

L'elettificazione rurale nei Paesi in via di sviluppo: il progetto Energy4Growing

Stefano Mandelli Paolo Guidetti Marco Merlo Stefania Carmeli Roberto Perini Gisella Tomasini Mauro Mancini Politecnico di Milano
Daniele Rosati MCM EnergyLab Matteo Leonardi Istituto OIKOS

L'articolo presenta il progetto sperimentale Energy4Growing per lo sviluppo di una architettura micro-grid per l'elettificazione di realtà rurali in Paesi in Via di Sviluppo. Il progetto é cofinanziato da PoliSocial, un'iniziativa del Politecnico di Milano indirizzata a catalizzare interventi a carattere sociale.

Introduzione al progetto

Guardando alla situazione dei Paesi in Via di Sviluppo (PVS), oggi giorno é ormai riconosciuto che promuovere l'accesso all'energia elettrica sia uno degli elementi chiave per sostenerne il processo di sviluppo. L'energia elettrica infatti consente il miglioramento dei servizi e dei processi produttivi che creano benessere realizzando un ciclo di sviluppo sociale ed economico [2]. Evidenti sono infatti gli effetti che può portare l'introduzione di apparecchiature elettriche nell'industria, nell'agricoltura, nell'artigianato e nel sistema sanitario. O ancora, le possibilità di impiego che si possono generare per le popolazioni locali dalla diffusione stessa di impianti di generazione elettrica e di distribuzione quando adattati alla scala locale. Evidenti benefici dovuti all'accesso all'energia elettrica si presentano, anche e soprattutto, in ambito dome-

stico. I molti studi sviluppati negli anni hanno mostrato come i benefici in ambito familiare, frutto dell'accesso all'elettricità, siano legati ai miglioramenti nel soddisfacimento dei bisogni fondamentali e ad una relativa diminuzione dalla dipendenza dai combustibili tradizionali [8]. Per esempio, avviene infatti che la disponibilità di illuminazione elettrica riduca l'utilizzo di kerosene e aumenti la disponibilità di ora di luce nelle abitazioni permettendo miglioramenti nel livello di istruzione dei bambini. Inoltre grazie all'introduzione di radio, televisioni, telefoni cellulari e computer si realizza un migliore accesso alle informazioni e alle telecomunicazioni [1].

Tuttavia, nonostante gli sforzi e le iniziative messe in campo negli ultimi decenni da parte di organizzazioni internazionali e ONG, oggi giorno esistono ancora estese aree nei PVS in cui l'energia elettrica non è disponibile. Secondo i dati del World Energy Outlook 2013, 1.26

miliardi di persone nel mondo non ha accesso all'energia elettrica e di queste circa la metà vive in Africa [7]. Tale situazione è particolarmente accentuata nelle zone rurali dove larghe fasce della della popolazione (il 35% su tutti i PVS e più del 70% in Africa) vive in zone isolate dove l'energia elettrica non è disponibile e raggiungere ogni villaggio ampliando la rete elettrica risulta spesso tecnicamente ed economicamente improponibile [9]. In questi contesti la prospettiva di elettificazione rurale mediante sistemi di piccola scala operanti in isola e basati su risorse rinnovabili risulta molto interessante. Infatti in queste zone la maggior parte della popolazione che ha accesso all'energia elettrica usufruisce già di sistemi che operano in isola basati su risorse convenzionali come generatori diesel. Essi da sempre sono stati l'unica soluzione per ottenere elettricità nelle zone remote, nelle piccole comunità e per singole utenze. È quindi evidente che in questi contesti l'avvento di piccoli sistemi basati su fonti rinnovabili di energia è visto come un'opportunità per aumentare l'accesso al servizio elettrico limitando la dipendenza dai combustibili fossili. Ulteriore aspetto interessante è l'accoppiamento di una o più tecnologie basate su rinnovabili con gli attuali generatori diesel che permette di incrementare l'efficienza e migliorare la qualità del servizio [4].

