

# **Il Sistema di Monitoraggio dei Consumi Energetici in Tempo Reale dell'Università di Genova: Analisi dei Consumi e Sperimentazione su una Microgrid**

## **Real Time Energy Monitoring System of the University of Genova: Analysis of Consumption and Experimentation on a Microgrid**

ANDREA BAGNASCO<sup>1,2</sup> – RAFFAELE PICOLLO<sup>1</sup> - STEFANO MASSUCCO<sup>1</sup> – MATTEO SAVIOZZI<sup>1</sup> - FEDERICO SILVESTRO<sup>1</sup> – ANDREA VINCI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Elettronica, delle Telecomunicazioni e Navale (DITEN), Università degli Studi di Genova, GE*

<sup>2</sup> *IESolutions Srl, Genova, GE*

### **RIASSUNTO**

L'Università di Genova (UNIGE) è organizzata in 5 scuole e 22 dipartimenti, comprende centri e biblioteche e offre strutture residenziali per lo studio e per il tempo libero. Gli studenti iscritti sono più di 32.000 e il personale conta circa 3.000 elementi tra docenti e tecnico-amministrativi. Il vasto numero di siti distribuiti su tutto il territorio cittadino e le numerose persone coinvolte nelle attività rende l'ateneo genovese un soggetto particolarmente energivoro, con un consumo di energia elettrica pari a circa 19 GWh/anno.

Da alcuni anni UNIGE ha intrapreso un percorso di analisi dei propri consumi energetici, basandosi su un sistema di monitoraggio in tempo reale implementato, gestito e sviluppato dal Gruppo di Lavoro per il risparmio energetico di Ateneo, sotto la guida del Delegato del Rettore e in collaborazione con lo spin off accademico IESolutions, quale strumento a supporto della diagnosi e della gestione del sistema edificio-impianti.

L'articolo presenta l'esperienza relativa all'utilizzo della piattaforma di monitoraggio per la riduzione dei consumi energetici, tramite specifiche azioni di tipo gestionale e tecnico, identificate dall'analisi del comportamento delle utenze energivore e la creazione di benchmark. Viene inoltre dato risalto alla gestione della microgrid di Ateneo, consistente in una produzione fotovoltaica, un carico regolabile ed un sistema di accumulo installati presso la Facoltà di Economia, quale elemento integrato di gestione energetica.

### **SUMMARY**

The University of Genoa (UNIGE) is organized into 5 schools and 22 departments, including centers and libraries and offers residential facilities to study and leisure. Enrolled students are more than 32.000 and staff has approximately 3.000 people among

educators and administrative. The vast number of sites distributed throughout the city and the many people involved in the activities of the University of Genoa makes a subject particularly energy-intensive, with a power consumption of approximately 19 GWh / year.

For several years UNIGE has undertaken a process of analysis of their energy consumption, based on a real-time monitoring system implemented, managed and developed by the Working Group for energy efficiency of the University, under the guidance of the Deputy Rector and in collaboration with the academic spin off IESolutions, as a tool to aid in the diagnosis and management of the building-plant system.

The article presents the relevant experience with the use of the monitoring platform for the reduction of energy consumption, through managerial and technical specific actions, identified by the analysis of the behavior of energy-intensive users and the establishment of benchmarks. Moreover, emphasis is given to the management of microgrids University, consisting of a photovoltaic production, an adjustable load and a storage system installed at the Faculty of Economics, as an integrated element of energy management.

Parole chiave: Efficienza Energetica, Sistema di Monitoraggio, Risparmio Energetico, Microgrid

Key words: Energy Efficiency, Real Time Monitoring System, Energy Saving, Microgrid

## **1. INTRODUZIONE**

La liberalizzazione del mercato dell'energia elettrica ha portato significativi cambiamenti nella gestione dei sistemi elettrici. Tali cambiamenti richiedono importanti valutazioni di carattere tecnico ed economico e coinvolgono sempre più aspetti di gestione coordinata di sorgenti di generazione distribuita e di gestione razionale dei consumi elettrici (demand side management).

