



Borsa di studio attivata ai sensi di quanto disposto dal D.M. n. 1061 del 10/08/2021

Titolo del progetto: A smart, distributed, reliable and low-cost monitoring system to support the green transition in electricity distribution grids

La borsa sarà attivata sul seguente corso di dottorato accreditato per il XXXVII ciclo:

ENGINEERING AND APPLIED SCIENCE FOR ENERGY AND INDUSTRY

Responsabile scientifico: Alberto Geri

Area per la quale si presenta la richiesta: GREEN

Numero di mensilità da svolgere in azienda: 12

Numero di mensilità da svolgere all'estero: 6 presso University Politehnica of Bucharest - Department of Power Systems - (Prof. Mihai Sanduleac)

Azienda: ASM Terni S.p.A. - Multiutility della città di Terni che possiede ed esercisce la rete elettrica di distribuzione - (Ing. Massimo Cresta)

Il Dipartimento è disponibile a cofinanziare per un importo pari a euro: 10000

Dipartimento finanziatore: DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ASTRONAUTICA, ELETTRICA ED ENERGETICA con delibera del 21/09/2021

Progetto di ricerca:

INQUADRAMENTO

Gli ambiziosi obiettivi della transizione ecologica (al 2030 ed al 2050), impongono un radicale ripensamento dei paradigmi di progettazione ed esercizio delle attuali reti elettriche di distribuzione di media (MT) e di bassa tensione (BT), che, in uno scenario così articolato e complesso, assumeranno un ruolo sempre più centrale e strategico. Nei prossimi anni, queste reti dovranno affrontare importanti sfide, tutte incentrate sulla richiesta di una maggiore flessibilità; in particolare, dovranno:

A.coniugare in modo intelligente generazione, consumo e mercato dell'energia (e.g., favorendo lo sviluppo delle Energy Community);

B.assicurare un approvvigionamento affidabile, vantaggioso e sostenibile della stessa;

C.contribuire in modo strutturale al rispetto dei vincoli di decarbonizzazione previsti;

D.garantire gli elevati standard di continuità e qualità del servizio oggi raggiunti, anche in presenza di eventi meteorologici estremi.

Questo comporterà che i gestori della reti di distribuzione (GRD) dovranno intraprendere specifiche azioni, le principali delle quali sono:

1.migliorare l'affidabilità e la sicurezza dell'approvvigionamento energetico e garantire un'elevata qualità della stesso, anche a fronte di eventi climatici estremi;

2.ottimizzare l'utilizzo delle infrastrutture e delle risorse organizzative esistenti;

3.migliorare l'efficienza della distribuzione della rete elettrica;

4.creare opportunità per aumentare il ruolo attivo del cliente nella gestione dei consumi energetici e nella generazione di energia;

5.integrare le fonti distribuite e bilanciare il sistema in termini di aumento della partecipazione della generazione distribuita e diffusa;

6.preparare soluzioni tecniche e organizzative per realizzare il bilanciamento del sistema già a livello di rete di distribuzione;

- 7.migliorare l'accuratezza della previsione della generazione da fonti distribuite;
- 8.preparare il sistema per sostenere la penetrazione su larga scala della mobilità elettrica.

MOTIVAZIONE

Le future reti di distribuzione (i.e., le smart grids) dovranno quindi essere in grado di rilevare e gestire molte più informazioni di quelle oggi disponibili, al fine di realizzare sistemi elettrici sempre più robusti ed adattativi (i.e. resilienti), attraverso l'implementazione di soluzioni tecnologiche efficaci ed economiche (i.e. sostenibili). Per continuare a garantire un'elevata qualità del servizio, tenendo conto delle sfide con cui i GRD dovranno misurarsi (punti 1-8 del § INQUADRAMENTO), si rende necessaria l'introduzione di nuovi strumenti in grado di rappresentare accuratamente lo stato attuale della rete, e di prevedere i possibili scenari a breve-medio termine. Il primo strumento che dovrà essere introdotto è un sistema di monitoraggio (SM) che restituisca un'informazione puntuale e dinamica sullo stato della rete (cfr E.DSO Publications). Poiché per ottenere questa informazione occorre arrivare a livello delle cabine secondarie, questo sistema, stante l'elevato numero delle grandezze da monitorare nel tempo (e.g., in una tipica città di provincia assommano a circa 20000), ancorché fondamentale per avviare la transizione green delle attuali reti di distribuzione verso le future smart grids, rischia di essere troppo costo, e quindi difficilmente implementabile da parte dei GRD. Da questa osservazione nasce l'idea di sviluppare un SM low-cost, scalabile e flessibile, che consenta ai GRD di avviare la transizione green delle proprie reti verso le smart grid.