Tuttavia è importante notare che nelle aree rurali in cui si potrebbe intervenire con questo tipo di sistemi, la geografia del territorio, le condizioni ambientali e meteorologiche e la situazione economica e sociale della popolazione locale differiscono notevolmente e non permettono di formulare un'unica soluzione tecnica valida globalmente. Infatti, per ognuno di questi contesti, e addirittura per ciascun villaggio isolato, è possibile identificare problemi e condizioni specifici che influenzano lo sviluppo e la progettazione di un sistema di generazione. La valutazione di tutti questi molteplici aspetti è quindi di fondamentale importanza per lo studio di fattibilità di un sistema elettrico in isola. Solo in questo modo è possibile ottenere una soluzione tecnica ben adattata al contesto che realizzi un equilibrio fra il fabbisogno energetico degli utenti, il rispetto dei vincoli ambientali e la semplicità di gestione e funzionamento dell'impianto. Oltre alla complessità in fase progettuale, lo svantaggio principale degli impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili consiste nell'alto investimento richiesto per la loro realizzazione. Questo è a maggior ragione vero in zone rurali scarsamente popolate dove l'approvvigionamento elettrico costituisce comun-

que un tipo di investimento poco remunerativo che quindi risulta di scarso interesse per le società private [11]. In questi contesti, di conseguenza, le strategie energetiche dei governi e delle comunità locali devono essere basate sull'identificazione di appropriate modalità e fonti di finanziamento.

Interventi che favoriscono l'aumento dell'accesso all'energia elettrica sono di interesse anche per organizzazioni che si dedicano a progetti di sviluppo locale. Come accennato infatti, promuovere l'accesso all'energia elettrica costituisce un punto di partenza fondamentale per aumentare il benessere a livello locale attraverso la promozione di piccole attività produttive, dei servizi (sistema educativo e sanitario) e migliorando le condizioni di vita in ambito domestico [5]. In questo contesto si inserisce il programma Polisocial, lanciato nel 2012 da Politecnico di Milano insieme a Fondazione Politecnico, che sottolinea il ruolo dell'università a formare le future generazioni nell'ottica di cooperare all'interno di una società internazionale, multidisciplinare e multietnica [10]. Attraverso Polisocial, il Politecnico di Milano e Fondazione Politecnico promuovono l'iniziativa "Polisocial Award" che finanzia alcuni progetti di ricerca a fini sociali, ed è tra i vincitori del Polisocial Award 2013 che si inserisce il progetto Energy4Growing. Questo progetto è condotto da un gruppo di ricercatori del Dipartimento di Energia del Politecnico di Milano con la collaborazione di associazioni (APER, REEF)¹, di aziende (Euroimpresa, Phoenix Contact, Energy Team, ABB Sace, Sironi Batterie srl) e università locali (DIT, ATC)². Il progetto si propone di contribuire allo sviluppo di soluzioni per promuovere la diffusione delle fonti rinnovabili nel processo di elettificazione rurale. In particolare prevede lo studio e la realizzazione di un *Interface Converter* in grado di integrare diverse fonti di energia che, opportunamente gestite da un'unità di controllo dedicata, garantirà un'alimentazione continuativa ed efficiente della scuola secondaria di Ngarenanyuki, Tanzania (**figura 1**).

Partner rilevante per il progetto è anche Istituto OIKOS in ragione dell'esperienza in progetti di sviluppo locale in paesi dell'Africa subsahariana. In particolare Istituto OIKOS risulta già attivo in Tanzania proprio nelle aree interessate dal progetto Energy4Growing e fornirà sup-

¹ APER: assoRinnovabili. REEF: RE- Energy Foundation Onlus.

² DIT: Dar es Salaam Institute of Technology. ATC: Arusha Technical College.

