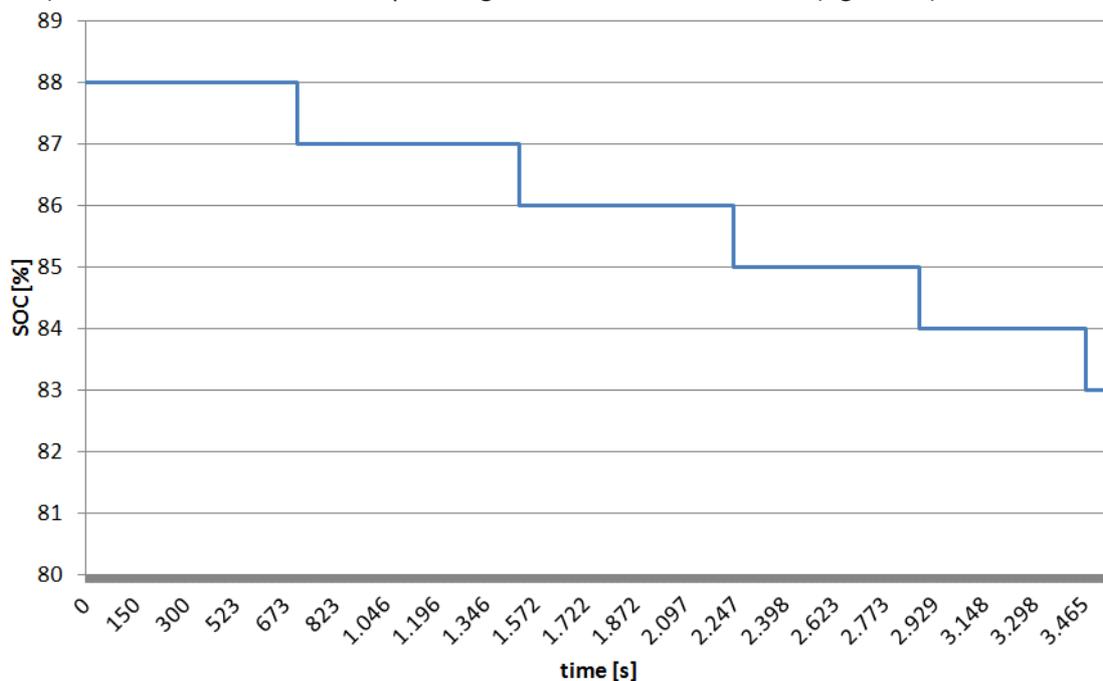
Per completezza dei risultati si riporta di seguito l'andamento della potenza attiva assorbita dalla colonnina ed erogata dal compensatore (figura 38). Si nota che la logica implementata fornisce un set point di potenza attiva nullo al compensatore; gli unici flussi di potenza scambiati da quest'ultimo con la rete sono dovuti allo statismo in frequenza del convertitore.



**Figura 15: andamento potenza attiva erogata dal Compensatore statico e assorbita dalla colonnina Chademo durante la prova**

Per fornire il servizio di compensazione della potenza reattiva, l'Energy storage system consuma energia attiva immagazzinata nelle batterie per alimentare i servizi ausiliari e compensare le perdite per effetto joul nei convertitori.

Durante l'intera prova il SOC delle batterie del compensatore scende di circa 4 punti percentuali (da 88% al 84%) consumando circa 0,7 kWh per erogare circa 7 kAVRh alla rete (figura 39).



**Figura 16: SOC accumulo stazionario durante la prova di compensazione reattiva**

### 3.2.2 Compensazione prioritaria della potenza reattiva

In un successivo test è stata provata la seconda logica di controllo che prevede la compensazione prioritaria della potenza reattiva assorbita dalla ricarica veloce e in e, se possibile, cerca di compensarne anche la richiesta di potenza attiva.

Per poter implementare la suddetta logica di controllo è stato predisposto nell'interfaccia in Labview , riportata in Figura 40, dove selezionando la modalità " automatic mode - first reactive " si abilita l'inseguimento della potenza reattiva e attiva assorbita dalla colonnina Chademo .

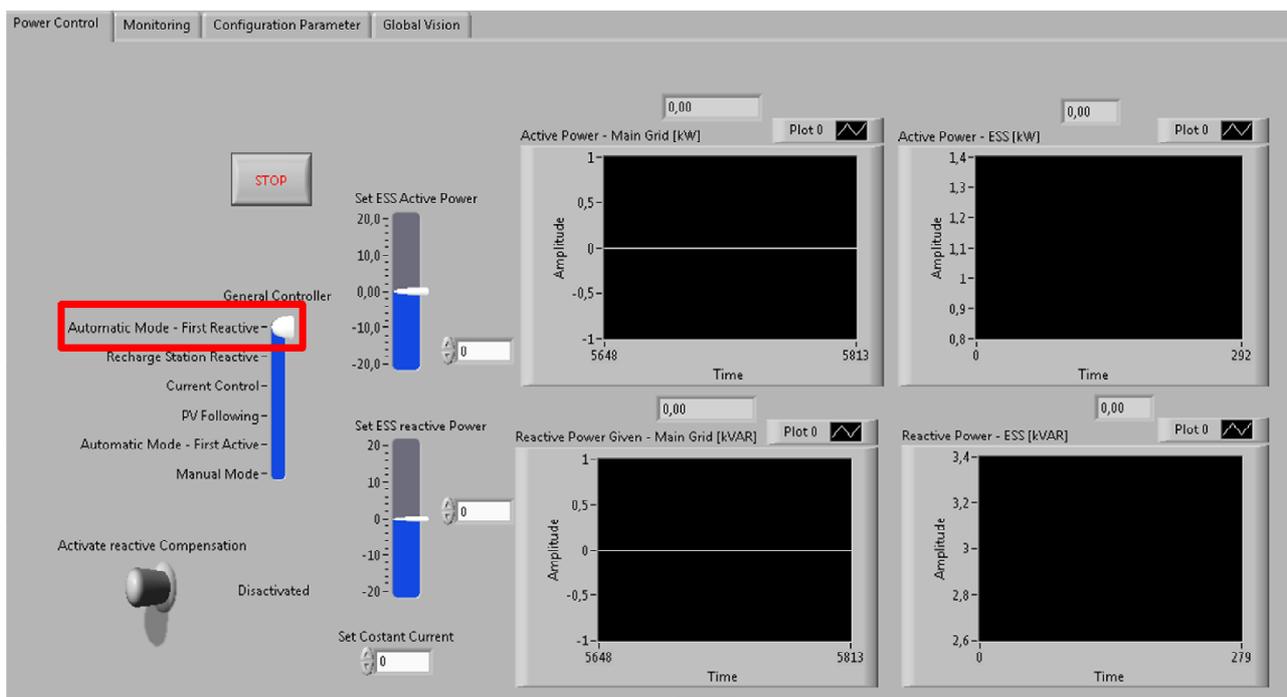


Figura 40: interfaccia labview con selettore modalità di controllo "automatic mode - first reactive"

Si riportano di seguito i risultati della prova condotta ricaricando la Nissan Leaf con la colonnina Chademo compensando oltre alla potenza reattiva anche la potenza attiva assorbita durante la prova.

Condizioni iniziali della prova:

- Stato di carica delle batterie del compensatore (SOC): 99%
- tensione media di cella delle batterie del compensatore: 289 V
- stato iniziale del veicolo - SOC batterie veicolo: 10%

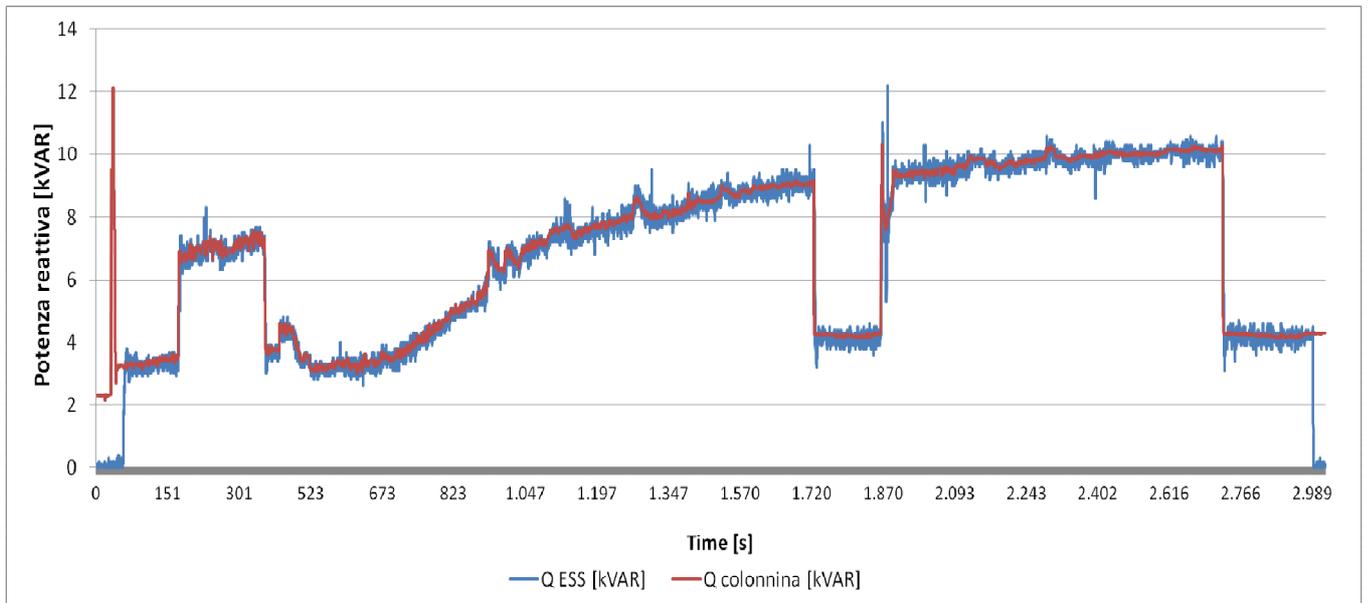
nelle figure seguenti si riportano gli andamenti della potenza reattiva e della potenza attiva erogata dal compensatore durante la prova e assorbita dalla colonnina.

Si nota come il compensatore oltre ad inseguire la richiesta di potenza reattiva assorbita dalla colonnina portando il fattore di potenza al valore unitario per l'intera durata della prova, riesce a fornire la potenza attiva disponibile ( limitata a 20 kW esclusivamente dal limite dimensionale del convertitore DC/DC) per compensare la richiesta della colonnina.

