



Ricerca di Sistema elettrico

Sviluppo e implementazione nella piattaforma RET di soluzioni per la gestione integrata del sistema combinato fotovoltaico-accumulo

G. Adinolfi, R. Ciavarella, G. Graditi, A. Merola, V. Palladino

SVILUPPO E IMPLEMENTAZIONE NELLA PIATTAFORMA RET DI SOLUZIONI PER LA GESTIONE INTEGRATA DEL SISTEMA COMBINATO FOTOVOLTAICO-ACCUMULO

G. Adinolfi, R. Ciavarella, G. Graditi, A. Merola, V. Palladino
ENEA

Dicembre 2018

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2018

Area: Generazione di energia elettrica con basse emissioni di carbonio

Progetto: B.1.2 Ricerca su tecnologie fotovoltaiche innovative

Obiettivo: Sviluppo di tool di progettazione e studio di dispositivi attivi innovativi per convertitori smppt

Responsabile del Progetto: Paola Delli Veneri, ENEA



Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
1.1 BACKGROUND.....	5
1.2 LA GESTIONE DEL SISTEMA COMBINATO FOTOVOLTAICO-ACCUMULO.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	6
3 SISTEMI DI ACCUMULO.....	7
3.1 TECNOLOGIE E SISTEMI DI ACCUMULO ELETTROSTATICO.....	7
3.2 TECNOLOGIE E SISTEMI DI ACCUMULO ELETTROCHIMICO.....	10
4 PICON-RET E I SISTEMI DI ACCUMULO ELETTROSTATICO.....	12
4.1 STRATEGIA DI CONTROLLO.....	16
5 CASO STUDIO E RISULTATI.....	20
6 CONCLUSIONI.....	22
7 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	23

Sommario

Il presente documento "Sviluppo e implementazione nella piattaforma RET di soluzioni per la gestione integrata del sistema combinato fotovoltaico-accumulo" descrive le attività di ricerca svolte nell'ambito del PAR 2018 del progetto di Ricerca su "Tecnologie Fotovoltaiche Innovative". Esso prevede, al termine delle attività svolte, l'implementazione nella piattaforma RET di una sezione applicativa dedicata alla gestione integrata dell'energia elettrica prodotta da fonte solare fotovoltaica in presenza di accumulo anche attraverso soluzioni di ultima generazione.

Nelle annualità precedenti, l'attenzione dei ricercatori era stata focalizzata sullo sviluppo di una piattaforma software, denominata "Pi.Con-RET", per il design di SMPPT per l'integrazione delle tecnologie fotovoltaiche in diversi scenari energetici (NZEB e micro-reti). Sono stati, in particolare, studiati e considerati dispositivi basati su nuovi materiali (carburo di silicio e nitruro di gallio) al fine di analizzare il comportamento e le prestazioni di una nuova generazione di convertitori SMPPT da utilizzare a bordo di generatori fotovoltaici nei suddetti contesti di interesse.

Nell'ambito del processo di evoluzione, oramai in atto, dell'attuale modello energetico, sempre più basato sulla generazione distribuita da FER, sulle reti energetiche integrate e sulle comunità energetiche locali, si inquadra la tematica dell'utilizzo ed integrazione della generazione fotovoltaica nel contesto di architetture energetiche innovative di tipo multi-DER, che cooperano con sistemi di accumulo elettrico per il perseguimento di un unico obiettivo energetico/economico. In questo contesto, la piattaforma software "PiCon-RET" intende contribuire fornendo strumenti utili ed avanzati all'utente-progettista per effettuare il design "ottimizzato" del BoS (Balance Of System) di sistemi fotovoltaici, dotati anche di sistemi di accumulo dell'energia elettrica. Infatti, il convertitore SMPPT funge, in questo ambito, da elemento di interfaccia tra la generazione e l'accumulo al fine di valorizzare le tecnologie fotovoltaiche anche in applicazioni che presentano particolari esigenze operative (in particolare dal punto di vista delle sollecitazioni termiche alle quali viene sottoposto il convertitore ed alle specifiche di carica/scarica ai quali è chiamato a rispondere il sistema di accumulo).

A completamento delle attività di ricerca, durante il PAR 2018, sono state implementate apposite routine per l'introduzione di supercapacitori e ultracapacitori per l'attuazione di logiche di gestione ed ottimizzazione dell'utilizzo dell'energia prodotta da fonte solare fotovoltaica in contesti di tipo residenziale.

Il presente report è articolato in 5 capitoli.

Nei capitoli 1 e 2 viene proposta una sintesi delle diverse fasi di lavoro relative al PAR 2018. Nel capitolo 3 sono descritte le caratteristiche e le potenzialità dei sistemi di accumulo considerati, con particolare attenzione ai supercapacitori e alle batterie a ioni di litio.

Nel capitolo 4 viene presentata la nuova sezione della piattaforma PiCon-RET dedicata alla gestione integrata del sistema fotovoltaico-accumulo e nel capitolo 5 vengono presentati i risultati di un caso studio analizzato.

1 Introduzione

1.1 Background

La fonte solare fotovoltaica rappresenta una risorsa energetica fondamentale per il contributo sia al soddisfacimento della domanda energetica, sia al processo di decarbonizzazione del settore energetico nel rispetto dei target del pacchetto “energia-clima”.

Fattori come il crollo dei costi di produzione e vendita dei sistemi fotovoltaici e il grado di maturità raggiunto dalle tecnologie fotovoltaiche hanno certamente favorito l’ampia e capillare diffusione di tali sistemi.

Attualmente lo scenario è caratterizzato da una “web-produzione” di energia elettrica ad opera dei tanti impianti distribuiti sul territorio del nostro Paese. La maggior parte di essi sono connessi alla rete elettrica di distribuzione nazionale. La disponibilità di sistemi di accumulo “agganciabili” alle fonti energetiche variabili, inoltre, sta contribuendo a favorire soluzioni sempre più indirizzate a “autoproduzione-autoconsumo”. E’ chiaro, quindi, che si va verso una concezione del fotovoltaico [1] inteso come risorsa “integrata” in un contesto di sistema energetico che vede l’integrazione di risorse di generazione e di sistemi di accumulo distribuiti e l’implementazione di tecnologie abilitanti.

A favorire l’integrazione delle tecnologie fotovoltaiche nei contesti energetici di ultima generazione contribuisce anche la digitalizzazione di tali sistemi mediante l’impiego di opportune logiche di controllo e di comunicazione. D’altra parte, l’aleatorietà e non programmabilità della produzione energetica, caratteristica intrinseca della fonte solare, pone certamente di fronte a problematiche che devono essere adeguatamente affrontate e gestite nell’ambito dei nuovi paradigmi energetici.

1.2 La gestione del sistema combinato fotovoltaico-accumulo

La distribuzione capillare di un significativo e crescente numero di impianti di generazione da fonte rinnovabile, se da un lato sta contribuendo positivamente al processo di decarbonizzazione del sistema energetico, dall’altro sta determinando l’insorgere di problematiche di “power quality”, quali, ad esempio, le inversioni dei flussi di energia, fenomeni di instabilità di rete, etc.

Per far fronte, in parte, alle criticità legate ai fenomeni citati, ci si può avvalere, nell’immediato, dei sistemi di accumulo dell’energia elettrica che, mediante opportune strategie di gestione e controllo, possono opportunamente attivarsi. L’azione di questi sistemi può essere sistematica, per azioni programmate, o tempestiva, in caso di emergenze, per la gestione dei flussi energetici e la riduzione di potenziali congestioni. In quest’ambito, la piattaforma di progettazione convertitori “Pi.Con-RET” intende fornire all’utente strumenti utili per l’integrazione delle tecnologie fotovoltaiche in microreti energetiche di tipo residenziale, che attuano modelli di gestione basati sull’impiego di sistemi di accumulo di ultima generazione, quali i supercapacitori e i sistemi tandem batteria-supercapacitore.