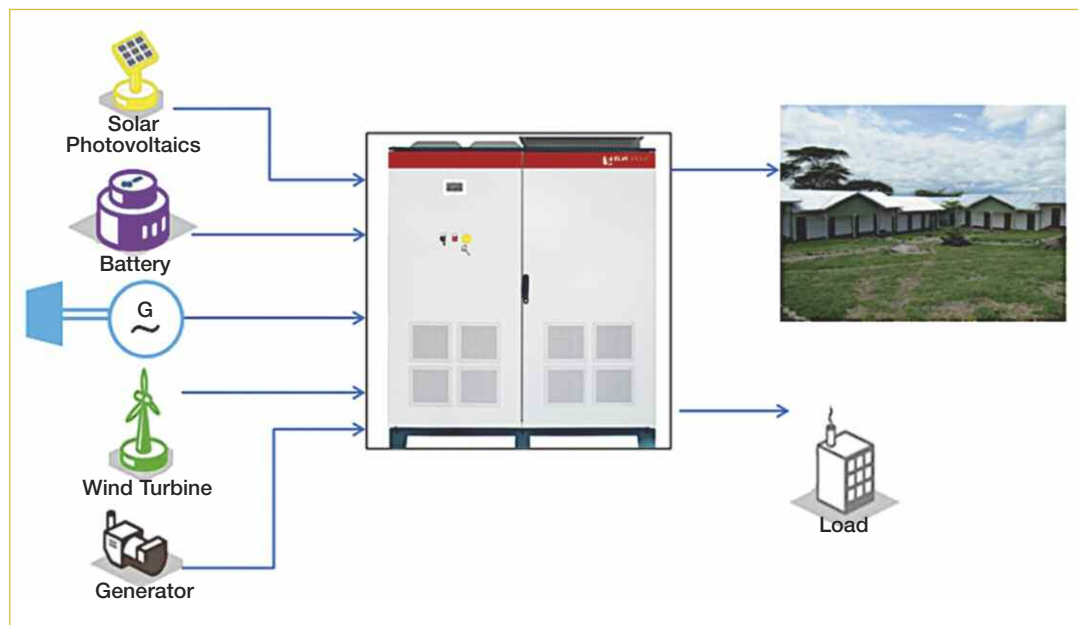


Figura 1 Rappresentazione della micro-grid con particolare riferimento all'Interface Converter.



Figura 2 La scuola secondaria di Ngarenanyuki, Arusha (Tanzania).

porto sia in termini tecnici che organizzativi e di mobilitazione delle comunità locali.

Per la progettazione e la realizzazione del prototipo, il gruppo di ricerca collabora con MCM Energy Lab, spin-off del Politecnico di Milano, specializzato nello studio di soluzioni hardware/software per sistemi energetici con alta penetrazione di fonti rinnovabili e convertitori di potenza.

Un valore aggiunto che il progetto si prefigge di raggiungere risiede nel coinvolgimento della comunità locale nel processo di decisioni in modo da costruire il senso di proprietà dell'impianto. Oltre al coinvolgimento nella fase di progettazione, di fondamentale importanza sarà la formazione degli utenti del nuovo sistema rispetto ad una gestione efficiente, al controllo e alla manutenzione dello stesso. È infatti importante che gli utenti sappiano come gestire eventuali gua-

sti o malfunzionamenti per evitare che blocchi persistenti della centrale ne causino l'abbandono. In quest'ottica saranno erogati corsi atti a fornire le informazioni minime necessarie. Questa attività si avvarrà anche dell'esperienza maturata all'interno delle iniziative della cattedra UNESCO in "Energy for Sustainable Development" del Dipartimento di Energia e dei progetti di cooperazione in ambito formativo che sono stati realizzati nel corso degli ultimi anni.

Descrizione del sistema elettrico della scuola di Ngarenanyuki

Ngarenanyuki è un villaggio rurale all'interno della regione-stato di Arusha in Tanzania. In questo villaggio si trova la scuola secondaria (**figura 2**) destinata ad essere il beneficiario princi-



Figura 3
Blocco turbina e
generatore – Resistenze
zavorra.

pale della micro-grid interessata dall'installazione del prototipo di "Interface Inverter" che sarà sviluppato all'interno del progetto. La scuola è frequentata da circa 460 studenti l'85% dei quali, durante i periodi di lezione, risiede giorno e notte nelle strutture della scuola. Il complesso scolastico è costituito da diversi edifici che comprendono classi e uffici, dormitori, residenze per i docenti e le rispettive famiglie, biblioteca, cucina, servizi igienici ecc.

Nella scuola sono attualmente presenti differenti sistemi di generazione basati su fonti di energia rinnovabili e convenzionali che alimentano carichi in isola mediante un interruttore a leva comandato manualmente. Gli apparati esistenti sono stati implementati nel corso degli anni all'interno di differenti progetti non collegati tra loro. Alcuni di essi sono attualmente obsoleti o non funzionanti.