OBIETTIVI

La ricerca avrà come obiettivo lo sviluppo di un SM affidabile, low-cost, e dotato di intelligenza distribuita. Questo sistema, basato su soluzioni hardware e software open, dovrà essere general purpose, modulare e scalabile, in modo tale da consentire, nelle cabine secondarie delle reti di distribuzione pubblica in MT e BT, il monitoraggio delle grandezze ambientali (e.g., temperatura, pressione, umidità, accessi in cabina, ecc.) ed elettriche (e.g., tensioni alle sbarre e correnti di linea, nonché i dati provenienti da smart meter installati presso gli utenti finali) di maggiore interesse. L'architettura del sistema adotterà gli attuali standard di IoT diffusi in altri contesti industriali, tenendo conto dei principali requisiti propri delle reti di distribuzione, i cui asset sono diffusi capillarmente sul territorio. Sarà costituito da tre sottosistemi:

- 1.le unità di interfaccia (Udl) delle le sonde, che avranno il compito di acquisire, condizionare e trasmettere i valori delle grandezza di campo rilevati dalle sonde di misura;
- 2.le unità locali di acquisizione (ULA), installate nelle cabine secondarie, che avranno il compito di acquisire i dati inviati dalle Udl, effettuare l'analisi (con tecniche basate su machines learning e IA) e trasmettere i risultati di questa analisi all'unità centrale di elaborazione;
- 3.l'unità centrale di elaborazione (UCE) avrà invece il compito di acquisire in background i dati provenienti dalle ULA, aggiornare il database storico (on cloud) delle misure di campo, gestire il front-end su dispositivi fissi e mobili, ed effettuare elaborazioni, sia in background che on-demand.

I diversi componenti del sistema verranno realizzati mediante single board computer (SBC) a basso costo (come le schede della famiglia Raspberry), e comunicheranno fra loro via Ethernet, Wi-Fi e/o 4G-5G. Il SM dovrà essere in grado di fornire in tempo reale (o quasi) lo stato della rete, sia nelle condizioni di normale esercizio che durante contingenze più o meno severe, per consentire ai GRD di assumere le decisioni più appropriate o, dopo l'intervento delle protezioni, le necessarie misure correttive, al fine di garantire la massima continuità e qualità del servizio, coerentemente con il quadro delineato dai punti 1-8 del § INQUADRAMENTO.

FASI

La ricerca si articolerà su cinque distinte fasi:

- 1.nella prima fase, della durata di 6 mesi, l'attività si svolgerà presso l'ASM di Terni S.p.A. che, attraverso la sua bussines unit Terni Distribuzione Elettrica (TDE), esercisce la rete di Terni; durante questo periodo verranno realizzati i prototipi delle Udl (qualora necessario verranno anche realizzate specifiche sonde di misura), delle ULA e dell'UCE; allo scopo verranno impiegati SBC (come le schede della famiglia Raspberry), in ambiente operativo linux ed

opportunamente assemblati per realizzare i diversi componenti del SM (e.g., per le Udl si potrebbero utilizzare le Raspberry Pi Zero, per le ULA le Raspberry Pi 400, mentre l'UCE si potrebbe realizzare con un cluster di Raspberry Pi; con le diverse unità fra loro comunicanti via Ethernet, Wi-Fi e/o 4G-5G);

2.durante i 6 mesi successivi, l'attività di ricerca si svolgerà presso il Department of Power Systems dell'Università Politecnica di Bucarest, dove verrà sviluppato il software per interfacciare, con l'ULA, gli smart meter (sviluppati presso questa università e già operativi presso alcuni utenti di ASM), per abilitare lo scambio di dati e di informazioni con questi contatori di ultima generazione;

3.nel secondo anno (12 mesi) verranno sviluppati (in linguaggio Python) e debuggati tutti gli algoritmi di acquisizione, memorizzazione, trasmissione, elaborazione (con tecniche basate anche su machines learning e IA) e visualizzazione dei dati, da installare nelle Udl (il cui software dipenderà dal tipo di sonda da cui si devono acquisire le misure), nelle ULA e nell'UCE;

4.nei primi 6 mesi del terzo anno, l'attività si svolgerà presso l'ASM di Terni S.p.A.; durante questo periodo verrà installato il dimostratore nel living lab individuato dalla Società, che dovrà coinvolgere almeno due cabine secondarie della rete di distribuzione; verranno altresì effettuati tutti i test necessari per verificare il corretto funzionamento di hardware e software; al termine di questi test, il SM verrà messo in esercizio effettivo, ed inizierà ad acquisire lo stato della rete;

5.negli ultimi 6 mesi, verranno analizzati i risultati ottenuti dal dimostratore per verificare le funzionalità operative, e per stimare costi e prestazioni di un sistema in grado di monitorare tutta la rete; contestualmente, verrà redatta la tesi di dottorato.