La presenza di convertitori MPPT nelle architetture considerate conferisce flessibilità funzionale alla microrete elettrica, mediante l’attuazione di strategie di controllo del sistema combinato “generazione fotovoltaica - consumo - accumulo elettrico”.

L’interfaccia grafica e le funzioni di visualizzazione e reportistica delle soluzioni progettuali individuate dalla piattaforma “Pi.Con-RET”, consentono una rapida visualizzazione delle principali grandezze caratteristiche della microrete energetica e dei dispositivi impiegati.

La struttura del software sviluppato assicura, inoltre, un’elevata fruibilità dei contenuti a supporto dell’attività del progettista.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

L'attività di ricerca relativa al PAR 2018 è stata organizzata in due fasi, di seguito, brevemente descritte.

Prima fase: descrizione dei diversi sistemi di accumulo di energia elettrica. Sono stati considerati sistemi elettrostatici, meccanici, elettrochimici ed elettromagnetici. Particolare attenzione è stata riservata ai dispositivi di accumulo elettrostatico del tipo supercapacitori e ultracapacitori e ai sistemi di accumulo elettrochimico con le batterie a ioni di litio.

Seconda fase: introduzione dei sistemi di accumulo dell'energia elettrica nella piattaforma Picon-RET sviluppata. Alla sezione dedicata alle batterie, ne viene aggiunta una nuova dedicata ai sistemi di accumulo di tipo elettrostatico. In questo modo l'utente progettista può progettare e analizzare sistemi di gestione congiunta fotovoltaico-accumulo ibrido. I risultati ottenuti in un caso studio, analizzato mediante la piattaforma, sono mostrati nel seguito e sono scaricabili e stampabili mediante le apposite funzioni implementate nel software.

3 Sistemi di accumulo

Gli scenari energetici di ultima generazione si corredano di sistemi e/o dispositivi che consentono l'accumulo di energia elettrica. In particolare, l'immagazzinamento dell'energia elettrica consente la fruizione e la gestione dei flussi energetici in base a specifiche esigenze e criticità.

Il punto di forza su cui si fonda la progressiva diffusione e applicazione dei sistemi di accumulo dell'energia elettrica consiste nella flessibilità che la loro presenza conferisce ai contesti energetici di attuale interesse. In un panorama costellato da tanti piccoli produttori di energia da fonte rinnovabile, in particolare solare fotovoltaica, la possibilità di immagazzinare energia e l'opportunità di utilizzarla per far fronte alle esigenze tecnico/economiche e alle richieste del carico rappresentano un punto chiave per l'incremento della flessibilità e dell'efficienza del sistema.

Se si considera che il 40% dei consumi elettrici nazionali deriva da utenze e consumi di tipo domestico, aumentare il rendimento di tali "utenze" può certamente contribuire a fronteggiare alcune delle criticità dell'attuale rete elettrica. In letteratura, numerosi sono i manoscritti dedicati ai sistemi di accumulo. Essi possono essere classificati nelle seguenti categorie secondo le tecnologie utilizzate:

- accumulo elettrochimico (batterie al piombo, litio, ecc.);
- accumulo di tipo meccanico (accumulo ad aria compressa, volani meccanici, pompaggio di acqua);
- accumulo di tipo elettrostatico (condensatori, supercapacitori, ultracapacitori);
- accumulo di tipo elettromagnetico (Superconductive Magnetic Energy Storage).

L'attenzione è stata, in questo progetto, focalizzata sull'accumulo elettrochimico e su quello elettrostatico, utilizzati anche in configurazione tandem ai fini dell'integrazione delle tecnologie fotovoltaiche in contesti energetici di tipo residenziale.

3.1 Tecnologie e sistemi di accumulo elettrostatico

Negli ultimi anni notevole interesse hanno suscitato i sistemi di accumulo elettrostatico con dispositivi di ultima generazione che presentano prestazioni e caratteristiche "ibride" rispetto a quelle dei tradizionali condensatori e le batterie. Si tratta di supercondensatori o ultracondensatori[2] realizzati mediante una struttura costituita da due elettrodi e una soluzione elettrolitica interposta tra essi.



Figura 1. Supercapacitori commerciali

La carica viene disposta all'interfaccia elettrodo/elettrolita coinvolgendo, solo in maniera secondaria, processi di ossido-riduzione.

Quando si applica una tensione ai due elettrodi, ai due lati delle superfici d'interfaccia solido-liquido di ciascun elettrodo si produce un accumulo di cariche elettrostatiche di segno opposto. Tra le due distribuzioni superficiali di carica viene interposta una pellicola di elettrolita di spessore pari alle dimensioni molecolari. I due strati di cariche di segno opposto affacciati a distanza molecolare sono indicati come "distribuzione a doppio strato". In particolare, lo spessore microscopico dello strato molecolare che si interpone permette di ottenere, con un elettrodo a superficie liscia, una capacità specifica di $20-50\mu\text{F}/\text{cm}^2$. Il campo elettrico nella regione di separazione è molto elevato. Bisogna, inoltre, tener presente che la capacità può essere ulteriormente accresciuta incrementando la superficie esterna degli elettrodi. La scelta dei materiali da utilizzare per la realizzazione degli elettrodi e dell'elettrolita rappresenta un aspetto cruciale per il raggiungimento di elevate prestazioni.

Gli elettrodi più utilizzati sono quelli a base di carbone, caratterizzati da basso costo, elevata area superficiale, ampia disponibilità ed elevata polarizzabilità. Essi sono realizzati mediante un processo tecnologico produttivo ormai consolidato. Gli elettrodi di carbonio si possono suddividere in due tipi, quelli a base di carboni attivi e quelli a base di carboni nanostrutturati.

I più comuni e commercializzati sono quelli a base di carbone attivo, relativamente economici e con elevate aree superficiali. Gli elettrodi a base di carbone nanostrutturato sono caratterizzati da una maggiore porosità con pori di dimensioni fino a 2nm, ma sono più costosi e con capacità che vanno da pochi Farad fino a migliaia di Farad per cella.

In alternativa, possono essere impiegati ossidi metallici o polimeri conduttori. Gli ossidi metallici sono caratterizzati da bassa resistività ed elevata capacità specifica. Lo svantaggio degli elettrodi a base di ossidi metallici sono gli elevati costi di produzione e i modesti valori della tensione nominale della cella (1V).

I polimeri accumulano o rilasciano carica elettrica con reazioni di ossidoriduzione. Nella reazione di ossidazione gli ioni sono trasferiti nella matrice polimerica, invece nella reazione di riduzione gli ioni sono rilasciati nella soluzione. Con i polimeri conduttori l'accumulo di carica avviene nell'intero volume dell'elettrodo e non solo sulla superficie come per il carbonio. Questa caratteristica consente di raggiungere elevati valori di capacità specifica. Una criticità dell'utilizzo di elettrodi in polimeri conduttori è rappresentata dalla contrazione e la dilatazione del polimero durante le operazioni di carica-scarica. Tali operazioni possono comportare un deterioramento strutturale.

Per quanto concerne l'elettrolita del supercapacitore, due sono le tipologie utilizzabili: gli elettroliti organici e quelli acquosi.