La principale fonte di energia della scuola è una turbina idroelettrica Banki da 3.2 kW, fornita dalla IREM Torino e installata nel 2011, accoppiata ad un generatore sincrono monofase da 230 V, 50 Hz (**figura 3**). Questa tipologia di gruppi turbina-alternatore è estremamente affidabile, non necessita di manutenzione onerosa, ma non garantisce un'elevata efficienza. Infatti il gruppo rotante trasforma in energia elettrica tutta quella pro-

veniente dal fluido e la regolazione della frequenza è garantita da un sistema di controllo automatico basato su una coppia di resistenze zavorra (4 kW totali) che dissipano in aria la potenza in eccesso non assorbita dai carichi (**figura 3**). L'acqua in ingresso alla turbina è prelevata da un canale, gestito a monte da personale locale e la cui portata è influenzata anche dalle necessità di irrigazione locali. La portata disponibile alla turbina è quindi variabile ed un operatore regola manualmente il distributore della turbina per mantenere la pressione nella condotta costante (l'intervallo di funzionamento della turbina va da un minimo di 16 l/s fino ad un massimo di 60 l/s che, con un salto di 9.2 m, corrispondono a valori di potenza di 800 W e 3.2 kW).

Poiché la generazione elettrica con questi sistemi è estremamente discontinua e aleatoria, la scuola ha installato diversi sistemi di back-up indipendenti, alcuni in DC altri in AC. Tali sistemi sono costituiti prevalentemente da una batteria ricaricata da uno o più pannelli fotovoltaici e alimentano carichi dedicati (depuratore, luci, prese uffici). Esiste anche un sistema di accumulo centrale di circa 800 Ah che può essere messo in carica dalla turbina idroelettrica, quando questa non alimenta nessun carico, mediante l'interruttore manuale. Questo sistema di accumulo costituisce una fonte alternativa al sistema quando non è disponibile acqua ed è collegato alla linea carichi AC mediante un convertitore elettronico bidirezionale (**figura 4**).

La scuola ha inoltre a disposizione un piccolo gruppo diesel da 5 kW che viene attivato molto saltuariamente quando si ha una necessità particolare e se le utenze principali non possono essere alimentate dalla turbina idroelettrica. Tale scelta è giustificabile dal fatto che la fonte convenzionale rappresenta una voce non trascurabile di costo e per questa ragione viene attualmente preferita una gestione che adatta i carichi alla potenza delle fonti disponibili (in pratica l'idroelettrico). L'intero sistema elettrico della scuola è gestito da un operatore che verifica quali sono i carichi che necessitano energia, quali le fonti disponibili al momento e manualmente mette in tensione ciascuna linea di carichi (**figura 5**). Chiaramente questa modalità di controllo è altamente inefficiente, dipende dalla presenza dell'operatore h24 e genera inevitabilmente numerosi blackout.

Un intervento per migliorare il sistema di gestione dei flussi d'energia della scuola è necessario anche considerando le prospettive rispetto ai sistemi di generazione e dei carichi. Istituto OIKOS ha recentemente acquistato ulte-



Figura 4 Sistema di accumulo centrale – Interruttore manuale – Convertitore elettronico bidirezionale.

riori 3 kW di pannelli fotovoltaici ed è intenzione della scuola connettere al quadro elettrico una pompa per fornire acqua ai dormitori. In loco sono inoltre presenti due turbine eoliche che non sono attualmente funzionanti: una, costruita localmente, è stata smantellata ed è in attesa di manutenzione, l'altra per problemi da indagare risulta che non abbia mai erogato potenza pur essendo meccanicamente funzionante (figura 6).