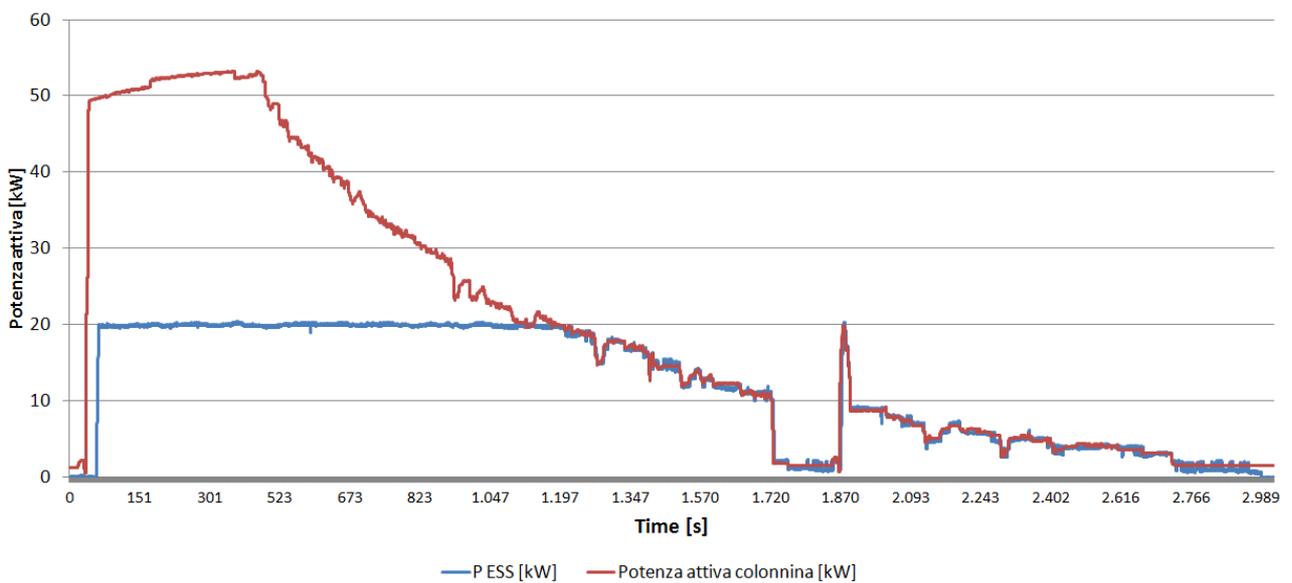
La logica di controllo provata in questo secondo test sembra ottimale per i profili di assorbimento reattivo e attivo della colonnina Chademo ; infatti l'andamento opposto dei due trend ( in discesa per la potenza attiva e in salita del la potenza reattiva) consente al Energy storage system di erogare comunque la potenza attiva necessaria a compensare l'assorbimento della colonnina (limitata a 20 kW). I risultati in termini energetici della seconda prova sono forniti dall' analisi del funzionamento del compensatore:

- Energia ceduta dalle batterie del compensatore 11,27 [kWh]
- Energia ceduta dal compensatore 9,98 [kWh]
- Energia attiva assorbita dalla colonnina: 16,45 [kWh]
- SOC finale batterie compensatore 38%

- Rendimento compensatore (elettronica di potenza) in fase di scarica 88,5% (medio sull'intera durata della prova)
- Energia reattiva erogata dal compensatore 5,65 [kVARh]
- Energia reattiva assorbita dalla colonna: 5,78 [kVARh]



**Figura 41: andamento potenza reattiva erogata dal Compensatore statico e assorbita dalla colonna Chademo durante la seconda prova**



**Figura 17: andamento potenza attiva erogata dal Compensatore statico e assorbita dalla colonna Chademo durante la seconda prova**

## 4 La stazione di ricarica integrata con accumulo e fonte PV

L'incontro delle esigenze di mobilità urbana con le prestazioni dei veicoli elettrici determinano la potenzialità di conversione dell'attuale parco veicolare utilizzante combustibili fossili con veicoli dotati di accumulo elettrico. I veicoli elettrici di ultima generazione sono dotati di sistemi di accumulo in grado di soddisfare le richieste di potenza utili per il profilo di missione e di avere a disposizione un serbatoio di energia sufficiente a consentire una utile percorrenza. Per le prestazioni e la guidabilità non vi sono ormai significative differenze tra una autovettura elettrica ed una omologa a benzina ed in ambito urbano il veicolo elettrico risulta maggiormente amichevole del suo corrispettivo convenzionale. L'autonomia dipende invece dal ciclo di utilizzo e dal consumo che impatta sulla capacità di energia residente nell'accumulo.

Nella scorsa annualità una prima analisi della mobilità privata nella città di Roma ha indicato come il 40% del campione di circa 14000 veicoli residenti entro il Grande Raccordo Anulare si spostava entro i margini del territorio comunale con percorrenze giornaliere tali da consentire l'utilizzo di autovetture elettriche per questi tragitti. Questo 40% di veicolo viene considerato come la percentuale del parco circolante che si muove con caratteristiche urbane mentre il restante 60% compie spostamenti che vanno oltre il confine comunale penetrando nei territori dei comuni limitrofi o uscendo fuori dei confini provinciali.

Prendendo in esame un mese di dati relativi agli spostamenti eseguiti dai veicoli del campione si è selezionato, per ogni veicolo, la massima distanza giornaliera percorsa. Questa distanza limite posta a confronto con l'autonomia del veicolo elettrico ha denotato che una percentuale tra il 60% ed il 96% dei veicoli circolanti in ambito urbano è in grado di essere sostituito con veicoli elettrici ( sono stati presi in esame diverse classi di veicolo elettrico differenti per peso, potenza e capacità di accumulo). L'analisi così condotta ha ipotizzato una ricarica dell'accumulo elettrico a bassa potenza ( ricarica domestica) durante le ore notturne. Una successiva analisi eseguita sfruttando gli intervalli di sosta per ricariche intermedie a bassa potenza ha mostrato un aumento della percentuale di conversione poiché si riesce a mantenere l'accumulo con una carica sempre disponibile allo spostamento massimo e di poter eseguire più missioni al giorno.

Per la rete elettrica di distribuzione la ricarica di molti veicoli elettrici assume un carico addizionale che potrebbe risultare anche oneroso specialmente nel caso di ricarica notturna. Prendendo in esame il picco di veicoli che iniziano la sosta nelle ore serali ( tipicamente intorno alle 20) potrebbe esservi una richiesta di potenza di oltre 8 MW da parte dei veicoli interessati. La potenza di picco diviene minore nel caso di più ricariche al dì dimezzandosi in tal modo la potenza di picco necessaria.

La ricarica lenta presenta quindi alcuni limiti nell'ipotesi esclusiva ricarica notturna sovraccaricando la rete in modo anomalo a causa della contemporaneità degli eventi. L'impatto sulla rete si riduce al crescere delle ricariche intermedie sino a dimezzarsi nel picco serale. In questo scenario la ricarica rapida presenta un beneficio per quel che riguarda la diminuzione del picco di prelievo dalla rete poiché meno veicoli richiederanno una ricarica domestica serale. Inoltre la disponibilità di un rifornimento rapido consentirebbe di incrementare anche la conversione in elettrico agendo sia sul 60% dei veicoli interessati da una percorrenza anche extra-urbana sia sul completamento del tasso di conversione di quei veicoli riconosciuti come circolanti in tratta urbana.

La ricarica rapida avvenendo a livelli di potenza elevati ( con correnti 2C) consente di eseguire il pieno in 30-45 minuti e di poter percorrere da 120 a 150 km. Le potenze impegnate rendono le strutture di ricarica rapida difficilmente utilizzabili in ambito domestico a causa dei limiti di allaccio alla rete. E' credibile che sistemi di ricarica rapida possano diffondersi all'interno di strutture apposite come stazioni di rifornimento elettrico.

Nel nostro caso la taglia della stazione di ricarica rapida ha una potenza di 50 kW e consente la ricarica di un veicolo alla volta. Nel caso di una stazione di rifornimento si potrebbe ipotizzare la presenza di almeno due elementi di distribuzione di energia elettrica che porterebbe a 100 kW la potenza utile da impegnare nella stazione di rifornimento.

La riduzione del prelievo di potenza dalla rete può essere utilmente eseguito usufruendo di una stazione di ricarica integrata ossia fornita di un impianto di ricarica rapida, di un sistema di accumulo con interfaccia

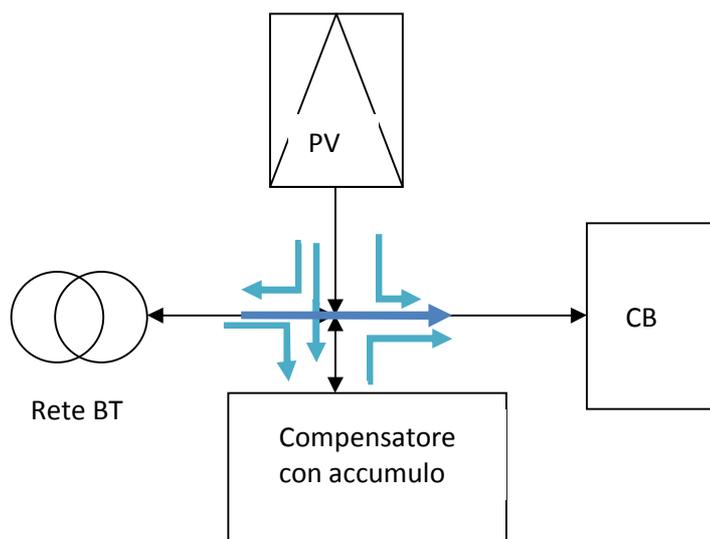
DC/AC bidirezionale e da una fonte ausiliaria ( un impianto di generazione rinnovabile). Il compito del sistema di accumulo è quello di poter fornire potenza in quei momenti in cui la rete non è in grado di fornire quanto richiesto dal carico attuando un shift del prelievo dalla rete. La presenza di un impianto rinnovabile consente di attuare un prelievo di potenza per ridurre l’impegno della rete, di ricaricare l’accumulo stazionario durante la disponibilità di energia oltre a fornire alla rete l’energia in eccedenza.

Nella passata annualità in [xxx] si è valutato l’effetto di coordinare l’intervento di un compensatore statico dotato di accumulo per le operazioni di “peak shaving” in accoppiamento alla stazione di ricarica. I risultati hanno indicato come la potenza attiva richiesta dalla stazione di ricarica possa essere parzialmente fornita dall’accumulo del compensatore sgravando la rete dalle onerose richieste di potenza. In secondo tempo l’accumulo elettrico presente nel compensatore potrà essere ricaricato per ripristinare i suoi livelli di energia immagazzinata.

Una maggiore integrazione della stazione potrebbe prevedere il ricorso ad una sorgente rinnovabile come ad esempio un campo fotovoltaico in grado di svolgere due funzioni: ricaricare l’accumulo elettrico del compensatore e contribuire a fornire energia localmente riducendo l’apporto della rete. I flussi di energia sono in queste condizioni anche bidirezionali come per il sistema di accumulo e per la rete elettrica. La dimensione del campo PV e del sistema di accumulo

La presenza di più sorgenti consente di fruire di maggiore flessibilità per il prelievo di energia in occasione delle ricariche dei veicoli ma si possono creare situazioni di non sufficientemente convenienti dal punto di vista del vantaggio economico. Il bilanciamento delle taglie diviene elemento fondamentale nella ottimizzazione di un sistema plurisorgente e questo deve tener conto di diversi fattori : dal costo energetico orario alla potenza delle sorgenti, dal surplus energetico prodotto dalla fonte rinnovabile sino all’istante del prelievo di energia per la ricarica del veicolo.