L'elettrolita organico è il più diffuso, in particolare tra i dispositivi commerciali, grazie al suo elevato potere di dissociazione. Gli elettroliti organici, pur presentando capacità specifiche minori, permettono di funzionare con tensioni superiori; le tensioni normali di esercizio sono tipicamente di 2,5-3 V per singolo elemento. Valori di tensione più elevati (circa 3,5 V) si possono raggiungere adottando particolari procedure di purificazione dell'elettrolita e applicando speciali film protettivi, che riducono la corrosione degli elettrodi. I supercapacitori con elettrolita acquoso sono caratterizzati da una capacità specifica maggiore e da una minore resistenza equivalente serie. Essi hanno un costo relativamente contenuto. Hanno però lo svantaggio di sopportare tensioni di cella più basse, intorno a 1 V, con una riduzione dell'energia immagazzinabile. Sono in generale meno diffusi di quelli con elettrolita organico. Gli elettroliti acquosi più utilizzati sono l'acido solforico e l'idrossido di potassio.

La maggior parte dei supercapacitori disponibili in commercio sono realizzati mediante elettrodi a base di materiali carboniosi aventi un'area superficiale ampia ed elettroliti in soluzione acquosa. In taluni casi sono stati studiati supercapacitori "solidi"[3] realizzati mediante elettrodi solidi e un elettrolita polimerico (Figura 2).

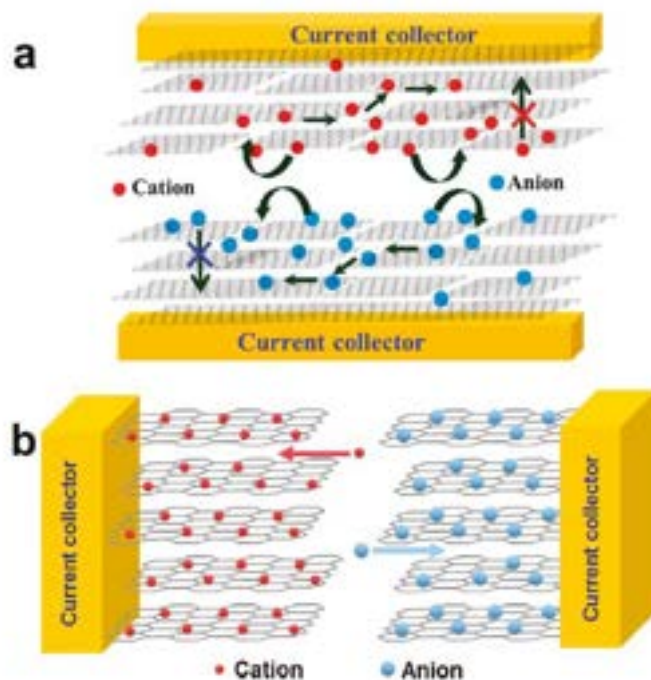


Figura 2. (a) Struttura interna; (b) Principio di funzionamento di un supercapacitore [3]

Dal punto di vista elettrico, tali accumulatori elettrochimici possono immagazzinare carica elettrica e fornire elevate potenze elettriche per brevi periodi di tempo. Essi sono caratterizzati anche dalla possibilità di milioni di cicli di carica/scarica senza decadimenti delle prestazioni. I supercapacitori possono essere, quindi, utilizzati in applicazioni che richiedono tempistiche stringenti di carica/scarica oppure essi possono essere impiegati in sistemi ibridi con le batterie o le celle a combustibile, in condizioni applicative che richiedono potenze elettriche variabili nel tempo.

Tali dispositivi possono essere accoppiati ai sistemi di produzione da fonte rinnovabile per far fronte ad eventuali fluttuazioni della potenza generata, dovuta all'aleatorietà della sorgente primaria, migliorando la qualità della produzione.

Essi sono, inoltre, impiegati in applicazioni di *Power Quality*, in maniera congiunta con altri sistemi di accumulo di energia elettrica per migliorare la qualità della fornitura, garantire la bontà della forma d'onda della tensione di alimentazione e per carichi particolarmente sensibili alle anomalie nella tensione di alimentazione.

I vantaggi dei supercapacitori rispetto ad altri sistemi di accumulo sono le dimensioni e il peso ridotti, la semplicità di gestione e di manutenzione e la mancanza di emissioni. Nonostante ciò, questi dispositivi presentano un basso livello di diffusione a causa della loro autonomia molto ridotta. Per tale ragione, sono ancora oggetto di studio da parte di vari gruppi di ricerca sia relativamente ad aspetti tecnologici connessi al dispositivo nel suo complesso, che in termini di materiali innovativi da utilizzare per gli elettrodi (ad esempio materiali nanostrutturati) e per gli elettroliti. Per ciò che riguarda l'impatto ambientale, lo smaltimento di questi dispositivi di accumulo non richiede particolari accorgimenti, fatta eccezione per i solventi contenuti negli elettroliti organici che presentano un livello di tossicità comparabile a quello dei solventi presenti nelle batterie a ioni di litio.

3.2 *Tecnologie e sistemi di accumulo elettrochimico*

Gli accumulatori elettrochimici, tecnologia estremamente diffusa, sono noti anche come batterie. Alla base del funzionamento di questa categoria di accumulatori, ci sono i processi di ossido-riduzione e di elettrolisi che danno luogo a una conversione reversibile dell'energia chimica in energia elettrica. Questi sistemi si differenziano dalle comuni pile primarie presentando una reazione di conversione dell'energia di tipo reversibile e, pertanto, sono denominati batterie secondarie.

Sono, generalmente, costituiti da una struttura composta da due semi celle separate da un setto poroso, ciascuna delle quali contiene al proprio interno un elettrodo (anodo e catodo) metallico immerso in soluzione elettrolitica (che tipicamente contiene ioni dello stesso metallo).

Attraverso le reazioni di ossido-riduzione l'anodo, ossidandosi, cede elettroni al catodo che a sua volta si riduce; il flusso di elettroni generato viene in seguito intercettato da un conduttore. La reazione di elettrolisi, viceversa, permette la conversione dell'energia elettrica generata in energia chimica.

Per tali dispositivi si possono identificare quattro principali sottocategorie, a ciascuna delle quali appartengono diverse varianti tecnologiche: batterie a circolazione di elettrolita, batterie ad alta temperatura, accumulatori al piombo/acido e batterie a ioni di litio.

Tra le diverse tecnologie le batterie a ioni di litio presentano, al momento, potenzialità in numerosi ambiti applicativi.

Batterie a ioni di litio

Le batterie a ioni di litio [5] sono tecnicamente mature e, pertanto, sono utilizzate in molte applicazioni. Sono disponibili in commercio partendo da quelle di piccola taglia (da frazioni di Ah fino alla decina di Ah) utilizzate per l'alimentazione di piccoli elettrodomestici portatili (telefoni cellulari, cordless, laptop, ecc) a quelle di taglia maggiore impiegate anche per l'accumulo di energia elettrica da fonte energetica di tipo intermittente, come quella fotovoltaica.

Nonostante siano diverse le tipologie di batterie a ioni di litio, la struttura che le caratterizza è comune. Il catodo viene realizzato mediante un ossido litiato di un metallo di transizione (ossido di cobalto, fosfato di ferro, ecc.) con una struttura a strati o a tunnel dove gli ioni litio possono essere inseriti ed estratti facilmente, l'anodo risulta, invece, costituito da grafite.

Un elettrolita liquido o polimerico, che permette la conduzione degli ioni litio, agisce da collegamento tra l'elettrodo positivo e quello negativo, che risultano tra loro separati da un opportuno strato isolante elettronico costituito di solito da poliolefina.

Le reazioni elettrochimiche variano secondo le diverse tipologie di cella.

