

Integrazione elettrica di Sistemi di Accumulo Centralizzati nelle Micro-reti Fotovoltaiche: un'applicazione nel Progetto PVZEN

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettrica

Candidato: Luca Franzolin (s312925@studenti.polito.it), Relatore: Paolo Di Leo (paolo.dileo@polito.it), Correlatore: Alessandro Ciocia (alessandro.ciocia@polito.it), Filippo Spertino (filippo.spertino@polito.it)

Marzo 2025, Anno Accademico 2024/2025

INTRODUZIONE

Dalla necessità di studiare le comunità energetiche nasce il progetto PVZEN (*PhotoVoltaic Zero Energy Network*). Il progetto PVZEN, curato dai dipartimenti DENERG (Energia) e DET (Elettronica e Telecomunicazioni) del Politecnico di Torino, è un laboratorio sperimentale atto a simulare una comunità energetica a generazione fotovoltaica. Il laboratorio è composto da un parco fotovoltaico e un locale coperto adibito alla collocazione dei quadri elettrici, inverter, BESS e altra apparecchiatura. A cavallo tra la fine del 2024 e l'inizio del 2025 sono stati effettuati dei lavori di ampliamento dell'impianto di laboratorio. Questa tesi ha lo scopo di illustrare tutti gli aspetti che hanno coinvolto i lavori di ampliamento, dalla fase progettuale alla fase esecutiva. Infine è presente una breve trattazione relativa alla misura di isolamento di moduli fotovoltaici.

SVILUPPO DELLA TESI

L'elaborato è strutturato come segue:

- descrizione dell'impianto di laboratorio pre-ampliamento;
- descrizione delle scelte progettuali relative all'ampliamento;
- descrizione della fase esecutiva dei lavori di ampliamento;
- descrizione delle prescrizioni antincendio da adottare e dei relativi provvedimenti attuati al laboratorio;
- misura di isolamento su moduli fotovoltaici.

1. Descrizione dell'impianto di laboratorio pre-ampliamento

Il laboratorio PVZEN è costituito da 3 utenze fittizie che simulano 3 impianti domestici, in grado di generare, accumulare e consumare energia. Queste formano una micro-rete connessa alla rete. Il laboratorio è strutturato secondo la logica *hardware in the loop* che consiste nel simulare l'oggetto di studio (una comunità energetica) in maniera ibrida tra hardware e software. In particolare, al laboratorio PVZEN alcuni dei carichi delle utenze sono controllati virtualmente e simulati mediante emulatore. Il resto della componentistica, tra cui generatori fotovoltaici, inverter e BESS, è reale. Nella figura 1 è possibile apprendere approssimativamente la struttura dell'impianto di laboratorio:

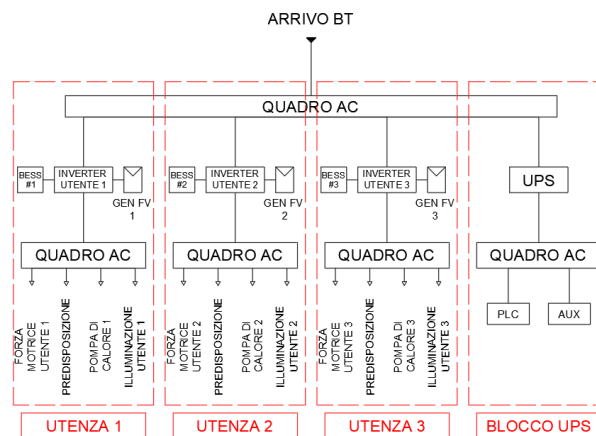


Figura 1: schema dell'impianto prima dell'ampliamento

2. Descrizione delle scelte progettuali relative all'ampliamento

Il progetto di ampliamento si compone di diversi aspetti suddivisi tra lato AC e lato DC. In questa tesi è trattata la parte AC. Di seguito si riportano i provvedimenti previsti nei lavori trattati nell'elaborato.

- rifacimento del quadro AC di laboratorio
È stato acquistato un nuovo quadro (2100 x 1000 x 600 mm) ed è stato smantellato e riallestito il quadro precedentemente utilizzato in laboratorio (1600 x 800 x 400 mm). In fase progettuale si è optato per destinare il quadro nuovo alla maggior parte delle apparecchiature rinominandolo "Quadro Principale". Il quadro di dimensioni inferiori si è voluto adibirlo al blocco UPS e dunque a tutti i carichi privilegiati oltre che alla strumentazione di misura: Quest'ultimo è stato rinominato come "Quadro UPS". Il progetto del fronte quadri è riportato in figura 2.

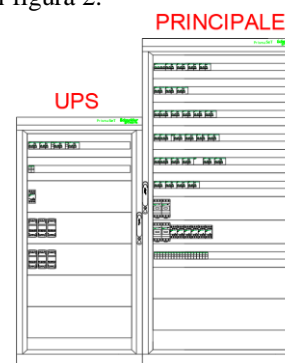


Figura 2: progetto dei fronte quadri

- Installazione di nuova strumentazione di misura

Viene predisposta una nuova strumentazione marca ASITA, in grado di effettuare misure di corrente e tensione (Wattmetro) oltre che a misure di *power*

quality. Lo strumento nasce per effettuare misure trifase ma al laboratorio si effettuano misure monofase in tre punti distinti. Tale modalità è consentita.

