



Sistema BACS sperimentale per il controllo dei carichi di una micrete

Introduzione

Con questo lavoro di tesi si vuole realizzare un sistema sperimentale di controllo dei carichi di una micrete, cosiddetto BACS – *Building Automation Control System*. In particolare si tratta della micrete denominata PVZEN - *PhotoVoltaic Zero Energy Network*, nata da un progetto del Politecnico di Torino. Ogni edificio disporrà di un impianto fotovoltaico con sistema di accumulo per soddisfare il fabbisogno energetico da fonte rinnovabile generata in loco. Per approfondire le conoscenze sugli impianti fotovoltaici, diviene sostanziale la misurazione dei parametri tipici e l'analisi delle prestazioni dei moduli FotoVoltaici. Quindi saranno confrontate le performance dei moduli FV rispetto ai dati forniti nel *datasheet* del costruttore, attraverso una procedura conforme alla normativa europea IEC. Grazie all'approfondimento di tesi precedenti, si è proceduto all'indagine di mercato, finalizzata a realizzare i carichi elettrici fittizi pilotati dal BACS, che emulano i consumi energetici dei quattro edifici. Si tratta principalmente di emulare lampade e faretto LED, PC e dispositivi elettronici, proiettori multimediali, impianti di ventilazione e riscaldamento/raffrescamento. Infine, è stata svolta un'analisi dei profili di produzione e di carico, grazie ai dati di alcune giornate in diverse condizioni meteorologiche, scaricati dagli inverter Leonardo della Western. Pertanto è stato possibile appurare gli scambi energetici tra gli utenti, sino a sviluppare delle conclusioni sull'autosufficienza e sull'autoconsumo della micrete PVZEN.

Misure ed analisi prestazionali dei generatori FV

Ricavare le curve I-V permette lo studio della performance di un modulo FV, perché è possibile individuare tutti i punti di funzionamento. Per eseguire questo tipo di test si impiegano il modulo fotovoltaico di prova e diversi strumenti di misurazione e acquisizione. Si tratta di un modulo fotovoltaico LG NEON R monocristallino ad alta efficienza (tecnologia All-back contact). È stato possibile verificare difetti o guasti grazie al confronto fra le curve caratteristiche I-V riportate in STC - *Standard Condition Test* (1000 W/m² e 25°C), con le caratteristiche fornite dal costruttore. Il metodo utilizzato sfrutta la carica di un carico capacitivo (10 mF), alimentato dal modulo fotovoltaico, nelle condizioni di prova (irradianza G e temperatura T_c). Finché il condensatore rimane scarico, il modulo si trova in cortocircuito; invece, appena il condensatore viene del tutto caricato, il modulo è nella condizione di circuito aperto. Grazie all'interfaccia Matlab (GUI), sono state inserite le misurazioni da cui è stato possibile tracciare le curve caratteristiche I-V in condizioni STC (Figura 1) e confrontare i dati del costruttore. Possiamo affermare che la

P_{max} ha subito una diminuzione pari al -3,7%, ovvero da 370 W a 356 W. Quindi, considerando le incertezze legate al sistema di misura per le prove, i risultati appaiono coerenti con le specifiche fornite nel *datasheet*.

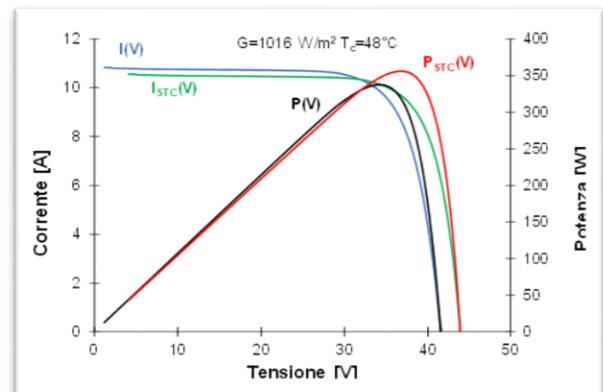


Figura 1: Curve caratteristiche in condizioni di prova e in STC.