Le batterie al litio devono essere trattate con molta cautela giacché caratterizzate da elevata densità di energia. E' importante tener presente che stress elettrici, meccanici e termici possono determinare processi, come ad esempio la fuga termica, che danneggiano la cella e che, nel caso peggiore, possono determinare anche la gassificazione e il rilascio di vapori infiammabili del solvente presente nell'elettrolita.

Per far fronte a simili criticità, tali batterie sono equipaggiate con un apparato di controllo elettronico. Il Battery Management System (BMS) gestisce le grandezze di cella quali tensione, corrente, temperatura. Il BMS, inoltre, può anche regolare la carica e intervenire in caso di condizioni di funzionamento critiche e/o anomale.



Figura 3. Batterie ioni di litio commerciali

Le celle a ioni di litio hanno una densità di energia molto elevata (circa 270 - 380 Wh/l) e anche la potenza specifica può arrivare a valori di picco di 1800 W/kg. Il rendimento energetico è molto elevato con valori fino al 95%, dipendentemente dalle condizioni operative; il numero di cicli di carica/scarica che possono tollerare è pari a un migliaio.

Attualmente l'attività di ricerca sugli accumulatori al litio è concentrata sullo sviluppo di nuovi materiali di cella e di batterie di taglia maggiore (decine di kWh), per diversi impieghi, in particolare nella trazione elettrica.

Tali batterie possono essere utilizzate per l'immagazzinamento di energia elettrica nei sistemi di generazione da fonte rinnovabile di tipo intermittente e, in generale, nei casi in cui sia necessario ridurre gli spazi, dal momento che hanno una densità di energia e di potenza molto elevate.

Avendo una densità di potenza molto alta e una vita attesa lunga, tali sistemi di accumulo possono essere impiegati in applicazioni di Power Quality. Altri settori di impiego possono essere le telecomunicazioni e gli UPS.

4 Picon-RET e i sistemi di accumulo elettrostatico

Nella piattaforma di progettazione sviluppata è stata implementata un'apposita sezione per consentire all'utente-progettista di avvalersi anche di tecnologie di accumulo elettrostatico nella progettazione delle configurazioni energetiche di interesse. Nella versione della piattaforma implementata nel PAR 2017 era già presente una sezione dedicata all'accumulo di tipo elettrochimico. In dettaglio, come mostrato in Figura 4, lo scenario AC si correda di una nuova possibile configurazione denominata "FV-SC-BESS".

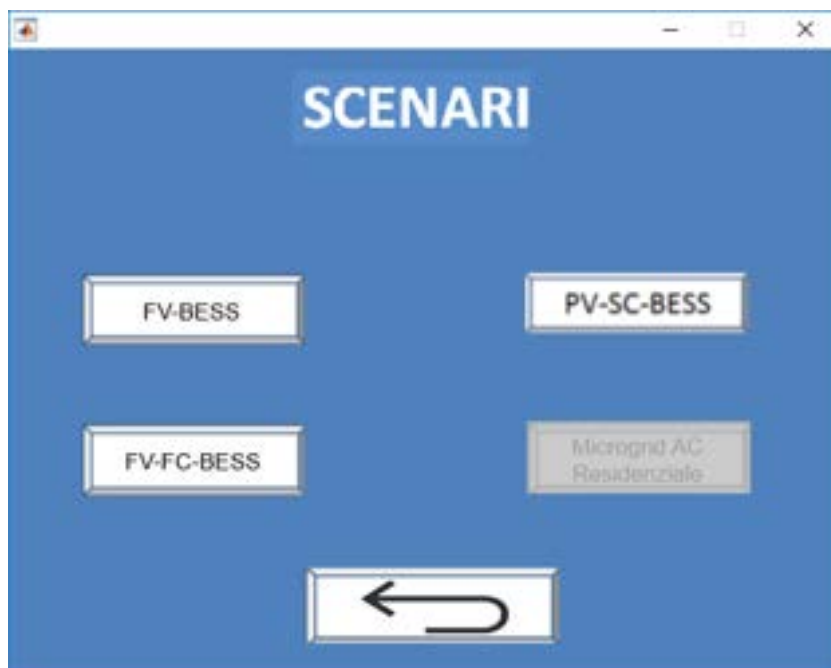


Figura 4. Nuova interfaccia dello Scenario AC

La configurazione che si intende progettare in questo caso viene schematicamente rappresentata in Figura 5 ed è caratterizzata da un impianto di generazione fotovoltaica ed un sistema di accumulo ibrido costituito sia da una batteria, sia da uno o più supercapacitori. I carichi sono di tipo DC e possono essere alimentati, dal sistema fotovoltaico o dal sistema ibrido[4] di accumulo costituito dalla batteria e dal supercapacitore.

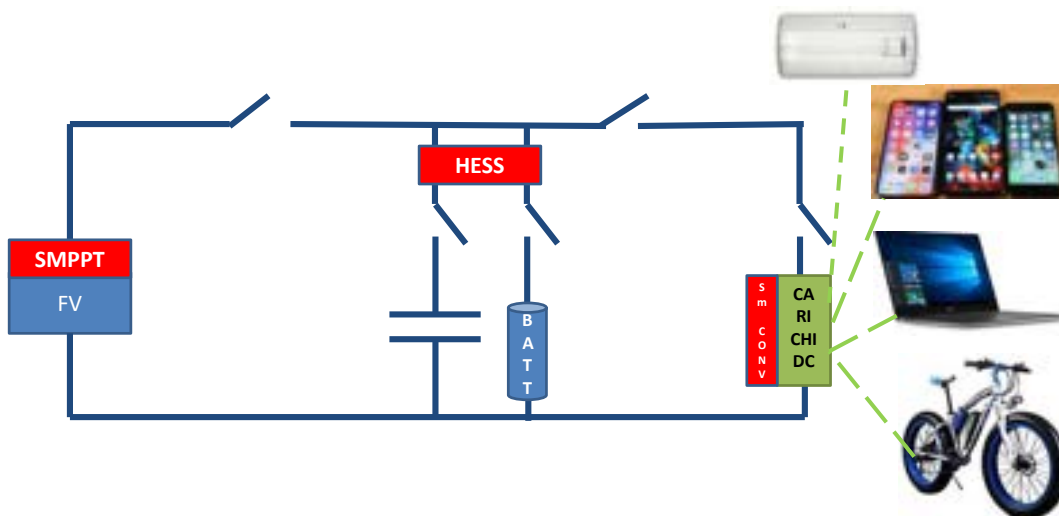


Figura 5. Schema del contesto energetico "FV-SC-BESS"

Analogamente a quanto mostrato nei documenti e nella reportistica di progetto del PAR 2017, il software chiede di caricare e inserire i dati relativi al tipo, alla taglia di generatore, batteria e supercapacitore ed il profilo di carico delle utenze considerate.

In particolare, in questa sezione del software si intende proporre all'utente progettista una nuova configurazione energetica adottabile. Come mostrato in Figura 6, essa prevede la divisione dell'originaria rete elettrica residenziale in due distinte sottoreti, una per carichi di tipo AC e l'altra da asservire a carichi unicamente di tipo DC al fine di favorire l'impiego delle tecnologie fotovoltaiche in contesti di "autoproduzione DC-autoconsumo DC" di energia elettrica.