Negli ultimi anni il tema dell'efficienza energetica sta guadagnando crescente popolarità, in particolare in attesa degli obiettivi europei nel campo della riduzione del consumo di energia per il 2020 e il 2030. È quindi importante individuare i sistemi energetici meno efficienti e migliorare le loro prestazioni attraverso specifiche diagnosi energetiche. Proprio in tale contesto, il Dipartimento di Ingegneria Navale, Elettrica, Elettronica e delle Telecomunicazioni (DITEN) dell'Università di Genova è attivo da tempo su progetti di ricerca di carattere nazionale ed internazionale.

La razionalizzazione dei consumi e l'efficientamento dell'utilizzo delle risorse energetiche è una delle molteplici applicazioni possibili di un sistema di monitoraggio [1]. Per operare in tale senso, il Gruppo di Lavoro per il risparmio energetico ha definito ed implementato negli ultimi anni un sistema di monitoraggio in tempo reale del carico elettrico di Ateneo. Per ogni utenza energetica monitorare l'andamento nel tempo del suo consumo consente di studiarne in dettaglio le modalità di impiego e di quantificarne il prelievo, permettendo così di costituire la base di informazioni necessarie per valutarne il corretto utilizzo in riferimento al reale fabbisogno che deriva dal tipo di applicazio-

ne. I consumi di energia dipendono dai sistemi di utenza e da fattori esterni quali le ore di utilizzo, le condizioni ambientali, il carico dei macchinari, l'occupazione degli edifici ecc. [2]. Questi fattori possono essere molto variabili e la loro relazione con il consumo di energia può risultare complessa, specialmente nei casi in cui il sistema in esame risulti esteso per numero e tipologia di utenze e/o per numero e tipologia di siti [3]. In questo contesto, una corretta attività di valutazione e verifica non può prescindere da un sistema di misure esteso e puntuale, il quale, attraverso un'analisi dettagliata, può portare a comprendere le principali variabili che influenzano i consumi energetici.