Una valutazione energetica è stata eseguita realizzando in ambiente MATLAB un modello dei flussi energetici della stazione integrata con un impianto fotovoltaico. Questo modello consente di verificare il saldo energetico giornaliero al variare del numero di ricariche e dell’istante in cui esse avvengono. Inoltre è possibile valutare le potenze erogate o assorbite dai singoli elementi. In figura 43 sono evidenziati i flussi della potenza elettrica evidenziandone il carattere bidirezionale e la possibile origine e destinazione.



**Figura 43 : flussi di energia nella stazione di ricarica integrata con fonte PV**

#### 4.1.1 Accumulo compensatore

Il sistema di accumulo del compensatore statico ha una capacità nominale di 20kWh ed una potenza massima di 20 kW. Al fine di salvaguardare l'accumulo si è ipotizzato una finestra utile dello stato di carica compresa tra il 20% e 80% della capacità nominale ( 3.2 kWh e 12.8 kWh) con una energia disponibile pari a 9.6 kWh. Per evitare che in fase di scarica una eccessiva richiesta di corrente possa portare l'accumulo sotto il limite minimo della tensione di batteria con possibili danneggiamenti ( o intervento del BMS) si è ipotizzato un profilo di scarica come indicato in figura 44 . Sino al limite del 40% di capacità nominale la potenza estraibile è di 20 kW per poi decrescere al diminuire della energia residua in batteria. Al raggiungimento del limite di 3.2 kWh la potenza erogabile diviene nulla.

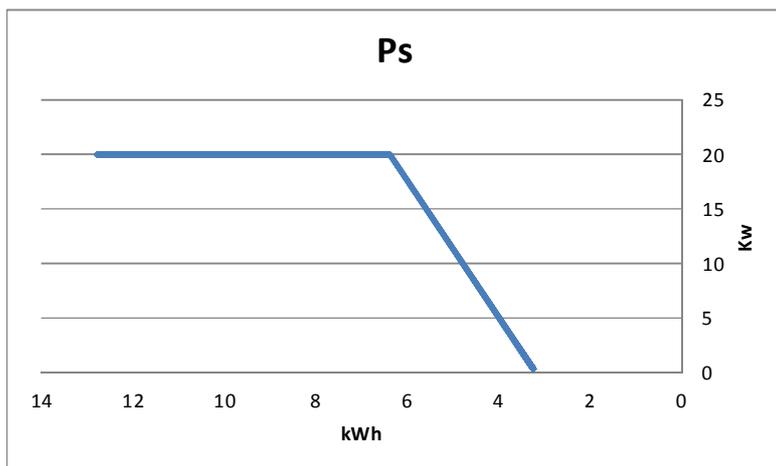


Figura 44: potenza estraibile da accumulo in scarica

Nel caso di accumulo in ricarica si è ipotizzato un limite di potenza in ricarica quando lo stato di carica supera il 60% decrescendo il valore di potenza da 20 kW a 0 con linearità sino a raggiungere 80% della carica nominale ( figura 45).

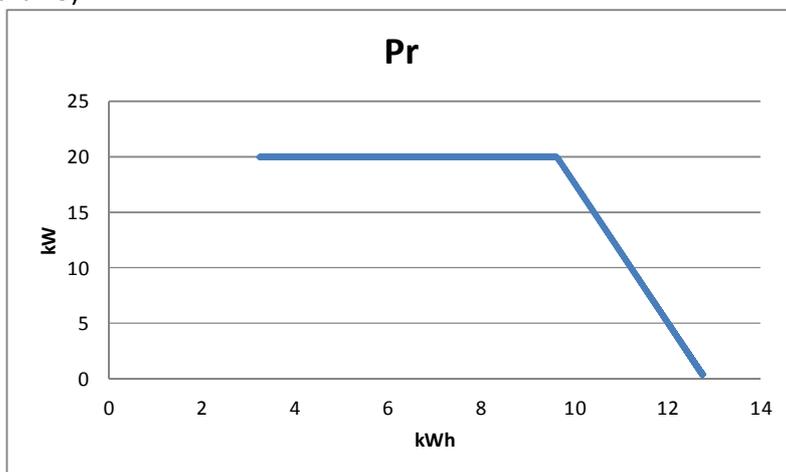


Figura 45: potenza in ricarica per l'accumulo

#### 4.1.2 Impianto PV

L'impianto PV accoppiato alla stazione integrata è un impianto da 7.5 kW di picco localizzato nell'area nord di Roma che è in grado di fornire una potenza alla rete di 6 kW con un rendimento d'impianto di 0.8. L'energia prodotta ed utilizzabile verso la rete o le utenze, mediamente, dall'impianto è di 8700 kWh annue. Le curve di producibilità oraria variano in funzione della stagione a causa della differenza di insolazione e quindi la produzione dell'impianto varierà tra estate ed inverno. Nel nostro caso verrà preso in esame il caso di produzione in una giornata di giugno ( figura 46). La potenza massima lato rete è di 5.2 kW con una produzione nella giornata di 44 kWh.

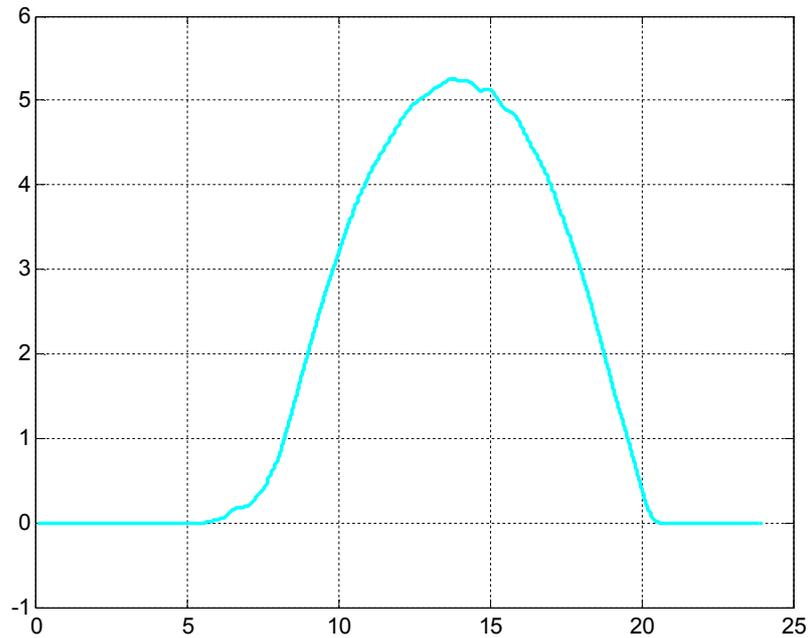
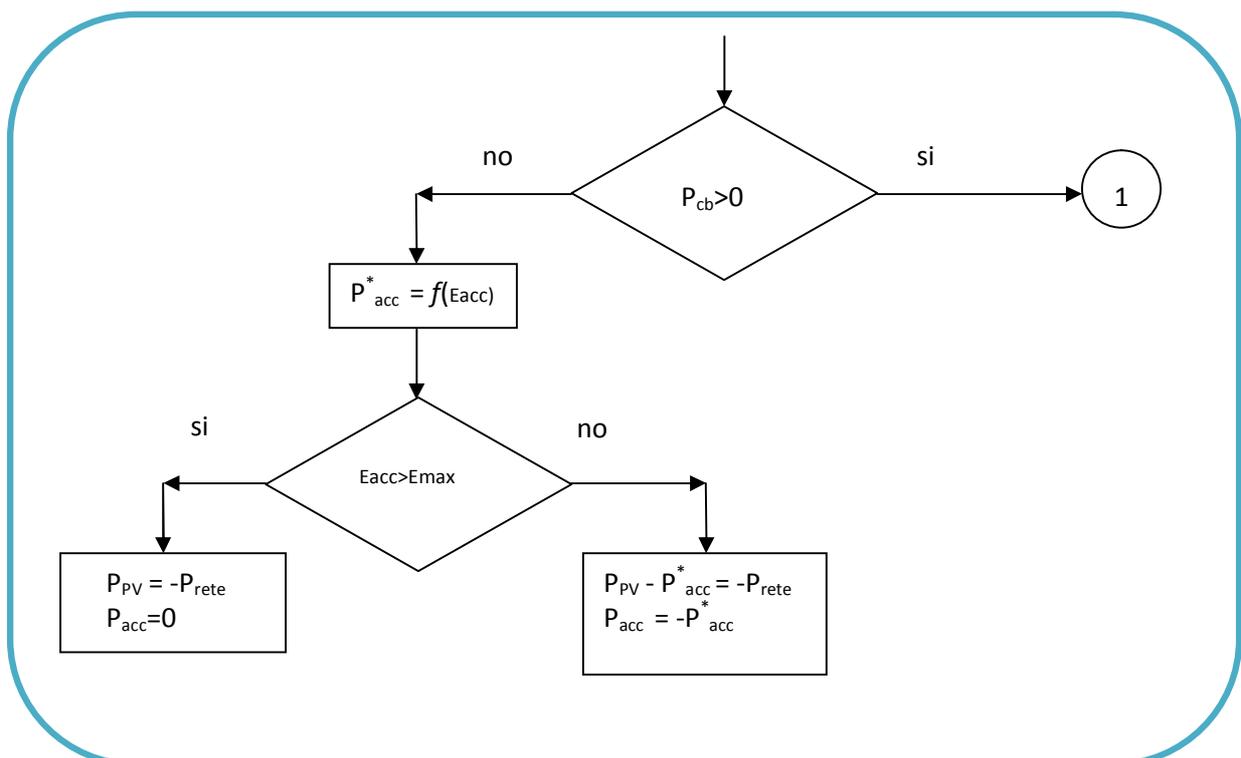


Figura 46: potenza erogata, in kW, impianto PV in una giornata estiva

#### 4.1.3 Gerarchia dei flussi energetici

Il modello considera due condizioni principali : presenza ed assenza di veicolo in ricarica. In assenza dei veicoli ( $P_{cb}=0$ ) la priorità è data alla ricarica del sistema di accumulo del compensatore se lo stato di carica è inferiore a 80%. La ricarica avviene seguendo il profilo di ricarica di figura 45 in cui è ammessa una potenza pari alla massima potenza dell'accumulo sotto il 60% della carica mentre decresce sino a 0 all'approssimarsi della carica al suo valore di 80%. L'energia per questa ricarica prioritariamente è