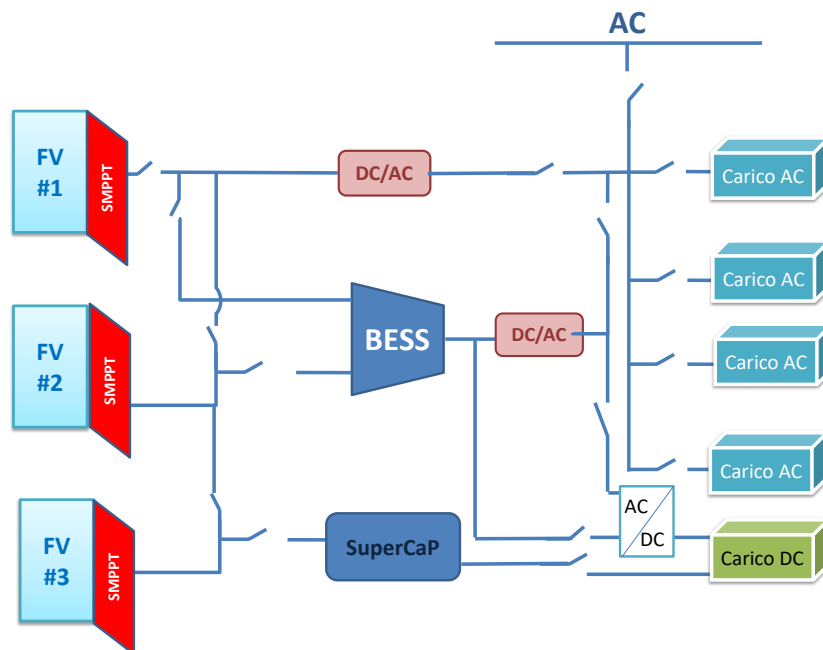


Figura 6. Micro-rete costituita da due sotto-reti interne

Negli ultimi anni si sta, infatti, assistendo all'aumentare del numero di carichi DC presenti all'interno delle nostre abitazioni e quotidianamente utilizzati e ricaricati. Si pensi all'ingente numero di dispositivi portatili che ognuno possiede, smartphone, computer portatili, tablet e kindle fanno ormai parte del nostro quotidiano. A ciò bisogna aggiungere i recenti sistemi per la pulizia personale e della casa che sono di tipo wireless e dotati, quindi, di una batteria da ricaricare nonché i veicoli elettrici per il trasporto delle persone (bici elettriche, scooter elettrici e auto elettriche) ed i sistemi di illuminazione. Riuscire a utilizzare sistemi di accumulo ibrido con la presenza di supercapacitori rappresenta una soluzione promettente giacché tali dispositivi sono in grado di soddisfare le esigenze e le tempistiche di carica degli apparati di tipo "fast charge". A ciò bisogna aggiungere che la ricarica delle batterie e l'alimentazione dei carichi DC da una sorgente DC evitano le perdite legate alla conversione AC/DC migliorando le prestazioni delle micro-reti. Nel seguito di questo documento vengono brevemente descritte le operazioni ed i dati da inserire nella piattaforma Picon-RET. Come riportato in Figura 7 la micro-rete residenziale analizzata è costituita da un impianto fotovoltaico installato sul tetto di un'abitazione. Il design dell'impianto di generazione fotovoltaica potrà essere ottenuto seguendo le indicazioni riportate, in dettaglio, nei documenti di progetto relativi al PAR 2017. Il progettista deve, quindi, selezionare il tipo di modulo fotovoltaico da utilizzare, la posizione geografica, la tecnologia di dispositivi a commutazione, il profilo operativo da considerare e la tensione del bus DC cui connettere le utenze.

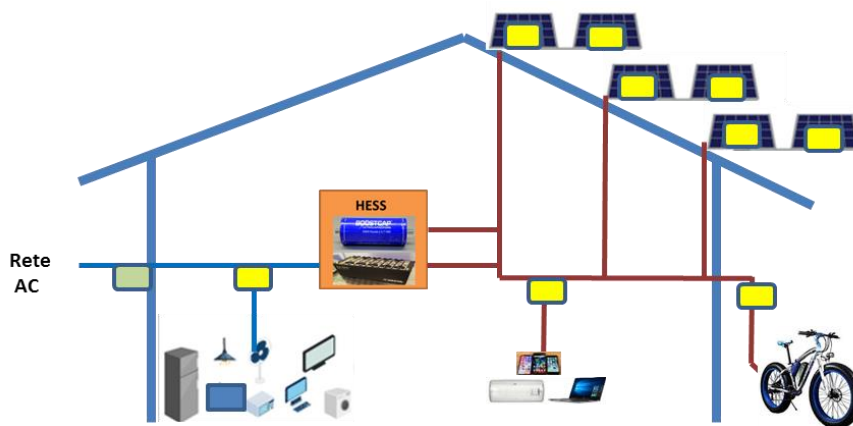


Figura 7. Microrete residenziale costituita da due sotto-reti

A ciò bisogna aggiungere la selezione e l’inserimento dei dati relativi al sistema di accumulo elettrochimico ed il profilo di carico (AC+DC). Il profilo può essere selezionato tra quelli disponibili nel software; in alternativa l’utente può crearne uno personalizzato mediante un apposito file template, reso disponibile dagli sviluppatori del software.

E’ stato anche aggiunto un tab all’interfaccia utente dedicato ai dati del supercapacitore o ultracapacitore da utilizzare (Figura 8).



Figura 8. Picon-RET: inserimento dati supercapacitore

In particolare, si richiede all’utente di inserire la capacità del supercapacitore, i limiti di tensione e corrente, la potenza disponibile e l’energia immagazzinata.

In genere, in una microrete di tipo residenziale, i carichi DC maggiormente utilizzati sono i dispositivi mobili che vengono usati durante il giorno che, di sera, al rientro a casa, vengono ricaricati. A ciò bisogna aggiungere l’assorbimento per la ricarica dei veicoli elettrici. Inoltre, soprattutto in alcune aree geografiche del Paese, si sta diffondendo l’utilizzo delle biciclette a pedalata assistita. In tal caso la possibilità di controllare congiuntamente i sistemi di accumulo a disposizione consente di utilizzare al meglio la batteria per far fronte alla ricarica della bici elettrica e, contemporaneamente, i picchi di assorbimento sono gestiti dal supercapacitore garantendo continuità, efficienza ed affidabilità del sistema di alimentazione dei carichi.

L’idea è, quindi, quella di svincolare la sottorete DC dalla rete elettrica AC e di ricaricare i carichi DC dalla batteria e gli apparati di tipo “fast charge” mediante la batteria e il supercapacitore.

L'utilizzo della batteria può anche essere destinato al soddisfacimento degli ulteriori assorbimenti energetici durante le ore in cui la generazione da fonte solare fotovoltaica risulta nulla.

La piattaforma "Picon-RET" effettua, anche in questo caso, in primis la progettazione del sistema FV⁺ (generatore fotovoltaico + convertitore SMPPT) a valle dell'identificazione del generatore fotovoltaico e delle condizioni operative da parte dell'utente progettista. L'interfaccia grafica propone per il convertitore una serie di soluzioni dominanti in grado di assicurare adeguate prestazioni tecnico-economiche. Al termine di questa fase, cliccando sull'apposito pulsante "Micro-rete" è possibile lanciare la routine per la gestione dei flussi energetici della specifica micro-rete in relazione ai profili di carico e agli apparati di accumulo di energia elettrica selezionati.

4.1 Strategia di controllo

Nel caso della micro-rete residenziale considerata, la strategia è stata implementata focalizzando l'attenzione sulla tipologia di carico presente.