- Introduzione di un nuovo blocco detto “blocco centralizzato”

Questa operazione consiste nell'integrazione nell'impianto di un nuovo inverter, BESS e generatore fotovoltaico. Tale blocco è in grado di accumulare e gestire potenze maggiori rispetto alle utenze. Il suo compito è di simulare un sistema centralizzato a servizio degli utenti della micro-rete, migliorando l'efficienza e la autonomia della micro-rete stessa. La sua posizione rispetto all'impianto può essere variata secondo due configurazioni: in cascata (figura 3) quando è interposto tra la rete e le utenze, in parallelo quando è disposto parallelamente alle utenze.

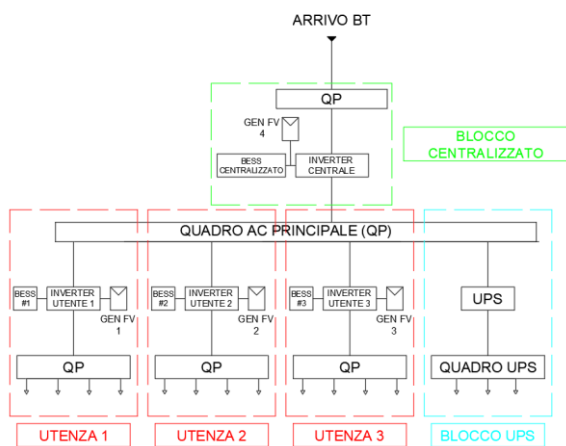


Figura 3: Schema a blocchi in conf. cascata

3. Descrizione della fase esecutiva dei lavori

La fase esecutiva dei lavori è stata divisa in due parti: la prima (descritta in questo elaborato) è relativa al lato AC ed è stata attuata a cavallo tra il 2024 e il 2025; la seconda è relativa alla parte DC ed è stata programmata per il primo semestre del 2025.

Nella prima fase di lavori vi sono state alcune variazioni rispetto alla fase progettuale. La principale modifica è stata adoperata nella disposizione delle apparecchiature e nella destinazione d'uso nei quadri. Il “Quadro UPS” è stato convertito in “Quadro Secondario” nel quale sono state installate tutte le apparecchiature relative alle utenze. Il blocco UPS è stato spostato nel Quadro Principale mentre la strumentazione di misura è stata redistribuita tra i due quadri, in vicinanza ai rispettivi punti di misura.

4. Descrizione delle prescrizioni antincendio da adottare e dei relativi provvedimenti attuati al laboratorio

Il laboratorio PVZEN rientra tra le attività soggette al controllo dei Vigili del Fuoco e dunque va previsto un sistema antincendio a prevenzione del personale soccorritore in caso di intervento. La problematica maggiore deriva dalla molteplicità delle sorgenti di alimentazione dell'impianto ed in particolare dai

generatori fotovoltaici, i quali non sono in grado di interrompere la produzione in maniera comandata. Le indicazioni principali derivano principalmente dalle note dei Vigili del Fuoco. Queste impongono che vi sia un comando di emergenza in grado di disalimentare o sezionare tutte le sorgenti di alimentazione dell'impianto di laboratorio. In fase progettuale si è previsto:

- il sezionamento degli inverter per interrompere il circuito in corrente alternata;
- il sezionamento dei moduli fotovoltaici mediante il sistema TIGO;
- il sezionamento del blocco UPS e lo spegnimento dell'UPS stesso.

La gestione dello spegnimento o sezionamento dei sistemi di accumulo è ancora al vaglio degli studi.

Nella prima fase di lavori sono solamente stati installati i contattori in grado di sezionare gli inverter. Alla ripresa dei lavori sarà installato il resto delle apparecchiature e verrà attivato il sistema antincendio.

Infine, logiche simili di disalimentazione sono state utilizzate per creare dei sistemi automatici a favore della sicurezza o della manutenzione. In particolare, si è previsto:

- un sistema di interruzione delle linee dirette all'esterno del laboratorio nel caso di mancanza di alimentazione da rete per garantire l'assenza di tensione all'interno dell'edificio (ad esclusione del laboratorio) qualora fosse comandata per una manutenzione all'impianto elettrico;
- un sistema di disalimentazione totale dell'impianto di laboratorio in caso di emergenza o manutenzione straordinaria;
- un sistema di disalimentazione parziale dell'impianto di laboratorio nel quale rimangono attivi l'UPS e i carichi privilegiati per operare sull'impianto senza interrompere il funzionamento della strumentazione di misura.

5. Misura di isolamento su moduli fotovoltaici

A completare l'elaborato è presente la descrizione di alcune misure effettuate su moduli fotovoltaici compromessi. Questi, seppur presentando dei visibili segni di cedimento dell'isolamento, sono risultati comunque conformi sotto questo aspetto, rispettando i valori prescritti dalla norma Cei EN IEC 61215-2. In particolare, è risultato che:

$$R_{ISO} \gg \frac{40M\Omega}{S}$$

dove R_{ISO} è la resistenza di isolamento misurata, S è la superficie del modulo fotovoltaico e $40M\Omega/S$ è il valore minimo di isolamento ammesso dalla norma.

CONCLUSIONI

Le operazioni di ampliamento hanno reso il laboratorio un punto di riferimento nell'ambito della ricerca nel campo delle comunità energetiche. Inoltre, l'adeguamento alla normativa antincendio ha permesso di introdurre anche nuove tecnologie del settore, rendendo il laboratorio sicuro e all'avanguardia.