Per quanto descritto è evidente che il panorama di fonti e carichi della scuola è in continua evoluzione, caratteristica questa tipica di tutte le applicazioni in zone rurali dei PVS e rispetto alla quale la progettazione degli impianti deve essere particolareggiata. Inoltre è molto complesso, ad oggi, stimare una curva di potenza assorbita dai carichi, poiché l'uso delle utenze è altamente condizionato dalla disponibilità delle fonti. Nella **figura 7** si riporta comunque una stima basata su una prima analisi elaborata con Istituto OIKOS. Rispetto alla curva di potenza, nuove misure saranno disponibili a breve grazie ad un dispositivo di misura che verrà installato in uscita all'interruttore principale dell'impianto della scuola. In ogni caso, in un contesto in continua evoluzione come il sito del progetto Energy4Growing ci si aspetta un deciso incremento della potenza richiesta in un breve periodo dopo l'avviamento del nuovo impianto.

Descrizione degli aspetti scientifici del prototipo

Il prototipo proposto in questo progetto verrà progettato per integrare diverse fonti di energia rinnovabili e un sistema di accumulo su un DC-Bus il quale alimenta un convertitore DC/AC.



Figura 5
Interruttori controllo carichi.



Figura 6 Turbina eolica disponibile in loco.

Le fonti sono accoppiate al DC-Bus mediante convertitori DC/DC e AC/DC progettati con una struttura flessibile. In particolare, obiettivo del progetto è la definizione di logiche di controllo che consentano di implementare strategie di ottimizzazione universali in modo da poter collegare diverse tecnologie di generazione caratterizzate da differenti caratteristiche tecniche senza che sia necessario analizzare nel dettaglio dei parametri costruttivi di ciascuna tecnologia. Questo aspetto consentirà di collegare al sistema le fonti energetiche esistenti ed eventualmente altre in futuro.

Per le stesse ragioni, il sistema di accumulo sarà abbinato ad un convertitore progettato per connettere differenti tipologie di batterie e sarà in grado di garantire il bilancio energetico tra fonti e carichi. Nel convertitore DC/AC saranno implementate funzioni di controllo per alimentare carichi in isola e altre per lavorare in parallelo con più piattaforme di generazione ibrida. In caso di parallelo con altre micro-grid, il prototipo dovrà essere in grado di garantire la stabilità della rete, attivando specifiche funzioni dell'*Interface Converter* che regolino frequenza e tensione del sistema e che gestiscano i setpoint di potenza, attiva e reattiva, di ciascun sistema. La tecnologia disponibile per questo progetto, gestisce i flussi di potenza mediante un algoritmo denominato "Droop Control" [6]. Un ulteriore vantaggio sarebbe quello di vincolare la potenza prodotta da ciascuna fonte ad

alcuni indici interni per ottimizzare i flussi di potenza di tutta la micro-grid.

Un sistema ibrido come quello proposto presenta un'elevata flessibilità, può essere installato in aree rurali con diverse caratteristiche ambientali e può integrare differenti fonti, anche esistenti in loco, senza la necessità di sostanziose modifiche hardware. Nella progettazione di questo prototipo si vuole adottare un'ottica che intenda supportare lo sviluppo economico dei villaggi rurali. Infatti l'intenzione è quella di fare in modo che il quadro di interfaccia sia in grado di alimentare inizialmente i carichi principali, per poi integrare nuove fonti al fine di soddisfare la crescente domanda di energia. Infine si cercherà di mantenere la possibilità di lavorare in parallelo con la rete o con altri sistemi in isola per fornire energia a villaggi interi o a gruppi di villaggi.

Descrizione degli aspetti tecnici del prototipo

La realizzazione del prototipo, tuttora in corso, ha richiesto un'attenta analisi del sistema esistente ed anche un'analisi circa il livello di automazione e informatizzazione che gli operatori locali saranno in grado di gestire. La soluzione tecnica selezionata per il progetto tiene anche in considerazione le esigenze di gestione dell'impianto da parte dei tecnici locali. In particolare