Sistema BACS sperimentale

Per ottenere il consumo energetico, si è scelto di ragionare in termini di energia media su *time step* di 15 minuti, dall'ora di apertura (8:30) fino all'ora di chiusura dell'edificio (19:00). Le resistenze che emulano i carichi fittizi sono serpentine da 37 Ohm oppure da 47 Ohm alimentate alla tensione di rete (230 V – 50 Hz), a cui corrispondono le rispettive potenze dissipate di 1430 W e 1126 W. Per evitare di superare la potenza istantanea di 1500 W, ogni *time step* (15 minuti) sarà ulteriormente suddiviso in 3 *slot*, comportando uno sfasamento nei tempi di accensione dei carichi. Per l'utente 1, il carico luci (illuminazione) comporterebbe un consumo costante di 80 W dalle 8:30 alle 19:00. Tuttavia è stato realizzato con la resistenza di 47 ohm, corrispondenti a 1126 W e 4,9 A di assorbimento, che dovrà rimanere alimentata per i primi 64 secondi dello slot F1, di ogni *time step* (ogni 15 minuti). Il carico prese FM (computer e ventilazione) comporterebbe un consumo costante di 160 W dalle 8:30 alle 19:00. Tuttavia è stato realizzato con la resistenza di 37 ohm, corrispondenti a 1430 W e 6,21 A di assorbimento, che dovrà rimanere alimentata per i primi 101 secondi dello slot F2, di ogni *time step*. Anche per le sale studio "utenti 2 e 3" è stato necessario ragionare in termini di energia media su *time step* di 15 minuti, però rispetto all'utente 1, cambia solo il comportamento dei carichi, ma le considerazioni precedenti sulle connessioni sono le stesse. Per gli utenti 2 e 3, i tempi di accensione e spegnimento dei carichi non possono essere ciclici per tutta la giornata, perché dipendono dal numero di occupanti; pertanto sono stati impostati dei timer differenti, a seconda della fascia oraria considerata. Per procedere al calcolo delle potenze

istantanee necessarie ad emulare le pompe di calore, è stato necessario ricavare i profili medi mensili di consumo elettrico per ciascun utente, assumendo che gli utenti 2 e 3 fossero identici. Successivamente, senza stravolgere il metodo seguito per i carichi illuminazione e prese, si è deciso di proseguire con gli elementi resistivi da 37 ohm, controllati dagli interruttori smart Wi-Fi (Figura 2). Grazie ai timer ricavati (minuti) di tutti i carichi per ciascun utente (1, 2 e 3), è stato possibile configurare rapidamente e con semplicità gli interruttori smart Wi-Fi, prima di connetterli ai carichi resistivi fittizi (serpentine). In ultimo, sono avvenute le connessioni alla morsettiera del quadro AC, gestita dai commutatori a valle del PLC. In base agli scenari configurati attualmente, dal confronto con le stime ci si aspetta degli errori sui consumi compresi tra - 1% e + 5% a seconda dell'utente e del mese considerato, ad eccezione dei mesi di febbraio e settembre (rispettivamente -6% e + 14%).



Figura 2: Sistema BACS sperimentale in funzione.

Analisi della produzione FV e dei consumi dei carichi

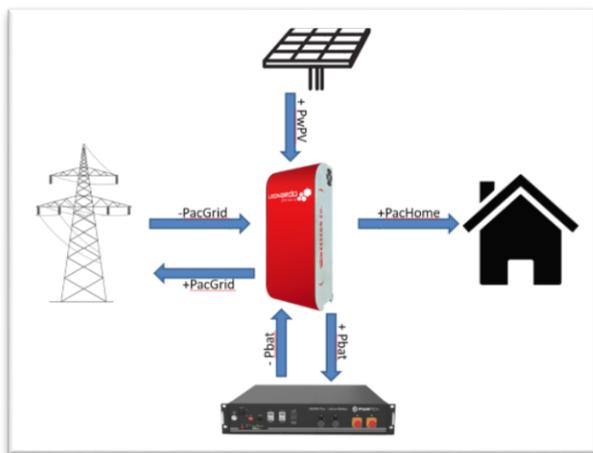


Figura 3: Scambi energetici per ciascun utente.