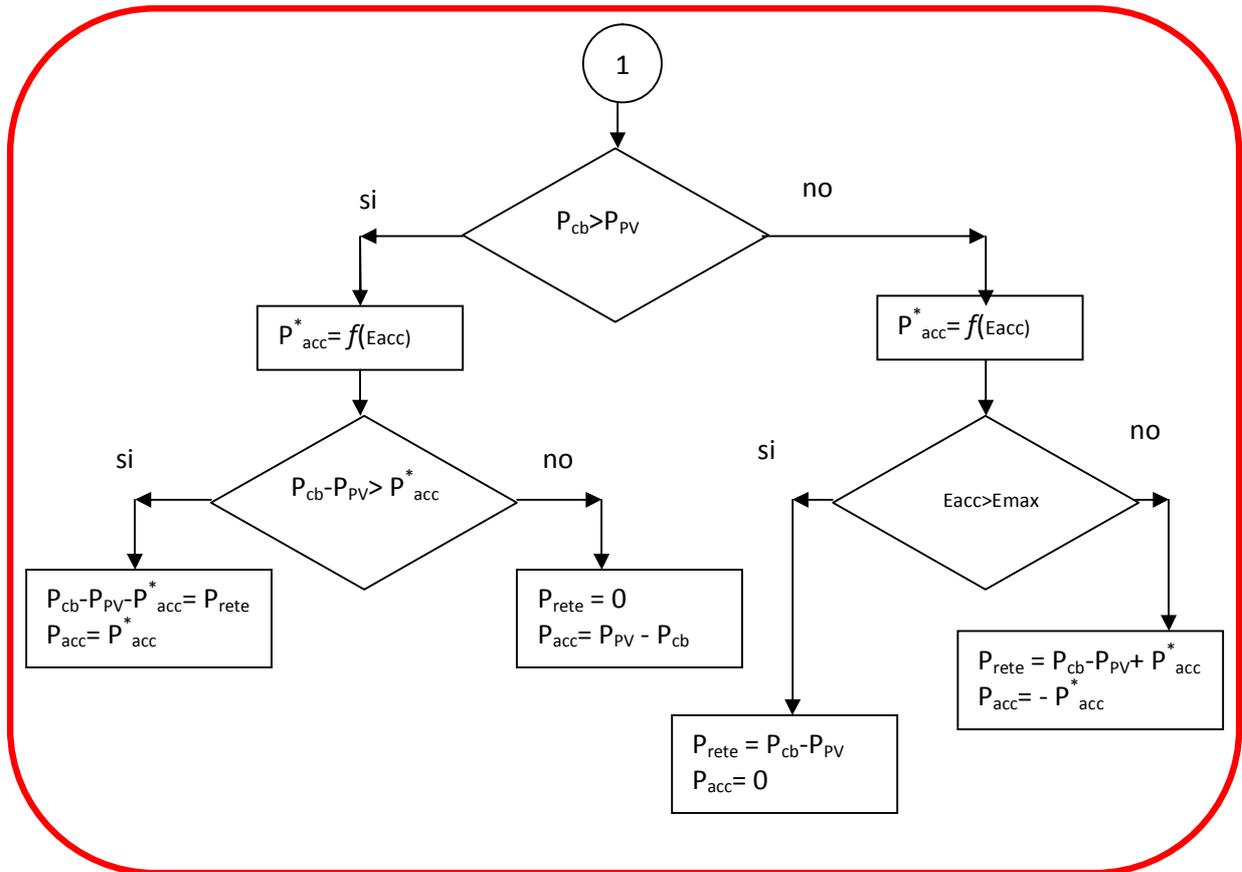


Figura 47: diagramma di flusso della erogazione dei flussi di potenza senza (blu) e con (rosso) veicoli in ricarica

prelevata dal campo PV se si trova in condizioni di insolazione tali da erogare. In caso contrario è la rete che provvede a fornire il flusso di energia necessario. Nel caso che il campo PV possa fornire solo una parte la differenza viene data dalla rete. Viceversa in caso di potenza del PV superiore a quella per l'accumulo la differenza va in rete. In assenza del veicolo in ricarica la ricarica dipenderà dalla potenza fotovoltaica e dalla potenza ricaricabile in accumulo. Non sono state prese in esame condizioni di spostamento della potenza di ricarica in ore diverse della giornata ma si opera contestualmente alla rilevazione delle condizioni.

Nel caso di veicolo in ricarica la discriminata sulla erogazione della potenza verso il carico è data dalla ampiezza della potenza fotovoltaica erogabile. Se il generatore fotovoltaico è in grado di fornire tutta la potenza necessaria all'impianto di ricarica del veicolo la parte eccedente alle necessità del veicolo verrà inviata verso il sistema di accumulo. Nel caso in cui l'accumulo sia carico al suo valore massimo tutta l'energia in eccesso tra campo fotovoltaico e ricarica veicolo sarà inviata in rete. Nella condizione in cui il generatore fotovoltaico non è in grado di soddisfare le necessità di potenza per la ricarica veicolare la differenza viene prelevata dal sistema di accumulo stazionario se questi è in grado di soddisfare integralmente la richiesta in relazione al suo stato di carica. Qualora questo non fosse realizzabile la parte integrativa verrà fornita dalla rete. La rete è quindi l'ultima sorgente a cui richiedere il prelievo di energia in condizioni di ricarica dei veicoli così come è l'ultima a ricevere energia in condizioni di assenza di veicoli in ricarica.

#### 4.1.4 Caricabatterie veicolo

Per l'impianto di ricarica dei veicoli si è preso come profilo quello del caricabatterie rapido sottoposto a prova presso il C.R. Casaccia dell'ENEA e descritto in §2.1 ed in modo maggiormente approfondito in [xx]. Il profilo di ricarica è riferito alla ricarica di un autoveicolo elettrico Nissan Leaf con un accumulo da 24 kWh.

#### 4.2 Un veicolo in ricarica

La prima valutazione è stata eseguita considerando un unico veicolo in ricarica al fine di verificare l'incidenza dei flussi energetici presenti. La ricarica è stata ipotizzata effettuata alle ore 8.00 del mattino quando il campo fotovoltaico si trova in una condizione di produzione quasi nulla. In queste condizioni l'accumulo interviene e fornisce il suo contributo per ridurre il carico sulla rete di 20 kW ( figura 48). Trascorsi 18 minuti la potenza prelevata dalla rete si annulla e solo l'accumulo riesce a mantenere il veicolo in ricarica. Questa fase dura comunque un tempo minimo poiché lo stato di carica dell'accumulo stazionario non è più in grado di erogare abbastanza potenza per soddisfare le richieste del caricabatterie anche se tale potenza è decresciuta sotto i 20 kW ( figura 49). La rete deve intervenire e fornire un piccolo contributo integrativo per colmare la differenza di potenza richiesta. Alla fine della ricarica la potenza richiesta dal caricabatterie va a zero e viene prelevata dalla rete la potenza necessaria per ricaricare l'accumulo. A questa potenza occorre sommare il piccolo quantitativo di potenza erogata dal campo fotovoltaico.

L'energia ( figura 50) mostra come una sola ricarica venga sostenuta essenzialmente dal contributo dell'accumulo stazionario e della rete di distribuzione. Successivamente la rete provvede a fornire energia per la ricarica dell'accumulo stazionario sino a completa ricarica del medesimo. Dopo questa fase l'energia non è più prelevata dalla rete ma si ha una immissione in essa dell'energia prodotta dal campo fotovoltaico. La tabella 3 sintetizza le potenze massime e l'energia erogata/fornita alla fine della giornata. Il carico richiede 53 kW massimi e la rete provvede a fornirne 33 kW mentre la rimanenza è data dall'accumulo, 20 kW, e circa 1 kW dal campo fotovoltaico. Il campo fotovoltaico durante la giornata eroga 44.3 kWh iniettandone 29.5 kWh in rete mentre 14.7 è l'energia richiesta dal caricabatterie per il veicolo. La rete eroga 12.4 kWh per far fronte alle richieste del veicolo e della ricarica dell'accumulo stazionario mentre quest'ultimo fornisce 8 kWh nella fase di carica del veicolo.

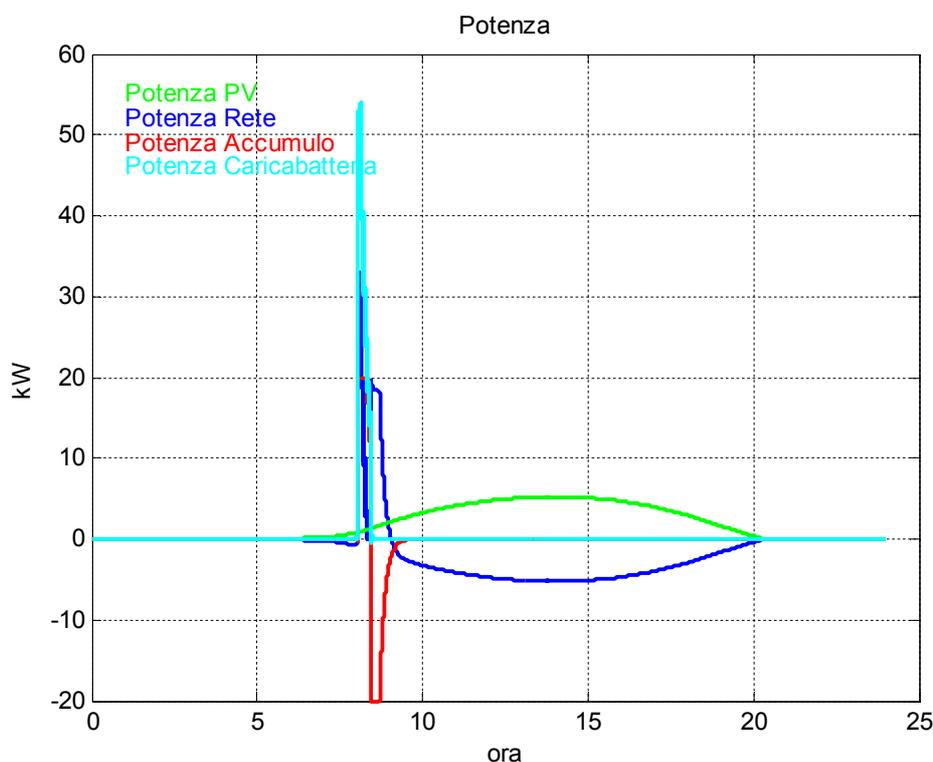


Figura 48: potenza nel caso 1 ricarica ore 08.00.

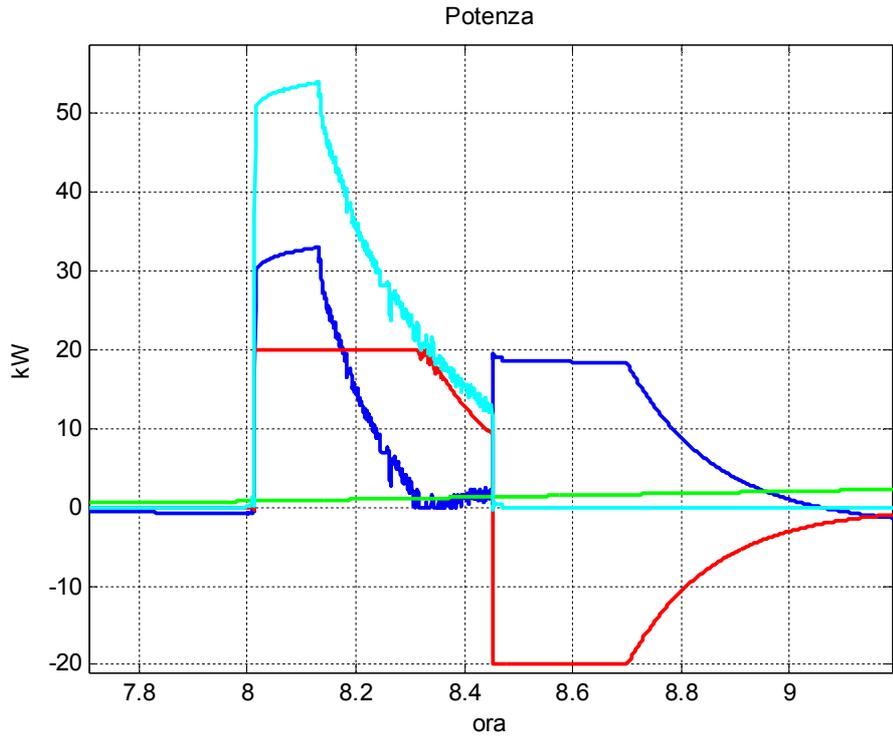


Figura 49: potenza nel caso 1 ricarica ore 08.00.