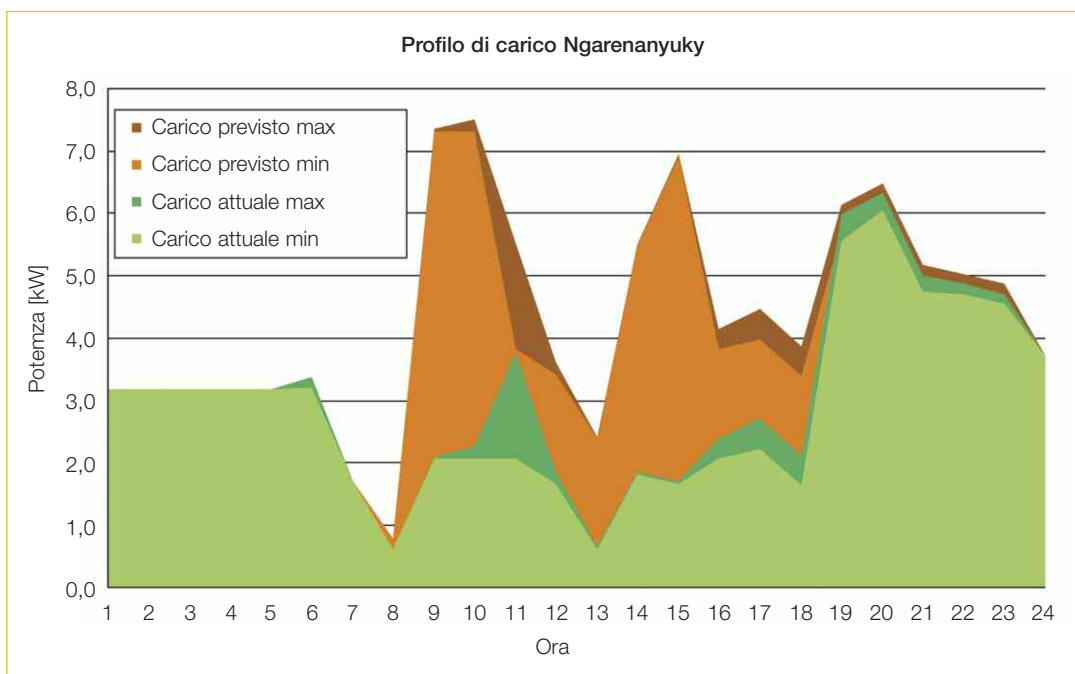


Figura 7 L'immagine riporta una stima delle curve di carico attuali (tonalità verdi) e previsto (tonalità marroni). La differenza all'interno di una tonalità rende ragione del fatto che alcuni carichi vengono attivati saltuariamente.

il sistema si basa su un'architettura a doppia sbarra che consente l'esercizio del gruppo diesel e della turbina idroelettrica, su due sistemi indipendenti, in modo da massimizzare la flessibilità di lavoro (figura 8).

Il quadro di interfaccia gestisce il sistema di accumulo e l'impianto fotovoltaico. Il convertitore DC/AC, attraverso opportuni bus di campo, comunica con le BMU (*Battery Management Unit*) di ciascuna stringa di batterie. I messaggi che vengono scambiati su questi bus permettono di attuare diverse funzioni per la salvaguardia delle batterie, evitare la scarica profonda, mantenere lo stato di carica (SOC) nei limiti di funzionamento, fare cicli di carica e scarica per la manutenzione, controllare la temperatura di cella, ecc. I moduli fotovoltaici sono connessi al DC Bus mediante un convertitore DC/DC che opera in due modalità differenti: MPPT o RPPT. MPPT è l'algoritmo normalmente in uso che controlla la tensione ai morsetti del campo fotovoltaico per estrarne la massima potenza. La logica RPPT al contrario limita la potenza assorbita dal campo fotovoltaico. In quest'ultimo caso la potenza viene limitata portando il campo fotovoltaico in un punto di lavoro in cui la potenza assorbita dal campo consente di mantenere l'equilibrio di potenze all'interno della centrale. Questo algoritmo entra in funzione nel caso in cui la batteria sia completamente carica e la potenza assorbita dai carichi sia inferiore alla massima potenza disponibile dal campo fotovoltaico.