Nella piattaforma Picon-RET è stata implementata un'apposita routine che permette all'utente di riservare la carica del sistema ibrido batteria-supercapacitore ai carichi di tipo DC. In dettaglio, il software calcola l'energia assorbita dai carichi DC e utilizza il sistema di accumulo elettrochimico per il soddisfacimento dei carichi AC, riservando energia sufficiente all'alimentazione dei carichi DC. In tal modo si evita la conversione AC/DC e, mediante l'opportuno dimensionamento della batteria, si garantisce l'autonomia dei carichi DC non ricaricabili per il numero di ore necessario. La presenza del supercapacitore risulta dedicata all'alimentazione e alla ricarica di apparati DC con tempistiche di ricarica veloci, in modo da assecondare le necessità degli utenti e far fronte ad eventuali picchi di potenza richiesta. Non appena il sistema di controllo dell'accumulo ibrido rileva l'assenza di assorbimenti DC e la disponibilità di carica elettrica, utilizza quest'ultima per il soddisfacimento dei carichi AC nelle ore in cui la produzione fotovoltaica è assente.

Anche in questo caso, la ricarica del sistema di accumulo dell'energia elettrica viene effettuata mediante l'impianto fotovoltaico. Le strategie di controllo adottate in fase di carica e scarica della batteria e del supercapacitore sono riportate nelle seguenti figure, dove:

- P_n è la potenza nominale della batteria;
- P_{max} è la potenza massima erogata che, nei 60 minuti, non scarica totalmente l'accumulo;
- P_{min} è la potenza minima assorbita che, nei 60 minuti, non carica totalmente il BESS;
- P_{FV} è la potenza dell'impianto fotovoltaico;
- P_{BATT} è la potenza della batteria.

Il supercapacitore viene ricaricato in maniera prioritaria rispetto alla batteria giacché deve far fronte alla ricarica veloce richiesta da alcune utenze.

Come mostrato in Figura 9, fino a quando la generazione da fonte solare fotovoltaica è nulla, gli eventuali carichi di tipo AC sono alimentati dalla rete. Non appena l'impianto fotovoltaico comincia a produrre energia, questa viene utilizzata per il soddisfacimento degli assorbimenti AC, eventualmente presenti, o per la ricarica del supercapacitore e della batteria. Quest'ultima può essere ricaricata fino ad un SOC massimo del 90%. Nel momento in cui la batteria è completamente carica e non sono presenti carichi AC da alimentare, l'energia prodotta viene immessa in rete.

Nell'istante in cui gli assorbimenti DC di tipo fast charge sono collegati al bus DC, essi vengono ricaricati mediante il supercapacitore. La batteria viene utilizzata per soddisfare gli assorbimenti AC riservando la carica necessaria ai carichi DC.

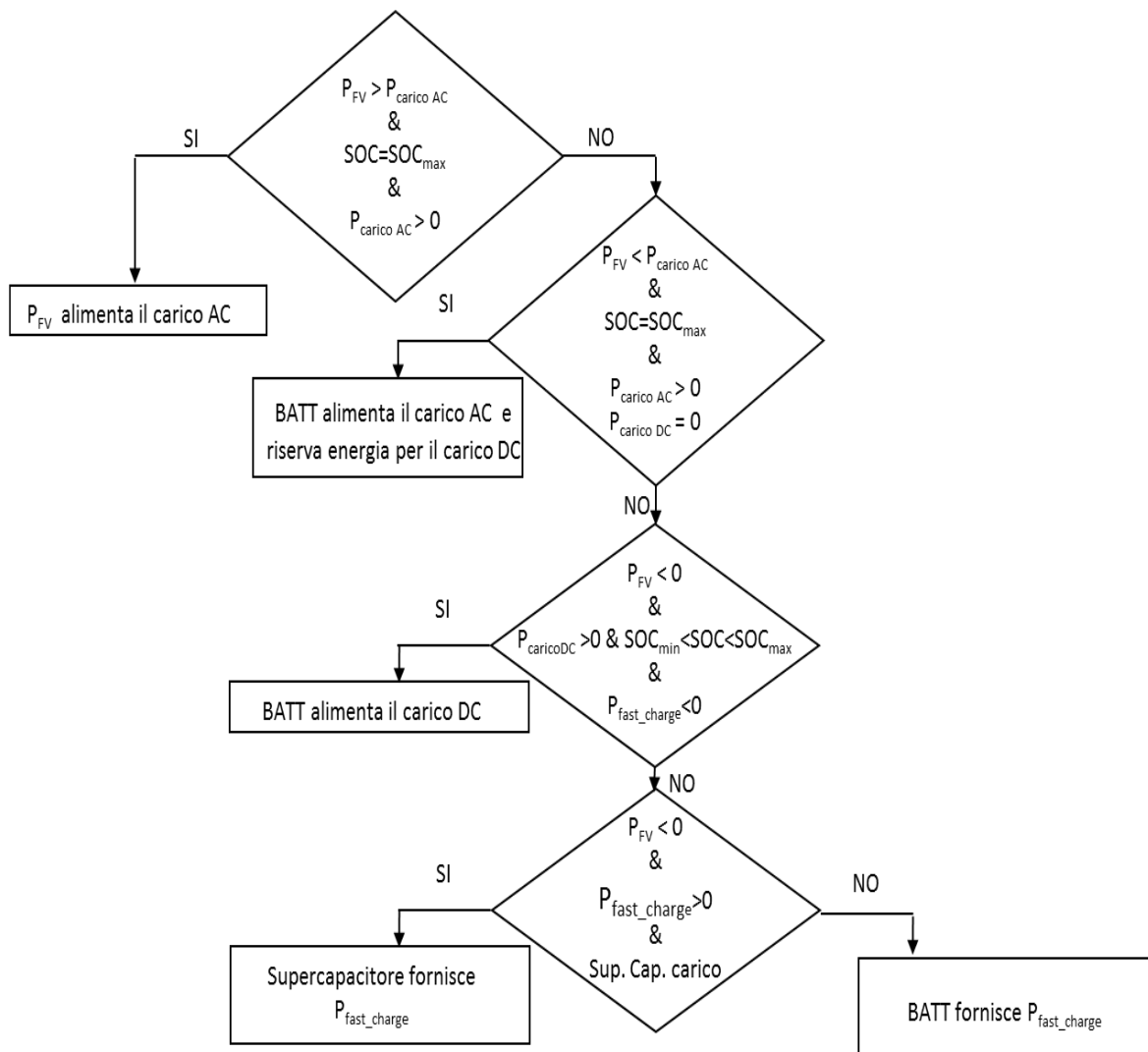


Figura 9. Strategia di controllo implementata in fase di carica del sistema di accumulo ibrido