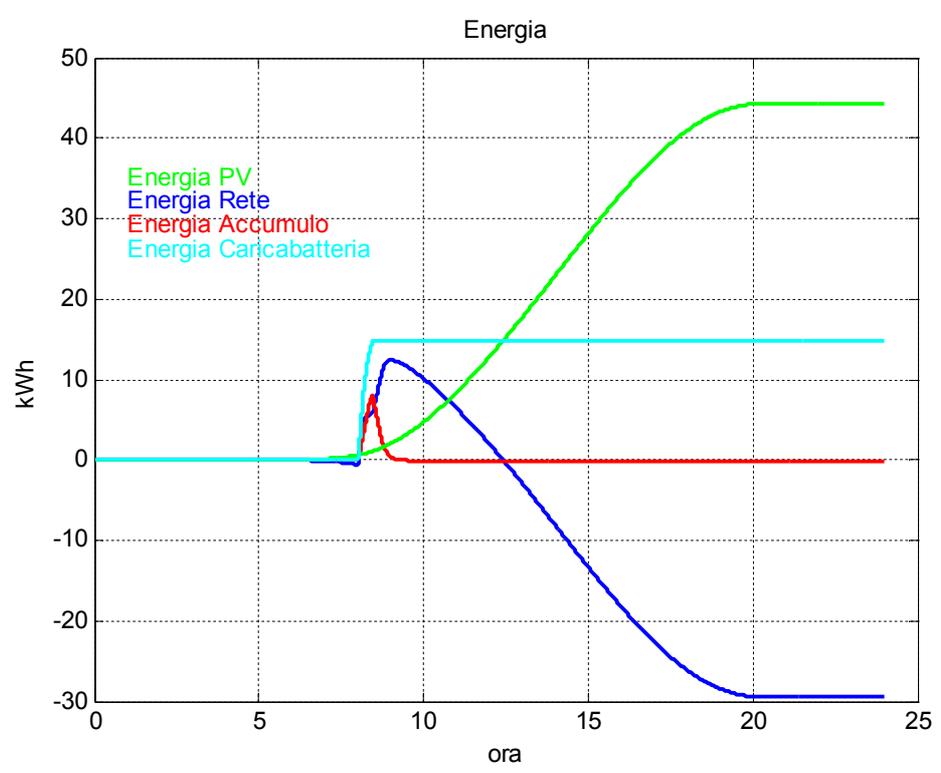


Figura 50: energia nel caso 1 ricarica ore 08.00.

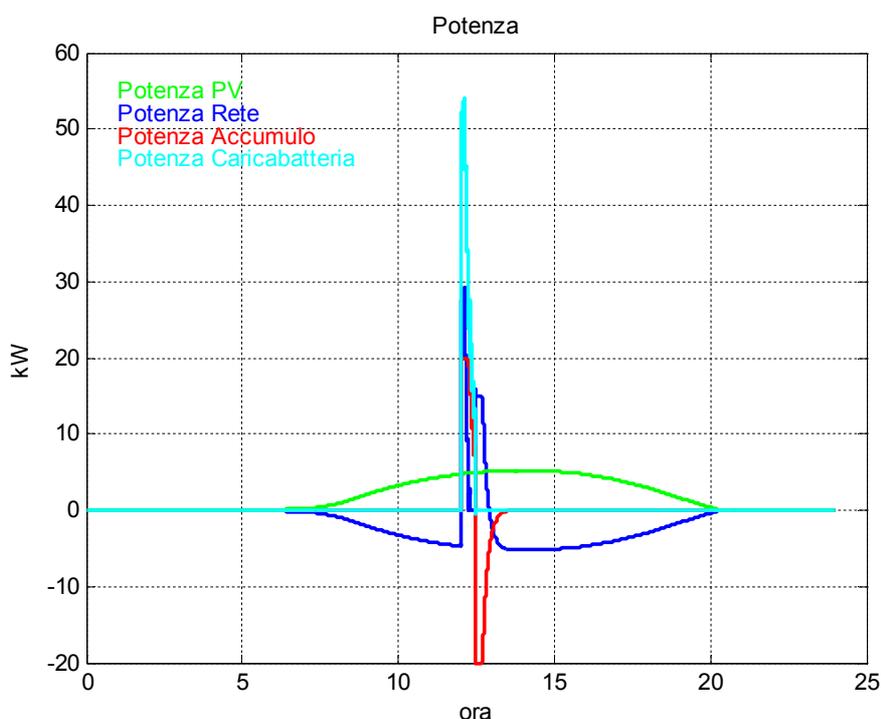
**Tabella 3: caso 1 ricarica ore 08.00.**

1 ricarica 08:00	caricabatterie	rete	accumulo	PV
<b>Energia (kWh)</b>	14.7	-29.5	-0.07	44.3
<b>Energia max (kWh)</b>	14.7	12.4	8	44.3
<b>Energia min (kWh)</b>	0	-29.5	0	0
<b>Potenza max (kW)</b>	53.9	33	20	5.2
<b>Potenza min (kW)</b>	0	-5.2	-20	0

Nel caso che la ricarica avvenga alle ore 12.00 il campo fotovoltaico sarà in grado di contribuire con una quota maggiore alle necessità della stazione di ricarica del veicolo, avendo una maggiore potenza a disposizione. La potenza richiesta alla rete è infatti di solo 29 kW ,circa 4 kW in meno rispetto alla ricarica mattutina. In rete al netto finisce sempre la stessa energia. La rete eroga in supporto alla ricarica del veicolo solo durante la prima fase essendo disponibile la potenza del campo per la seconda parte della ricarica. Anche nella successiva operazione di ricarica dell'accumulo stazionario la rete interviene insieme al campo per la ricarica.

**Tabella 4: caso 1 ricarica ore 12.00.**

1 ricarica 12:00	caricabatterie	rete	accumulo	PV
<b>Energia (kWh)</b>	14.7	-29.5	-0.5	44.3
<b>Energia max (kWh)</b>	14.7	0	7.6	44.3
<b>Energia min (kWh)</b>	0	-29.1	-0.5	0
<b>Potenza max (kW)</b>	53.9	29.1	20	5.2
<b>Potenza min (kW)</b>	0	-5.2	-20	0



**Figura 51: potenza nel caso 1 ricarica ore12.00.**

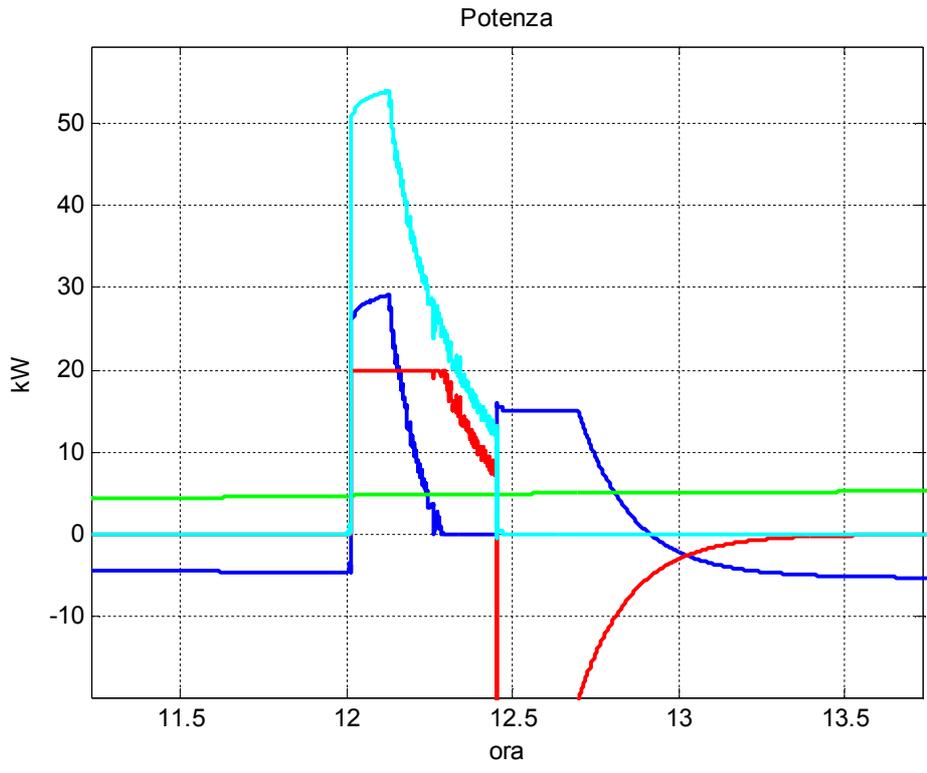


Figura 52: potenza nel caso 1 ricarica ore 12.00.

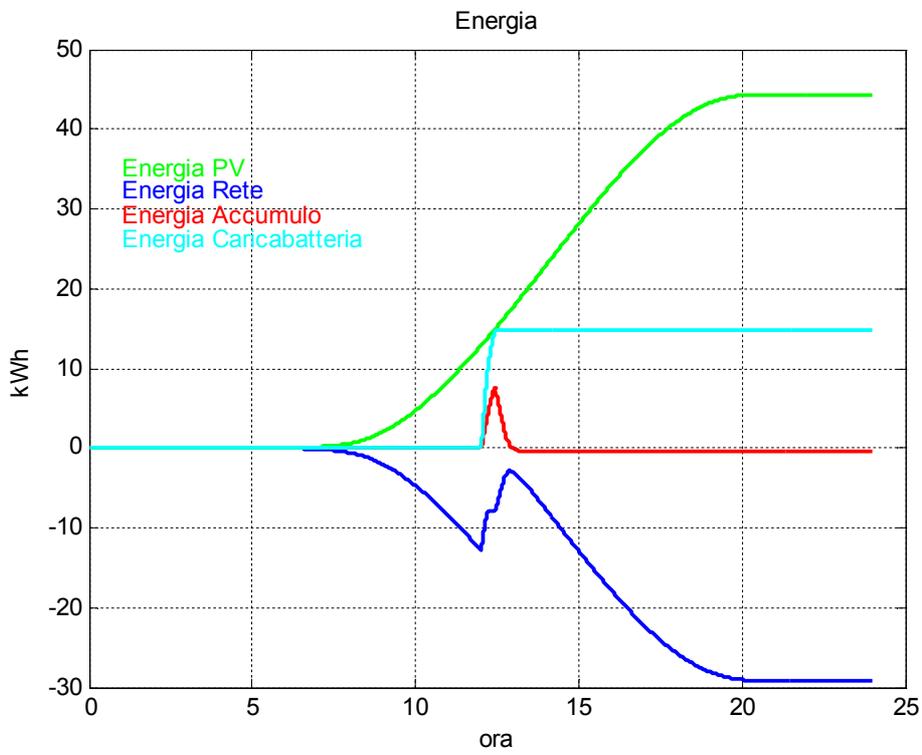


Figura 53: energia nel caso 1 ricarica ore 08.00.