La scheda di controllo dell'inverter misura tensione e frequenza all'uscita del quadro determinando se l'inverter lavora in parallelo ad altre fonti che stanno sostenendo la frequenza di rete (*Grid Following*) oppure se è il quadro stesso a fare da nodo di saldo del sistema (*Grid Forming*). Lo scopo prefissato nell'implementare all'interno della una micro-grid un convertitore di questo genere è quello di ripartire la potenza attiva e reattiva tra le fonti e migliorare prestazioni del sistema e stabilità regolando contemporaneamente sia la frequenza sia l'ampiezza della tensione all'uscita dell'inverter. La stessa scheda del convertitore DC/AC può ricevere dall'esterno comandi da pc industriali o altri controllori che implementano logiche di controllo a livelli superiori. Per il prototipo oggetto di questo studio, la scelta è ricaduta su un PLC che esegue programmi ed elabora segnali, digitali e analogici, provenienti da sensori e diretti agli attuatori presenti nell'impianto. La sua caratteristica principale è la robustezza; esso può essere infatti posizionato all'interno di quadri elettrici in ambienti rumorosi, con molte interferenze elettriche, in luoghi che presentano temperature elevate o grande umidità. Questa soluzione è quindi preferibile per il contesto di applicazione e perché si basa su una tecnologia ben nota.

Tutti gli interruttori, sia quelli dei carichi che quelli delle fonti, saranno azionati da relè che verranno attivati dal PLC opportunamente programmato per garantire il bilancio di potenza, la

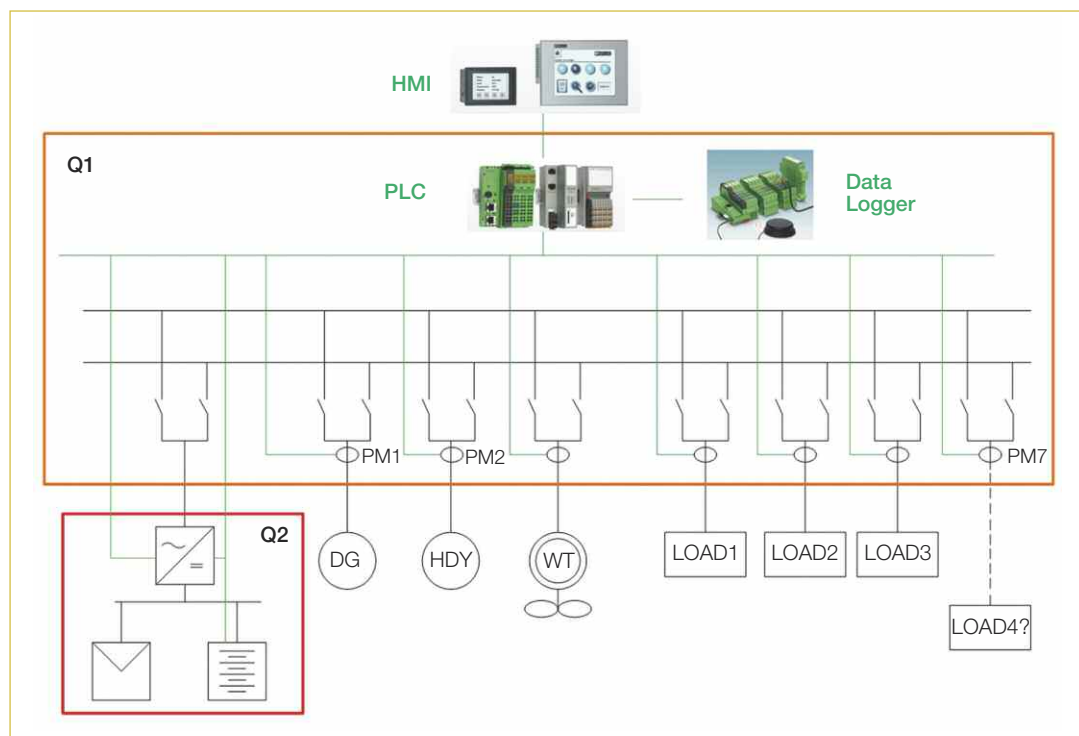


Figura 8
Rappresentazione schematica dell'impianto della micro-grid.

stabilità del sistema e una gestione efficiente dei flussi di potenza. Il PLC comunica con i *Power Module* collocati sulle linee di carico e generazione e con il sistema di controllo dell'*Interface Converter* modificando i setpoint di potenza attiva e reattiva. Il PLC sarà anche collegato ad una *Human Machine Interface* (HMI) che consentirà all'operatore di interagire con l'impianto agendo su un pannello sinottico. Si sta considerando anche la possibilità di poter implementare un *Data Logger* che raccolga le informazioni relative al funzionamento dell'impianto in modo da poter verificare la qualità della soluzione proposta anche in ottica di progetti futuri.