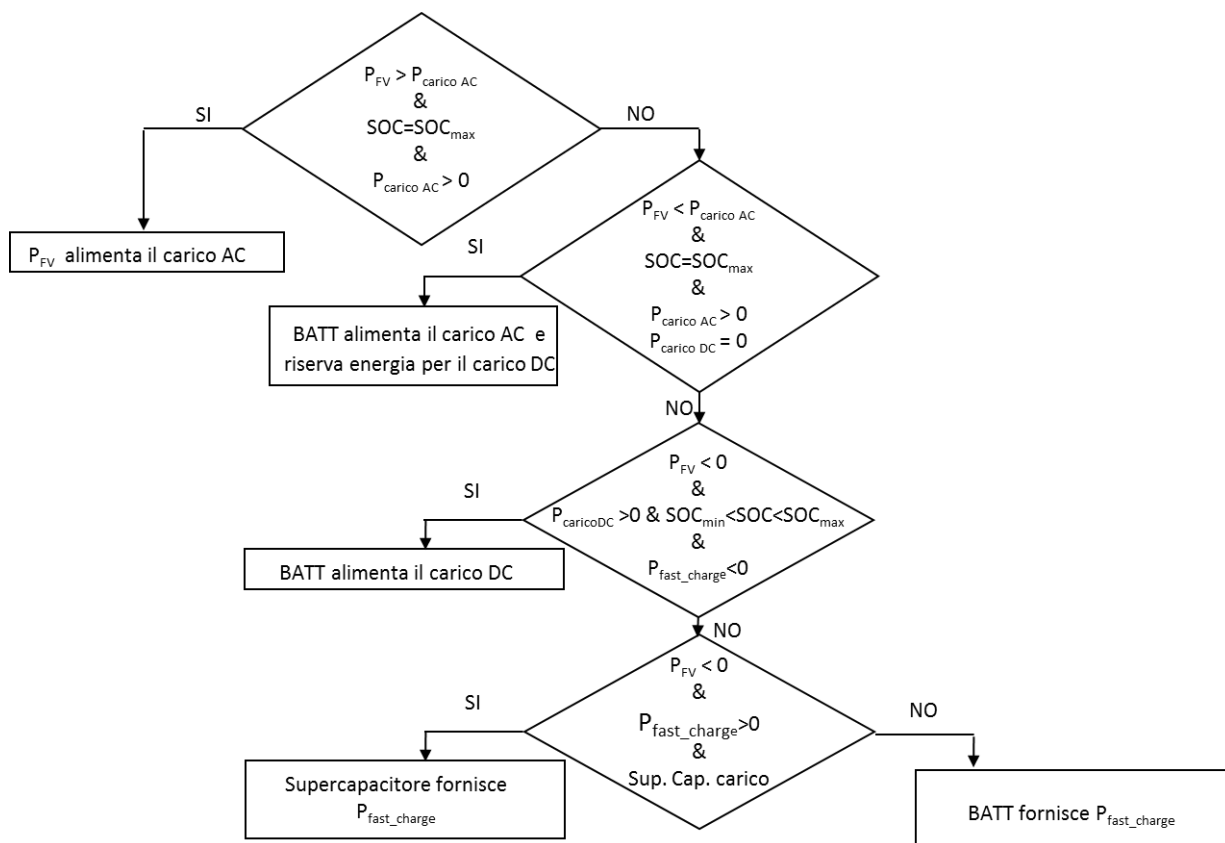


Figura 10. Strategia di controllo implementata in fase di carica del sistema di accumulo ibrido

La piattaforma “Pi.Con-RET” consente la visualizzazione delle specifiche e delle soluzioni progettuali mediante l’interfaccia grafica, ma anche mediante un report sintetico finale, il cui template viene riportato in Figura 11.

E’ bene ricordare che le diverse fasi e le linee guida per l’utilizzo del software e della progettazione sono riportate nell’apposito manuale utente fornito insieme ai file di installazione.

SCENARIO ENERGETICO							
Sup. Tetto [m ²]	Sup esterna disponibile [m ²]		Num. Nuclei familiari	Topologia Converter		Tecnologia Switch	
Inverter	Zona		Taglia Batteria[kWh]	Potenza Nominale FC [kW]		Topologia Converter f	
CONVERTER							
Soluzione SMPPT		Efficienza (%)	MTBF [10 ⁴ h]	Costo [Euro]			
Profilo_S	BOOST						
Profilo_T							
Generatore FV							
Vout[V]							
Induttore[uH]	SIGLA						
C _{in_tot} [uF]	SIGLA Cin	C _{in} [uF]	Tipo	PACK/MOUNT	Sense_in	C serie	C parallel
			ELETTROLITICI	TH			
C _{out} [uF]	SIGLA Cout	C _{out} [uF]	Tipo	PACK/MOUNT	Sense_o	C serie	C par
			ELETTROLITICI	TH			
Q1	Rds	Qn					
Q2	Rds	Qg					
Q3	NO						
Q4	NO						
f _{sw} [kHz]							
SPECIFICHE SUPER CAPACITORE							
CSC [Farad]							
VSCmax [V]							
VSCmin [V]							
ISCmax [I]							
PSCmax [KW]							
ESC [KWh]							
Ora scarica[h]							
Carico [W]							
Vbus [V]							
tscarica [s]							

Figura 11. Template file di report generato dalla piattaforma

5 Caso studio e risultati

Il caso studio considerato è stato descritto precedentemente nel paragrafo 4 e nella Figura 7. Nelle seguenti figure vengono mostrati i risultati ottenuti mediante la piattaforma Picon-RET.

In particolare, in Figura 12 si può osservare che il fotovoltaico, ricaricando la batteria ed il supercapacitore, riesce a soddisfare la richiesta energetica nella maggior parte delle ore del giorno. La ricarica del supercapacitore viene effettuata, in maniera prioritaria rispetto alla ricarica della batteria, giacché ha una tempistica molto più veloce. L'energia del sistema di accumulo elettrochimico viene utilizzata per gli assorbimenti delle ore in cui il fotovoltaico è assente.

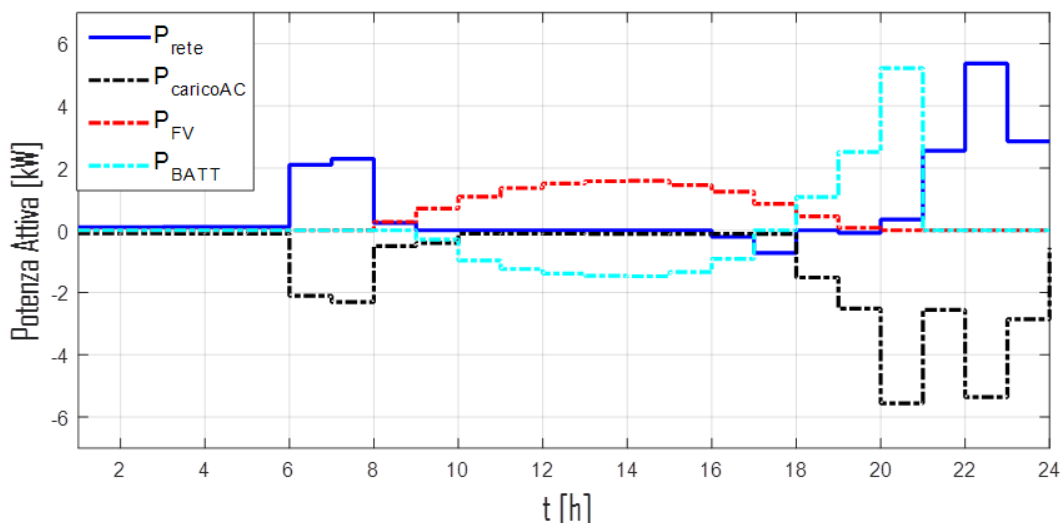


Figura 12. Grafico della strategia di controllo per la configurazione “FV-SC-BESS”

E' bene osservare in Figura 12 che, alle ore 21, la batteria non eroga più corrente ai carichi AC presenti nella rete, ma il grafico del SOC (Figura 13) mostra che essa è ancora carica. La strategia di controllo della batteria è stata implementata in maniera tale da riservare la quantità di energia necessaria a soddisfare i carichi DC. Nel caso studio considerato è stata richiesta la ricarica delle apparecchiature di tipo “fast-charge” mediante il supercapacitore alle ore 18, come riportato in Figura 14, e la ricarica della batteria di una bici elettrica a pedalata assistita alle ore 21.

In Figura 13 si può, infatti, osservare che alle 21 la batteria ricarica la bici e il suo stato si porta al 20% pari al valore minimo consentito per garantire il corretto utilizzo dell'accumulo.