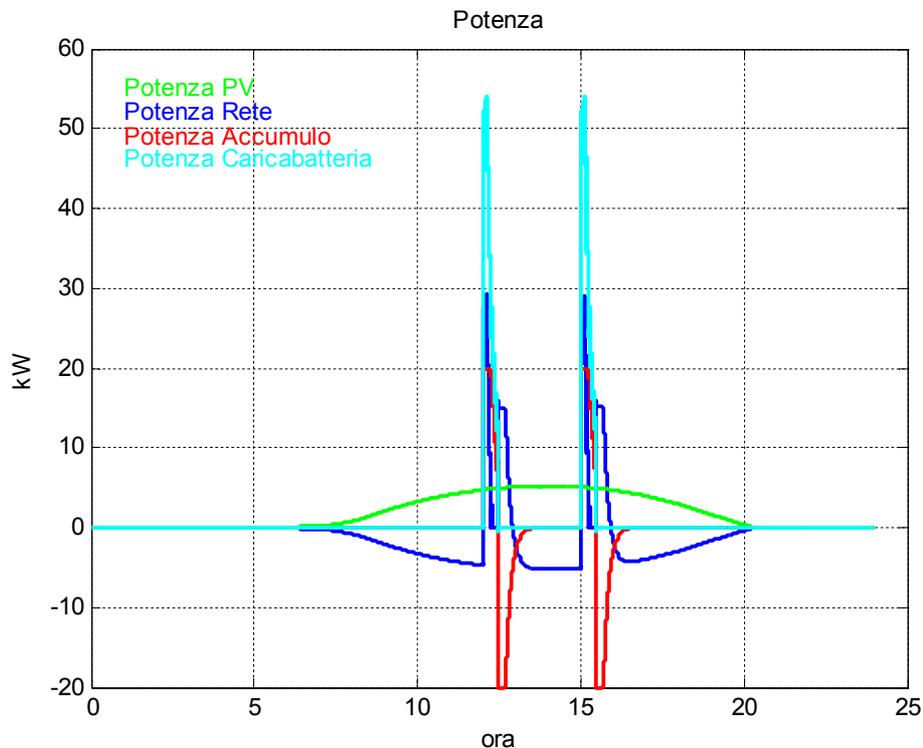
### 4.3 Due veicoli in ricarica

Consideriamo adesso il caso di due veicoli che eseguono la ricarica in modalità non contemporanea, ad esempio alle ore 12.00 e 15.00 rispettivamente. L'energia richiesta globalmente nelle due operazioni somma a 29.5 kWh prelevati dalla rete, dal campo e dall'accumulo.

**Tabella 5: caso 2 ricarica ore 12.00 e 15.00**

2 ricariche 12:00 & 15:00	caricabatterie	rete	accumulo	PV
<b>Energia (kWh)</b>	29.5	-13.9	-1	44.3
<b>Energia max (kWh)</b>	29.5	0	7.6	44.3
<b>Energia min (kWh)</b>	0	-13.9	-1	0
<b>Potenza max (kW)</b>	53.9	29.1	20	5.2
<b>Potenza min (kW)</b>	0	-5.2	-20	0

La rete fornisce energia per le ricariche come se si fosse in due operazioni distinte di ricarica singola e al netto dei contributi del campo e delle necessità per ricaricare l'accumulo troviamo un saldo di soli 14 kWh che finiscono in rete. Gli impegni in potenza rimangono sostanzialmente simili a quelli del caso di ricarica singola. Il campo fotovoltaico è in grado di fornire una quota di energia abbastanza elevata da coprire i  $\frac{3}{4}$  dell'energia per la ricarica dei due veicoli e dell'accumulo stazionario. In potenza il campo è invece contribuisce limitatamente a causa della sua taglia ridotta lasciando all'accumulo il compito di supporto alla rete e provvedendo a fornire l'energia necessaria in modalità traslata nell'arco della giornata.



**Figura 54: potenze nel caso 2 veicoli in ricarica non contemporanea.**

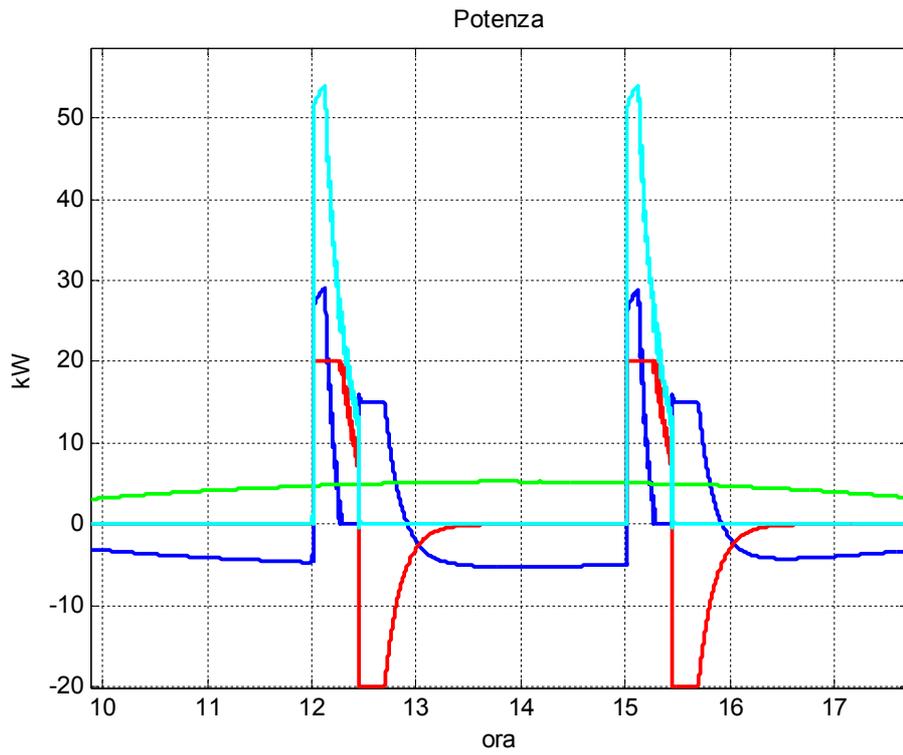


Figura 55: potenze nel caso 2 veicoli in ricarica non contemporanea.

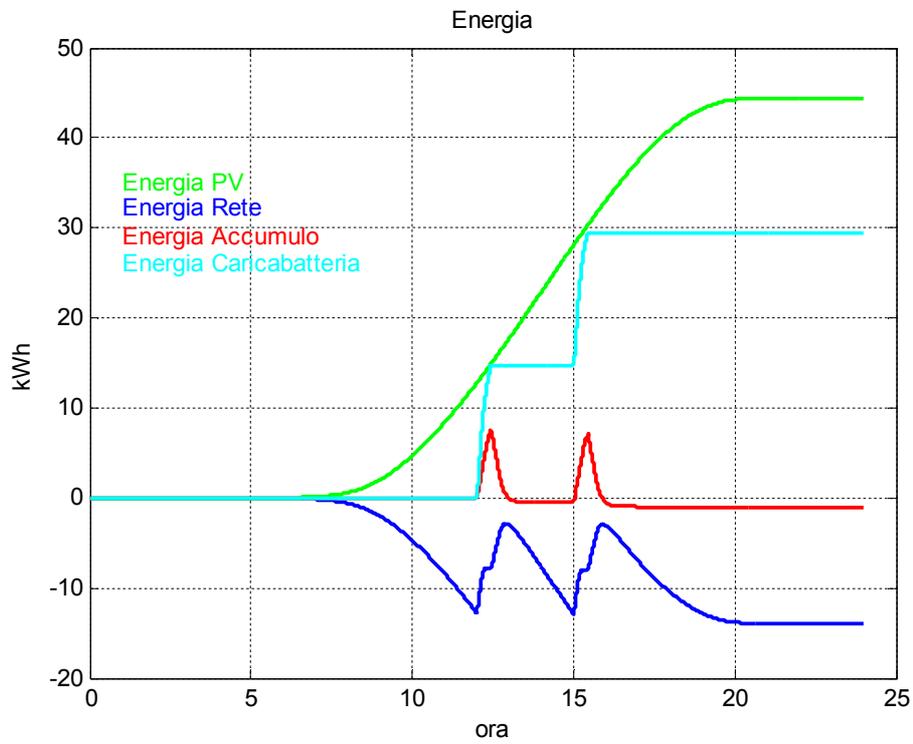


Figura 56: energia nel caso 2 veicoli in ricarica non contemporanea.

#### 4.4 Due veicoli in ricarica sovrapposta

Se le ricariche dei due veicoli avvengono ravvicinate nel tempo ed al limite a sovrapporsi si ha una situazione in cui la potenza necessaria diviene notevolmente più alta. La tabella 6 mostra una potenza richiesta di 106 kW avendo considerato due ricariche spostate temporalmente di 5 minuti. La rete di distribuzione si trova a far fronte a questo elevato picco con l'aiuto dell'accumulo che può solo contribuire con i suoi 20 kW rimanendo in tal modo necessari 82 kW dalla rete.

Tabella 6: caso ricarica 2 veicoli contemporaneamente

2 ricariche 12:00 & 12:05	caricabatterie	rete	accumulo	PV
<b>Energia (kWh)</b>	29.5	-14.8	0	44.3
<b>Energia max (kWh)</b>	29.5	10.8	8.7	44.3
<b>Energia min (kWh)</b>	0	-14.8	0	0
<b>Potenza max (kW)</b>	106.5	81.7	20	5.2
<b>Potenza min (kW)</b>	0	-5.2	-20	0

Il bilancio a fine giornata dal punto di vista energetico è quasi uguale a quello del caso con ricariche distinte con un saldo verso rete di 15 kWh. In figura 34 si nota come l'elevato ricorso alla rete si tramuta in un saldo energetico positivo (prelievo) durante la ricarica dei veicoli e successivamente per il ripristino dello stato di carica dell'accumulo stazionario.

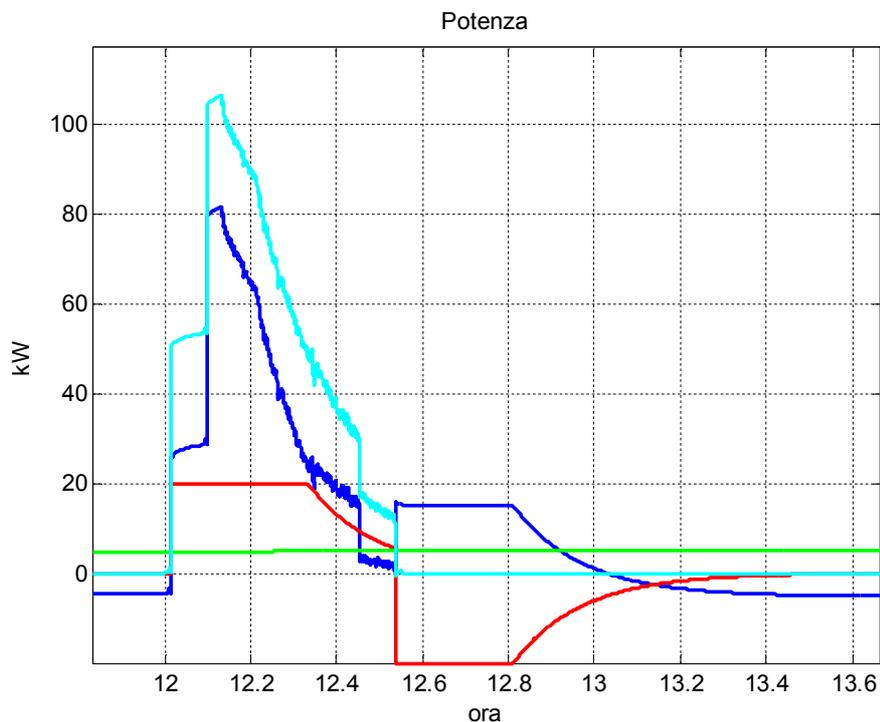


Figura 57: potenze nel caso 2 veicoli in ricarica contemporanea.