RISULTATI ATTESI

L'attività di ricerca è finalizzata all'implementazione di un dimostratore completo del SM, costituito da:

1.le Udl delle sonde di misura per rilevare le grandezze di campo nelle cabine secondarie della rete di distribuzione dell'ASM Terni, il cui numero dipenderà dall'estensione del living lab che metterà a disposizione la società (il numero minimo, compatibile con il dimostratore è due);

2.le ULA, installate nelle cabine secondarie facenti parte del living lab, per acquisire, elaborare e trasmettere i dati provenienti dalle Udl delle sonde di misura;

3.la UCE, installata presso il centro di controllo della rete, acquisirà in background i dati inviate dalle ULA, che saranno poi elaborati (in background o su richiesta), memorizzati (su cloud) e visualizzati (su dispositivi fissi e/o mobili); inoltre, sarà anche in grado di alimentare con continuità un digital twin, al fine di eseguire analisi near real-time per supportare la pianificazione, la progettazione e l'esercizio delle future smart grid.

Con questo dimostratore sarà possibile verificare tutte le funzionalità hardware e software del sistema e, stante la sua intrinseca scalabilità (è infatti sufficiente replicare le Udl e le ULA per ampliare la porzione di rete monitorata), sarà anche possibile prevedere costi e prestazioni di un sistema in grado di monitorare tutta la rete. L'obiettivo è quindi quello di arrivare alla dimostrazione della funzionalità del SM in un ambiente industrialmente rilevante, ovvero in una porzione di una reale rete di distribuzione in esercizio effettivo (ovvero avente TRL = 6).

Titolo del progetto (inglese): A smart, distributed, reliable and low-cost monitoring system to support the green transition in electricity distribution grids

Progetto di ricerca (inglese):

The ambitious targets of the ecological transition (with road maps to 2030 and 2050) require a radical rethink of the paradigms for designing and operating the current medium-voltage (MV) and low-voltage (LV) electricity distribution grids, which will play an increasingly central and strategic role in such a complex scenario. In the coming years, these grids will have to face major challenges, all centred on the demand for greater flexibility; in particular, they will have to:

A.intelligently combine generation, consumption and the energy market (e.g., by encouraging the development of Energy Communities);

B.ensure a reliable, profitable and sustainable supply of energy;

C. contribute in a structural manner to the fulfilment of the planned decarbonisation constraints;

D. guarantee the high standards of continuity and quality of service currently achieved, even in the presence of extreme weather events.

This will mean that distribution network operators (DSOs) will have to undertake specific actions, the main ones being:

1. improve the reliability and security of energy supply and ensure a high quality of energy itself, even during extreme weather events;
2. optimise the use of existing infrastructure and management resources;
3. improve the efficiency of electricity grid distribution;
4. create opportunities to increase the active role of the customer in the management of energy consumption and generation;
5. integrate distributed sources and balance the system in terms of increasing the participation of distributed and dispersed generation;
6. prepare technical and management solutions to achieve system balancing already at the distribution grid level;
7. improve the accuracy of forecasting generation from distributed sources;
8. prepare the system to support the large-scale penetration of electric mobility.

MOTIVATION

Future distribution grids (i.e., smart grids) will therefore need to be able to capture and manage much more information than is available today, in order to build increasingly robust and adaptive (i.e., resilient) electricity systems, through the implementation of effective and economic (i.e., sustainable) technological solutions. In order to continue to guarantee a high quality of service, taking into account the challenges that the DSOs will have to face (points 1-8 of the FRAMEWORK section), it is necessary to introduce new tools that are able to accurately represent the current state of the grid, and to foresee possible short to medium term scenarios. The first tool that will have to be introduced is a monitoring system (MS) that provides precise and dynamic information on the state of the network (see E.DSO Publications). Since to obtain this information it is necessary to reach the level of the secondary substations, this system, given the high number of sites to be monitored over time (e.g., in a typical Italian provincial city they amount to about 20000), although fundamental to start the green transition of the current distribution networks towards the future smart grids, risks being too costly, and therefore difficult to implement by DSOs. This observation led to the idea of developing a low-cost, scalable and flexible MS that would enable DSOs to initiate the green transition of their existing grids towards smart grids.