Attività in corso

Data la rilevanza sociale e l'innovazione tecnica che il progetto si propone di raggiungere, si è ritenuto opportuno tenere aperta una vetrina per tutti i tecnici e le aziende afferenti al settore elettrotecnico/energetico. Per fare questo è stata realizzata una pagina web³, in collabo-

razione con la cattedra UNESCO "Energy for Sustainable Development", in cui sono presentate le linee guida del progetto, i protagonisti e le attività svolte [3]. Questo canale sarà utilizzato anche per aggiornare i visitatori circa gli sviluppi del prototipo e dell'installazione.

Il progetto Energy4Growing, iniziato ad ottobre 2013, prevede per i primi mesi del 2015 l'esecuzione delle prove sperimentali e una presentazione pubblica del progetto presso il Politecnico di Milano. Il progetto, inoltre, non terminerà con l'installazione del quadro nella scuola di Ngarenanyuki, ma seguirà, fino ad ottobre 2015, una campagna di misure utili a sviluppare nuove funzioni di controllo per la gestione di micro-grid in isola. Successivamente il sistema rimarrà in campo fornendo energia elettrica alla scuola ma, al contempo, resterà disponibile come laboratorio sperimentale grazie alle collaborazioni che Politecnico di Milano sta attivando in Tanzania con il Dar es Salaam Institute of Technology e l'Arusha Technical College.

bibliografia

[1] Brew-Hammond, A., Kemausuor, F.: *Energy for all in Africa—to be or not to be?* Current Opinion in Environmental Sustainability, Vol. 1, n. 1, 2009, p. 83–88. doi:10.1016/j.cosust.2009.07.014.

[2] Colombo, E., Masera, D., Bologna, S.: *Renewable Energies to Promote Local Development*. In: E. Colombo, S. Bologna, & D. Masera (Eds.), *Renewable Energy for Unleashing Sustainable Development* (p. 3–25). Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-00284-2, 2013.

[3] Dip. di Energia POLIMI.: *UNESCO Chair in Energy for Sustainable Development*. 2013. Retrieved from <https://beep-metid.polimi.it/web/unescochair-e4sd/>

[4] Erdinc O., Uzunoglu, M.: *Optimum design of hybrid renewable energy systems: Overview of different approaches*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 16, n. 3, 2012, p. 1412–1425. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.011>

[5] Europeaid.: *ACP-EU Energy Facility*. 2005. Retrieved from http://ec.europa.eu/europeaid/where/acp/regional-cooperation/energy/index_en.htm

[6] Frosio L.: *Droop control for interface inverters of hybrid power plants connected to isolated minigrids*. Politecnico di Milano, 2013.

[7] IEA: *World Energy Outlook*. OECD Publishing. doi:10.1787/weo-2013-en, 2013, p. 700.

[8] Lahimer A.A., Alghoul M.a., Yousif F., Razykov T.M., Amin N., Sopian K.: *Research and development aspects on decentralized electrification options for rural household*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 24, 2013, p. 314–324. doi:10.1016/j.rser.2013.03.057.

[9] Mandelli, S., Mereu R.: *Distributed Generation for Access to Electricity: "Off-Main-Grid" Systems from Home-Based to Microgrid*. In: E. Colombo, S. Bologna, & D. Masera (Eds.), *Renewable Energy for Unleashing Sustainable Development*. Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-00284-2, 2013.

[10] POLIMI, Fondazione Politecnico di Milano: *POLISOCIAL - Il programma di impegno e responsabilità sociale @ Politecnico di Milano*. 2012. Retrieved from <http://www.polisocial.polimi.it/it/home/>

[11] Zomers, A.: *The challenge of rural electrification*. Energy for Sustainable Development, Vol. VII, n. 1, 2003, p. 69–76. doi:10.1016/S0973-0826(08)60349-X.

³ <https://beep-metid.polimi.it/web/unescochair-e4sd>, www.facebook.com/energy4growing2014/