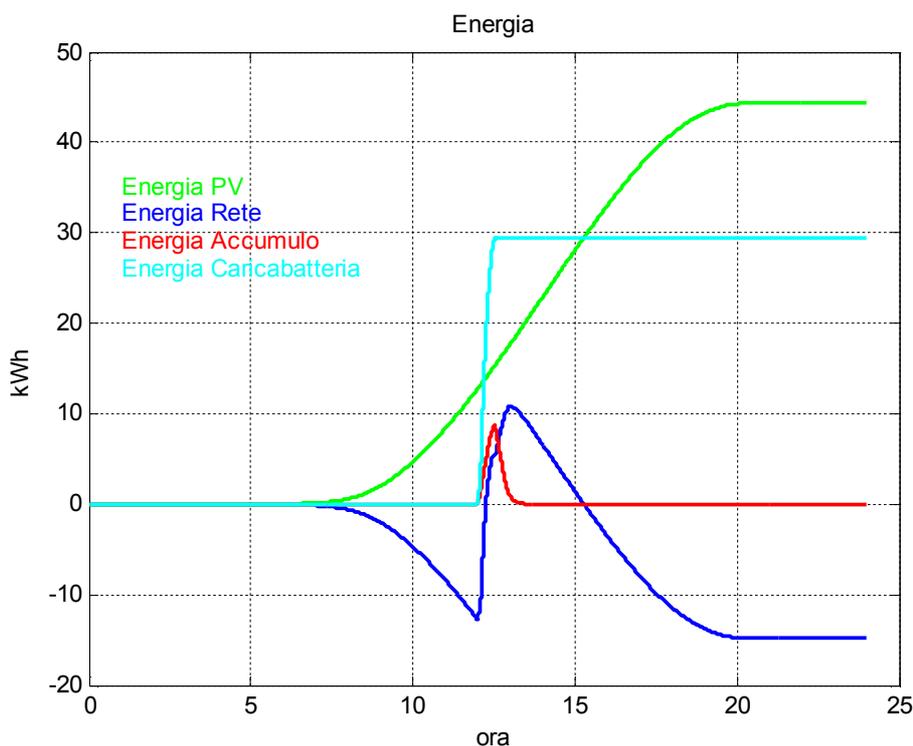


Figura 58: energia nel caso 2 veicoli in ricarica contemporanea.

#### 4.5 Quattro veicoli in ricarica

Se le ricariche divengono quattro non sovrapposte come mostrato in figura 59 per l’impegno in potenza la rete non subisce problemi diversi da quello del caso di 1 singolo veicolo in ricarica. In questo caso le ricariche sono distanziate tra loro di un tempo pari ad almeno 1 ora per far sì che possa completarsi sia la ricarica del veicolo sia la ricarica dell’accumulo stazionario. Un tempo minore inciderà sulla potenza massima impegnata dalla rete dovendo far fronte alle esigenze della nuova richiesta di ricarica del veicolo successivo che della ricarica dell’accumulo stazionario.

Tabella 7: caso ricarica 4 veicoli

4 ricariche	caricabatterie	rete	accumulo	PV
<b>Energia (kWh)</b>	58.9	16.2	-1.6	44.3
<b>Energia max (kWh)</b>	58.9	16.2	7.8	44.3
<b>Energia min (kWh)</b>	0	-4.6	-1.6	0
<b>Potenza max (kW)</b>	53.9	34	20	5.2
<b>Potenza min (kW)</b>	0	-5.2	-20	0

La tabella 7 mostra che l’energia delle quattro ricariche supera l’energia prodotta dal campo e pertanto la rete dovrà congruare questo scarto. La potenza richiesta alla rete è invece leggermente superiore a quella del caso delle due ricariche singole poiché l’ultima delle quattro operazioni di ricarica avviene in tarda serata con assenza del campo fotovoltaico che non contribuisce a questa operazione. In figura 60 è visibile come l’energia richiesta nelle quattro ricariche superi in questo caso l’energia erogata giornalmente dal campo e quindi il prelievo dalla rete.

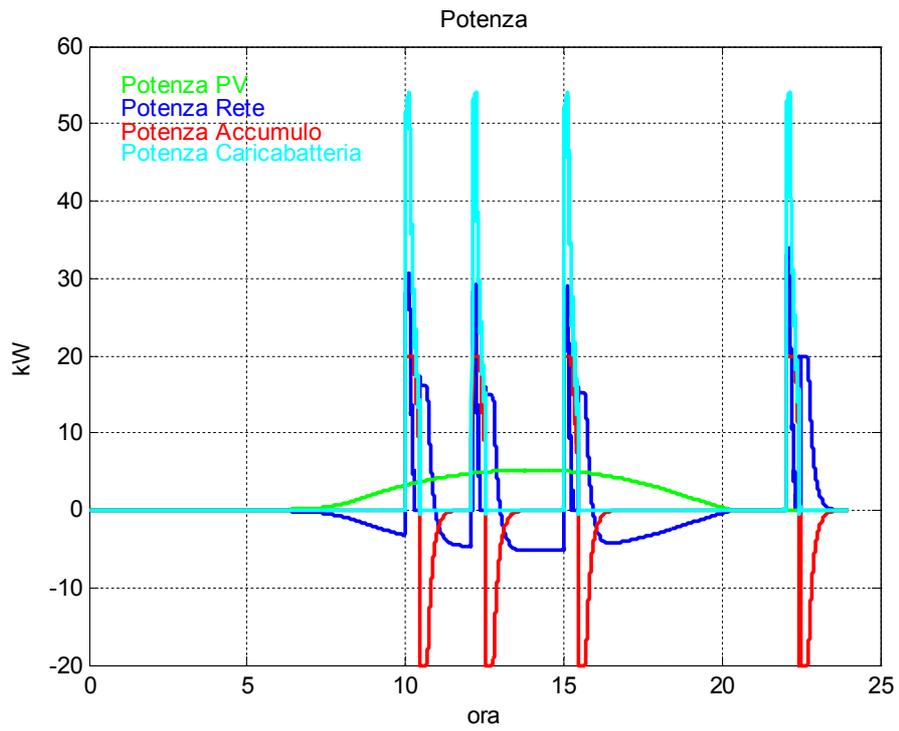


Figura 59: potenze nel caso 4 veicoli in ricarica non contemporanea.

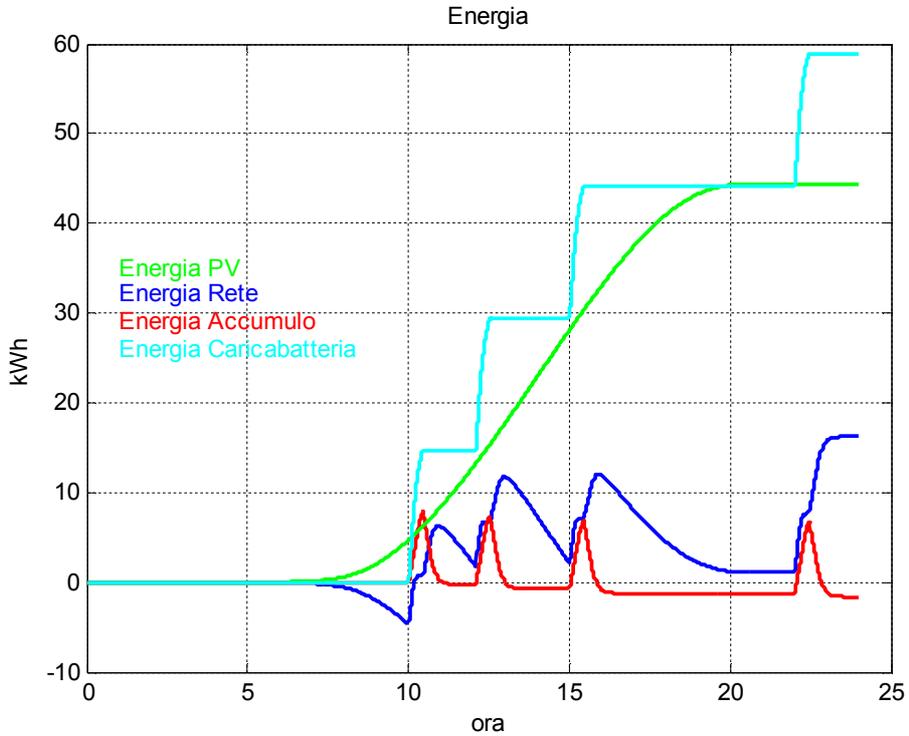


Figura 60: energia nel caso 4 veicoli in ricarica non contemporanea.

#### 4.6 8 veicoli in ricarica con distribuzione casuale

La ricarica dei veicoli presso il punto di ricarica può avvenire anche in modo non coordinato e per questo abbiamo simulato 8 ricariche che iniziano in modo casuale nell’arco della giornata. La figura 61 mostra il picco di potenza in ricarica di 107 kW che indica la contemporanea presenza di due veicoli in ricarica (evento ore 15.00). Dalla tabella 8 si nota che l’energia da rete è di 74 kWh con un supporto in potenza di 82 kW.

Tabella 8: caso ricarica 15 veicoli

8 ricariche	caricabatterie	rete	accumulo	PV
<b>Energia (kWh)</b>	117.9	74.3	-0.8	44.3
<b>Energia max (kWh)</b>	117.9	74.3	9.1	44.3
<b>Energia min (kWh)</b>	0	-13.1	-0.8	0
<b>Potenza max (kW)</b>	107	82	20	5.2
<b>Potenza min (kW)</b>	0	-5.2	-20	0

La figura 62 mostra come l’energia prodotta dalla fonte rinnovabile non sia più sufficiente a coprire i fabbisogni in energia della stazione di ricarica con un numero così elevato di ricariche.