AIMS

The research will aim at developing a reliable, low-cost MS with distributed intelligence. This system, based on open hardware and software solutions, will have to be general purpose, modular and scalable, in order to allow, in the secondary substations of the MV and LV public distribution grids, the monitoring of environmental (e.g., temperature, pressure, humidity, substation access, etc.) and electrical (e.g., busbar voltages and line currents, as well as data from smart meters installed at the end users' premises) quantities of interest. The architecture of the system will adopt the current IoT standards used in other industrial contexts, taking into account the main requirements of distribution networks, whose assets are widespread throughout the territory. It will consist of three subsystems:

1. the probe interface units (PIUs), which will have the task of acquiring, conditioning and transmitting the values of the field quantities detected by the measurement of probes;
2. the local acquisition units (LAUs), installed in the secondary substations, which will have the task of acquiring the data sent by the PIUs, carrying out their analysis (using techniques based on machine learning and AI) and transmitting the results of this analysis to the central processing unit;
3. the central elaboration unit (CEU) will instead have the task of acquiring data from the LAUs in the background, updating the historical database (on cloud) of field measurements, managing the front-end on fixed and mobile devices, and carrying out processing, both in the background and on-demand.

The different components of the system will be made by means of low-cost single board computers (SBCs) (such as

Raspberry family boards), communicating with each other via Ethernet, Wi-Fi and/or 4G-5G. The MS shall be able to provide in real time (or near real time) the status of the network, both under normal operating conditions and during more or less severe contingencies, in order to allow DSOs to take the most appropriate decisions or, after the intervention of the protections, the necessary corrective measures, in order to guarantee the maximum continuity and quality of the service, in accordance with the actions described in points 1-8 of the FRAMEWORK section.

STEPS

The research will be divided into five distinct phases:

- 1.during the first 6 months, the activity will take place at ASM Terni S.p.A. which, through its business unit Terni Distribuzione Elettrica (TDE), operates the Terni distribution grid; during this period the prototypes of the PIUs (if necessary, specific measurement probes will also be made), of the LAUs and of the CEU will be made; for this purpose SBCs will be used (such as the boards of the Raspberry family), in the Linux operating environment and suitably assembled to carry out the various components of the MS (e.g., Raspberry Pi Zero could be used for the PIUs, Raspberry Pi 400 for the LAUs, while the CEU could be realised with a cluster of Raspberry Pi; with the different units communicating with each other via Ethernet, Wi-Fi and/or 4G-5G);
- 2.during the following 6 months, the research activity will be carried out at the Department of Power Systems of the Polytechnic University of Bucharest, where the software will be developed to interface, with the LAU, the smart meters (developed at this university and already operational at some ASM users), to enable the exchange of data and information with these last generation meters;
- 3.during the second year (12 months) all the algorithms for data acquisition, storage, transmission, processing (with techniques based also on machine learning and AI) and display will be developed (in Python language) and debugged, to be installed in the PIUs (whose software will depend on the type of probe from which the measurements are to be acquired), in the LAUs and in the CEU;
- 4.during the first 6 months of the third year, the activity will be carried out at ASM Terni S.p.A.; during this period, the demonstrator will be installed in the living lab identified by the Company, which will have to involve at least two secondary substations of the distribution grids; all the necessary tests will also be carried out to verify the correct working of hardware and software; at the end of these tests, the MS will be put into effective operation, and will begin to acquire the status of the grids;
- 5.during the last 6 months, the results obtained from the demonstrator will be analysed to verify the operational functionality, and to estimate costs and performances of a system able to monitor the whole grids; at the same time, the PhD thesis will be written.

EXPECTED RESULTS

The research activity is aimed at the implementation of a complete MS demonstrator, consisting of:

- 1.the PIUs to measure field quantities in the secondary substations of ASM Terni's distribution grids, the number of which will depend on the size of the living lab made available by the company (the minimum number, compatible with the demonstrator, is two);
- 2.the LAUs, installed in the secondary cabins belonging to the living lab, to acquire, process and transmit data coming from the PIUs;
- 3.the CEU, installed at the grid control centre, which will acquire data from the LAUs in the background, which will be processed (in the background or on-demand), stored (on cloud) and displayed (on fixed and/or mobile devices); these data will also be able to continuously feed a digital twin, in order to perform near real-time analysis to support the planning, design and operation of future smart grids.

With this demonstrator it will be possible to verify all the hardware and software functions of the system and, given its intrinsic scalability (it is sufficient to replicate the UDIs and ULAs to extend the portion of the network monitored), it will also be possible to predict the costs and performance of a system capable of monitoring the entire network. The main aim is therefore to demonstrate the functionality of the MS in an industrially relevant environment, i.e. in a part of a real distribution network in normal operation (i.e. with TRL = 6).