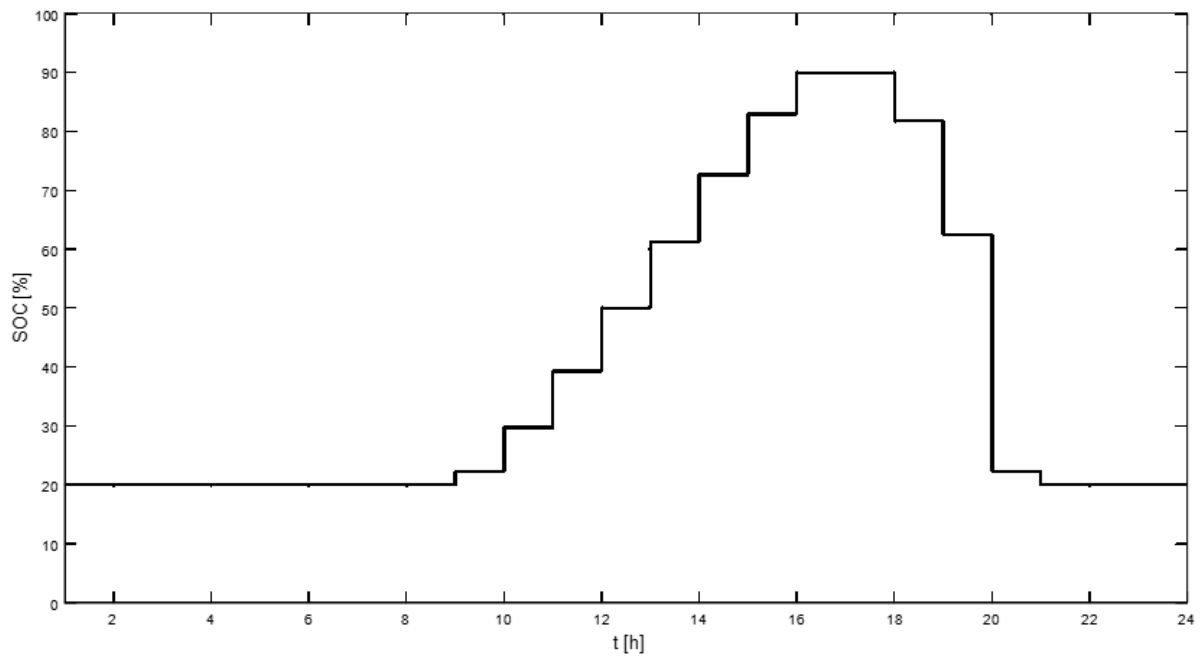


Figura 13. SOC della batteria per il caso studio considerato

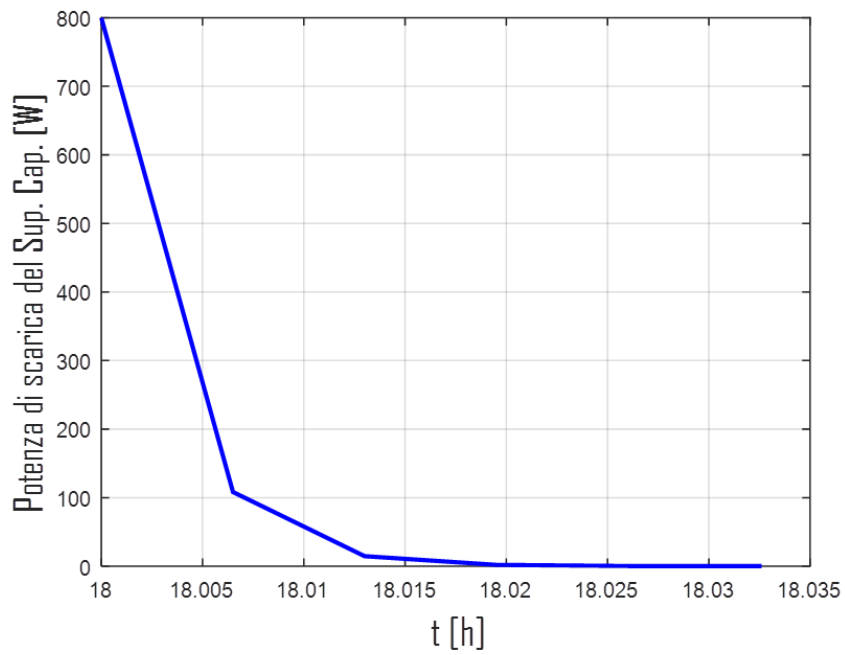


Figura 14. Potenza di scarica del supercapacitore

6 Conclusioni

Nel presente documento vengono presentate le attività svolte durante il PAR 2018 dell'Accordo di Programma MiSE-ENEA.

In questa fase finale delle attività di ricerca l'attenzione è stata concentrata sull'integrazione di nuove soluzioni combinate "fotovoltaico-accumulo" utilizzabili in micro-reti elettriche di tipo residenziale.

La piattaforma "Picon-RET", sviluppata nelle annualità precedenti, è stata dotata di una sezione dedicata ai dispositivi di accumulo elettrostatico dell'energia, ossia supercapacitori e ultracapacitori.

In dettaglio, nell'ambito dello Scenario AC del software è stata implementata una nuova configurazione energetica caratterizzata dalla suddivisione di una micro-rete residenziale in due sotto-reti asservite, rispettivamente, al fabbisogno energetico dei carichi AC e DC.

La strategia di controllo definita consente di fronteggiare le esigenze energetiche dei carichi presenti nella rete avvalendosi del sistema di accumulo ibrido batteria-supercapacitore. In particolare, la batteria viene impiegata per l'alimentazione dei carichi DC, mentre, per assecondare le tempistiche di tipo "fast-charge" di alcuni carichi di ultima generazione viene introdotto l'utilizzo di uno o più supercapacitori nella sottorete in corrente continua. In tal modo si ha un vantaggio anche in termini di efficienza della micro-rete, giacché vengono evitate le perdite di conversione dovute alla non idealità dei sistemi AC-DC.

Il controllo consente di alimentare i carichi AC presenti nella micro-rete, mediante il sistema di accumulo elettrochimico o, in alternativa, direttamente dalla rete elettrica.

Bisogna, inoltre, tener presente che, in un'ottica di sviluppi futuri, il tandem batteria - supercapacitore a disposizione potrebbe essere utilizzato, in particolari condizioni per far fronte a problemi d'instabilità di rete.

7 Riferimenti bibliografici

1. S. Bacha, D. Picault, B. Burger, I. Etxeberria-Otadui, J. Martins, "Photovoltaics in Microgrids: an overview of grid integration and energy management aspects", IEEE Industrial Electronics Magazine, Volume:9, Issue 1 (2015), pp.33-46.
2. F. Rafika, H. Gualous, R. Gallay, A. Crausaz, A. Berthon, "Frequency, thermal and voltage supercapacitor characterization and modelling", Journal of Power Sources 165, (2007),pp.928-934.
3. J. Joon Yoo, K. Balakrishnan, J. Huan, V. Meunier, B. G. Sumpste, A. Srivastava, M. Conway, A. Leela Mohana Reddy, J. Y, R. Vajtai, P. M. Ajayan, "Ultrathin Planar Graphene Supercapacitors", American Chemical Society, Volume: 11, Issue 4 (2011), pp. 1423-1427.
4. T. Yang, K. Tat Mok, S. Chong Tan, S.Y. Ron Hui "Control of Electric Springs with Coordinated Battery Management" Proceedings of 7th IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), September 2015 Canada, 2015.
5. D. Tenfen, E. C. Finardi, B. Delinchant, F. Wurtz, "Lithium-ion battery modelling for the energy management problem of microgrids", IET Generation, Transmission & Distribution, Volume: 10, Issue 3 (2016), pp.576-584.