Al termine del lavoro realizzativo dei carichi fittizi, sono state analizzate alcune giornate di marzo 2022, ai fini dello studio del bilancio energetico (Figura 3). Si è cercato di individuare delle giornate soleggiate (10 marzo) e altre nuvolose (16 marzo), così da comprenderne gli scambi, l'autosufficienza e l'autoconsumo. Rispetto alla situazione con tre utenti indipendenti, sicuramente condividere l'energia è un beneficio per tutti: sia per chi gode di un autoconsumo maggiore (utenti 2 e 3) e che non dispone di abbastanza energia, ma soprattutto per chi può sfruttare un'autosufficienza superiore (utente 1) riuscendo a condividere istantaneamente sul posto l'energia in surplus. Nella giornata del 16 marzo (Figura 4), piuttosto nuvolosa, appare evidente il copioso utilizzo di energia dalle batterie a

inizio e fine giornata, pur rimanendo abbastanza cariche da soddisfare il carico di base notturno attorno ai 100 W.



Figura 4: Potenze del 16 marzo 2022 - Inverter 2.

Altro aspetto evidente, salvo i picchi legati agli scambi tra gli utenti, risiede nell'andamento pressoché identico degli utenti 2 e 3, riguardo ai consumi dei carichi elettrici fittizi (curva gialla - avgPacHome): si nota un consumo medio prolungato di 700 - 800 W, legato ai carichi Illuminazione, FM e PdC, con un calo di potenza dalle 12:30 alle 14:00, tipico della pausa pranzo negli edifici adibiti ad uso terziario. L'utente 1, al contrario, ha un andamento costante per tutta la giornata con un consumo di circa 400 W, dovuto anch'esso ai carichi Illuminazione, FM e PdC. Per capire gli scambi bisogna guardare avgPacGrid: se negativo, significa che l'utente sta prelevando energia dalla microrete, tuttavia, l'inverter 3 essendo il *master*, non sembra né ricevere né cedere energia a nessuno. Il mese di marzo non richiede molta energia alle pompe di calore per il riscaldamento, il che gioca a favore dell'autosufficienza della microrete.

Conclusioni

Trattando la microrete PVZEN, sono state svolte misure a campione delle prestazioni dei moduli fotovoltaici: i risultati hanno evidenziato una deviazione del tutto trascurabile considerando l'incertezza del sistema di misura. Successivamente per progettare il BACS - sistema sperimentale di controllo automatico dei carichi elettrici all'interno della microrete PVZEN - l'indagine di mercato ha interessato innanzitutto il tipo di dispositivo per emulare i consumi all'interno degli edifici NZEBs, ma anche gli apparecchi interruttori di gestione e controllo delle manovre da remoto. I requisiti fondamentali nella scelta sono stati l'affidabilità in servizio continuo, e un ammontare dei costi contenuto di poche centinaia di euro. Il BACS ottenuto risulta flessibile, smart e intuitivo, sebbene sia stato già impostato per consumare sulla base della destinazione d'uso e del modello termico dell'edificio. La situazione attuale evidenzia un errore in valore assoluto inferiore al 5%, pertanto grazie alla possibilità di modificare gli scenari, sarà possibile in futuro variare i consumi. Infatti, il sistema può essere gestito in tempo reale da smartphone e PC. Nell'ultima parte del lavoro è stata sviluppata l'analisi dei dati di alcune giornate di marzo, estrapolati dal *Data Logger* dell'inverter Leonardo Western, per valutare autosufficienza e autoconsumo, grazie proprio alla presenza del BACS, prima inesistente. In generale, grazie all'accumulo nelle batterie e agli scambi interni alla microrete Off grid, sono stati raggiunti livelli di autosufficienza e autoconsumo del 100%.