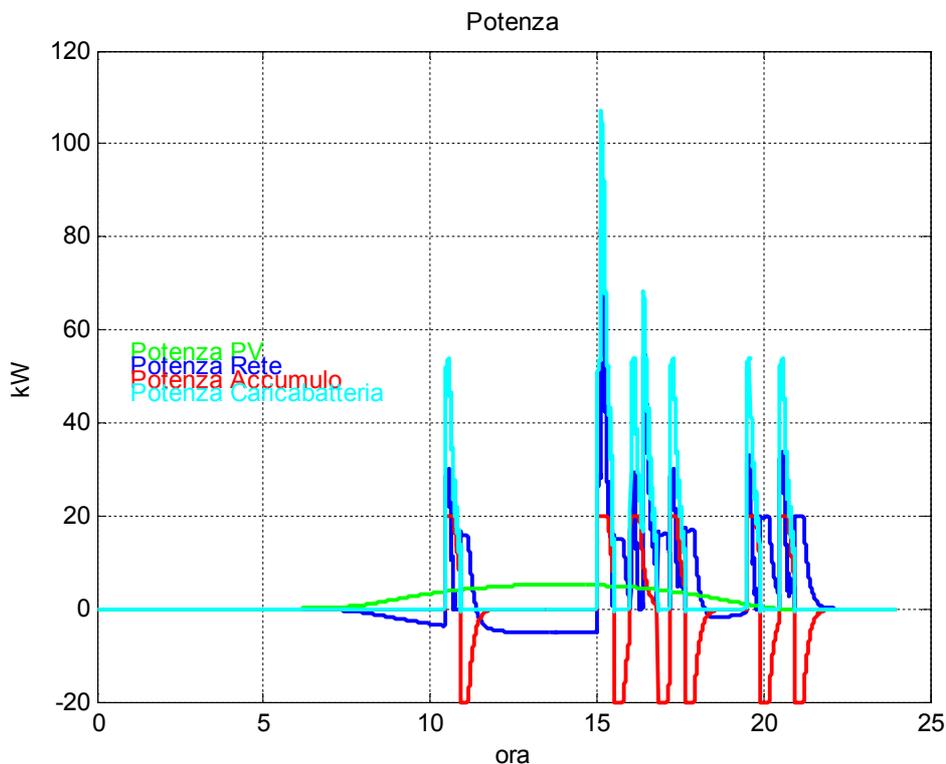


Figura 61: potenza nel caso 8 veicoli in ricarica casuale.

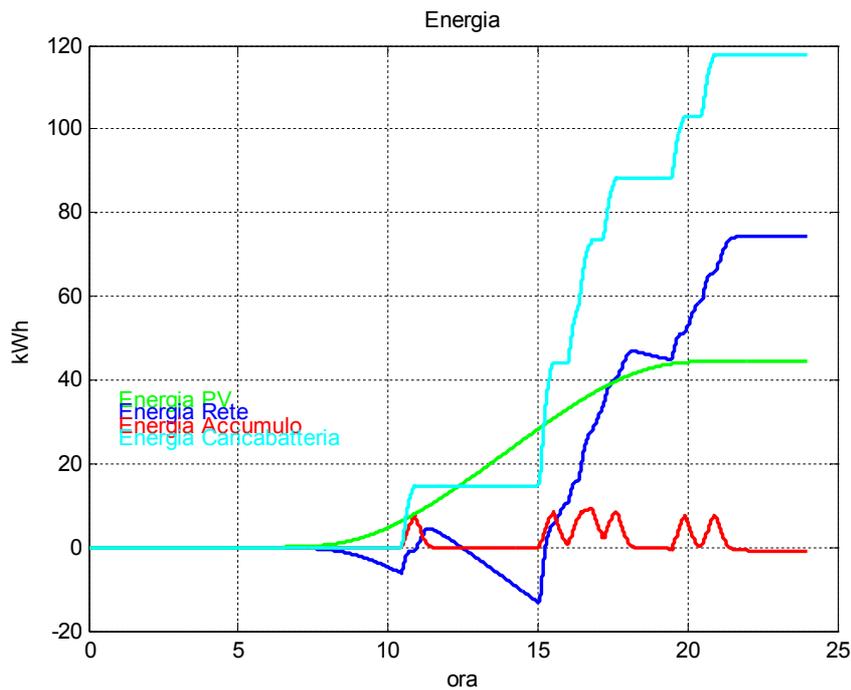


Figura 62: energia nel caso 8 veicoli in ricarica casuale.

Se si aumenta la taglia del campo fotovoltaico ad esempio a 22.5 kWp l'energia prodotta da esso ( tabella 9) è di 133 kWh in grado di coprire il bisogno di energia per le ricariche pari a 118 kWh. La rete ha un saldo negativo ma tenendo presente che l'accumulo stazionario non è completamente carico alla fine del ciclo e che occorre un ulteriore prelievo dalla rete per completare l'operazione si può considerare in equilibrio il bilancio dalla rete.

Tabella 9: caso ricarica 15 veicoli e PV da 17.5 kWp

8 ricariche	caricabatterie	rete	accumulo	PV
<b>Energia (kWh)</b>	117.9	-8.3	-6.8	133
<b>Energia max (kWh)</b>	117.9	28.9	7.9	133
<b>Energia min (kWh)</b>	0	-36.1	-8	0
<b>Potenza max (kW)</b>	53.9	34	20	15.8
<b>Potenza min (kW)</b>	0	-15.7	-20	0

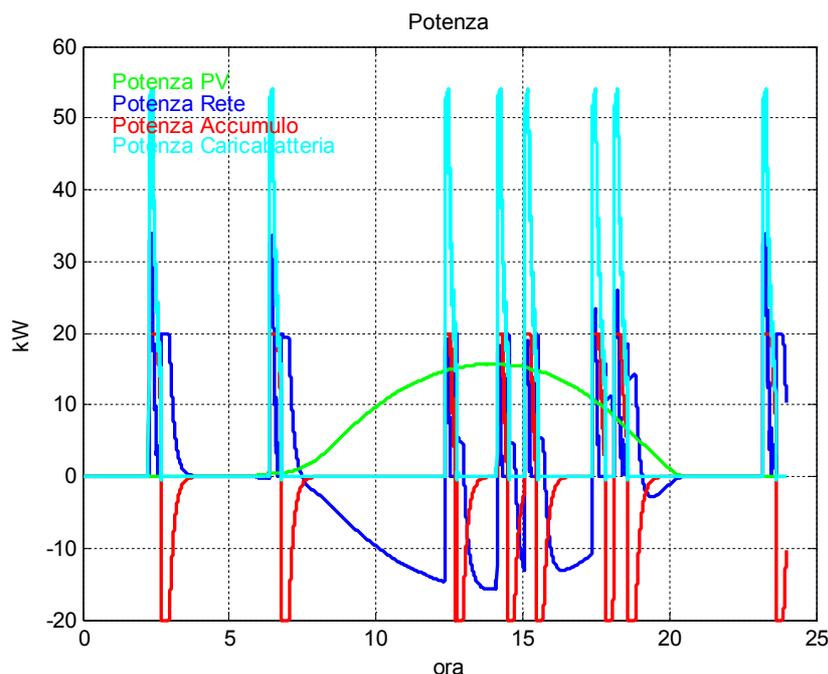


Figura 63: potenza nel caso 8 veicoli in ricarica casuale ed PV da 17.5 kWp

## 5 Conclusioni

Nella visione di una larga diffusione del trasporto elettrico assume importanza il comportamento della stazione di ricarica sotto gli aspetti della qualità della potenza ( distorsioni correnti e tensioni di linea) e dello scambio di potenza reattiva. Entrambi i problemi se sottovalutati possono costituire un onere gravoso per la distribuzione e per gli altri carichi collegati. Si è visto come la stazione in prova al seguito dell'applicazione di filtri abbia ricondotto entro i limiti indicati dalle norme la presenza di armoniche indesiderate. La presenza di questo stadio non altera in modo sensibile il rendimento della stazione in termini di potenza attiva ma produce una maggiore scambio di energia reattiva con la rete. In condizioni di basso carico ( ricarica a bassa corrente) ossia durante la fase finale della ricarica veloce o in una seconda ricarica per portare il SOC batteria veicolo al 90% ( fase a bassa corrente) la potenza reattiva può superare quella reattiva con valori di fattore di potenza molto bassi. Il ricorso a dispositivi di ricarica dotati di PFC è in grado di attenuare o risolvere questo effetto o, in alternativa, si può fare ricorso a sistemi di compensazione esterni al caricabatterie. L'accoppiamento del compensatore statico è una delle azioni che sono state condotte per verificare di questa soluzione sia in logica di pura compensazione che di ausilio alla rete in erogazione della potenza attiva.

Le attività hanno evidenziato la concreta fattibilità dei servizi ancillari che una stazione di ricarica rapida, dotata di compensatore statico, può offrire alla parte di rete dove è installato. Infatti, se da una parte la ricarica veloce permette di avere veicolo pronto in circa 30 minuti per andare nuovamente su strada con un "pieno" del sistema di accumulo pari all'85% della sua carica, dall'altra parte richiede elevate potenze che vanno ad influire sulle performance di rete. I test hanno evidenziato le peculiarità di privilegiare prima una compensazione di potenza reattiva e poi una compensazione potenza attiva e viceversa per sfruttare al massimo le potenzialità dell'oggetto in esame. Maggiore rilevanza si è data agli effetti della compensazione della potenza reattiva, che sono evidenti nell'andamento del fattore di potenza a monte dell'alimentazione della la colonnina di ricarica. Infatti il compensatore può fungere da "rifasatore" e far sì che il fattore di potenza del sistema colonnina-compensatore statico si mantenga praticamente unitario per tutta la ricarica

veloce del veicolo. Infatti i test hanno evidenziato che senza l'utilizzo del compensatore, il fattore di potenza raggiungerebbe valori molto bassi pari a (0,3-0,4) soprattutto nella seconda parte della ricarica.

La presenza dell'accumulo stazionario come sorgente di ausilio per la compensazione reattiva e la irrogazione di potenza attiva inevitabilmente richiedono la ricarica del medesimo al raggiungimento delle condizioni di SOC limite o alla fine delle azioni di supporto. La presenza di un campo fotovoltaico è in grado di fornire l'energia necessaria per queste operazioni e di riversare in rete l'eccesso della produzione giornaliera. La simulazione eseguita per determinare i flussi energetici giornalieri in caso di stazione di ricarica integrata ( caricabatterie veicolo, compensatore con accumulo stazionario e impianto PV) hanno indicato la dipendenza della taglia ai fini della copertura dell'energia fornita ai veicolo consentendo l'affrancamento dalla rete per i consumi giornalieri. La copertura dei picchi di potenza sono affidati invece all'accumulo che deve risultare dimensionato in modo da offrire la massima partecipazione in potenza. Impianti fotovoltaici di taglia elevata sono in grado di offrire vantaggi anche in copertura della potenza richiesta con ampio eccessi di energia che sono riversabili in rete. La definizione delle taglie idonee deve partire da considerazioni sulla struttura della stazione di ricarica ( tipo e quantità di punti di ricarica), numero di ricariche giornaliere e relativa determinazione dell'energia e della potenza impegnata. Successivamente attraverso analisi di tipo economico con l'utilizzo di metodi di ricerca dell'ottimo ( attraverso funzioni di costo [2]) sarà possibile individuare quelle taglie che consentiranno il miglior compromesso tra il costo di investimento ed i costi operativi (acquisto energia da rete )che potranno essere differenziati in relazione all'istante del prelievo.

## 6 Riferimenti bibliografici

- [1] A.Genovese, F.Ortenzi, B.DiPietra , “Realizzazione e sperimentazione di una stazione di ricarica rapida in c.c. nel C.R. Casaccia”, Report RdS/2012/135
- [2] G. Tomasso, M. Di Monaco, M. D’Arpino, U. Abronzini, “Progettazione di un convertitore modulare per infrastrutture di ricarica con accumulo integrato” RdS/PAR2013/099