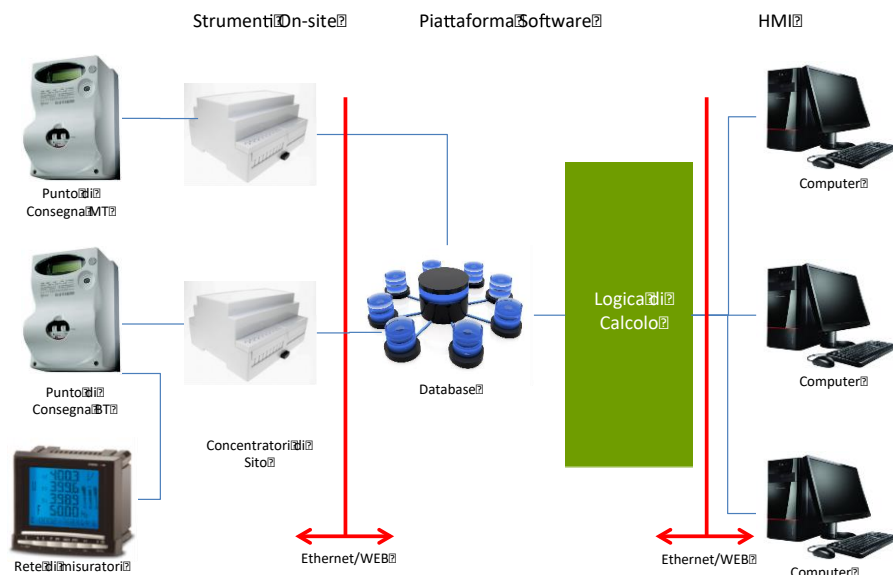
## **2. IL SISTEMA DI MONITORAGGIO DELL'UNIVERSITÀ DI GENOVA**

Il Dipartimento di Ingegneria Navale, Elettrica, Elettronica e delle Telecomunicazioni (DITEN) dell'Università di Genova è attivo da tempo su progetti di ricerca di carattere nazionale ed internazionale sul tema del controllo e del monitoraggio del carico elettrico. In relazione a questo ultimo aspetto è stato realizzato un sistema di monitoraggio dei consumi di energia elettrica dell'Ateneo. Questo progetto ha riguardato la definizione e l'implementazione di una piattaforma hardware e software in grado di acquisire, analizzare, aggregare e monitorare in tempo reale le curve di carico relative ai consumi energetici delle utenze oggetto di esame. Attraverso l'installazione di misuratori presso i contatori di energia in media tensione (MT), la piattaforma è in grado di effettuare il monitoraggio dei consumi elettrici dell'ateneo stimabili in circa 19 GWh all'anno. Il funzionamento della piattaforma è improntato su un'architettura web-based, dove la raccolta dei dati sul campo avviene tramite una rete di misuratori, che convertono in tempo reale i dati grezzi in dati numerici, archiviano localmente le informazioni e le trasferiscono ad un server centrale mediante sistemi di comunicazione standard (TCP/IP, GPRS). Nel server centrale risiede un database, che storicizza i dati secondo logiche predefinite che elaborano i dati, li combinano con parametri esogeni (economici, meteorologici, di calendario, logistici) e li rendono disponibili agli utenti sotto forma di grafici, sinottici e tabelle, consultabili tramite interfaccia web.

Le misure sono acquisite con diverse tipologie di strumento, tra le quali:

- Conta-impulsi collegati direttamente al contatore fiscale
- Centraline di misura modulari con trasformatori amperometrici
- Misuratori di energia ad onde convogliate

L'architettura del sistema di monitoraggio è mostrata in Figura 1.



*Figura 1 - Architettura del sistema di monitoraggio*

Le informazioni sono quindi analizzate e assemblate in curve di carico e tabelle, che costituiscono l'informazione di base per effettuare analisi sui consumi e studi sulle opportunità di risparmio energetico. Tutto questo è finalizzato ad una gestione ottimale delle utenze, anche in regime di controllo coordinato generazione-carico elettrico, come viene descritto nella sezione relativa alla microgrid di Ateneo.

Attualmente il piano di monitoraggio di UNIGE prevede:

- La raccolta dei dati di consumo (Potenza Attiva e Potenza Reattiva) da 18 punti di misura in media tensione (corrispondenti ad altrettanti punti di consegna e costituenti circa il 90% dei consumi di energia elettrica dell'Ateneo);
- Un'architettura distribuita per l'acquisizione dei dati in tempo reale;
- L'acquisizione dati tramite "process box" (sensori remoti) basati su interfaccia TCP/IP
- La raccolta dei dati di consumo (Potenza Attiva e Potenza Reattiva) di 13 punti di misura in bassa tensione relativi a specifiche utenze della Clinica Oculistica dell'Università di Genova. L'intervento si inquadra nell'ambito di un'attività di ricerca finalizzata allo studio del comportamento di specifiche utenze all'interno di un edificio di grandi dimensioni, al fine di determinarne con buona approssimazione il fabbisogno energetico reale rispetto all'attuale consumo.
- La raccolta dei dati di consumo (Potenza Attiva e Potenza Reattiva) di 13 punti di misura in bassa tensione relativi a specifiche utenze sottese alle cabine di trasformazione MT/BT del Palazzo delle Scienze.
- L'acquisizione dei dati relativi alla microgrid presente presso la facoltà di economia (microgrid di Darsena, vedi sezione 4)

A causa delle variazioni amministrative sull'assegnazione degli immobili dell'Ateneo (aperture e spostamenti dei centri di ricerca e dei dipartimenti),

l'identificazione amministrativa delle utenze elettriche è in realtà da ritenersi variabile. Tuttavia, una fotografia sufficientemente aggiornata presenta 20 punti di prelievo in media tensione (MT) e 72 punti in bassa tensione (BT). L'analisi della distribuzione dei consumi sulle utenze evidenzia una mancata corrispondenza tra popolazione e consumi. Infatti come si può osservare dalla Tabella I, il sito 1 (amministrazione centrale) pur presentando il maggior numero di utenze (47) pesa sui consumi totali solamente per il 10% circa, mentre il sito 4 (medicina) con 10 utenze, vale circa il 40% dei consumi.

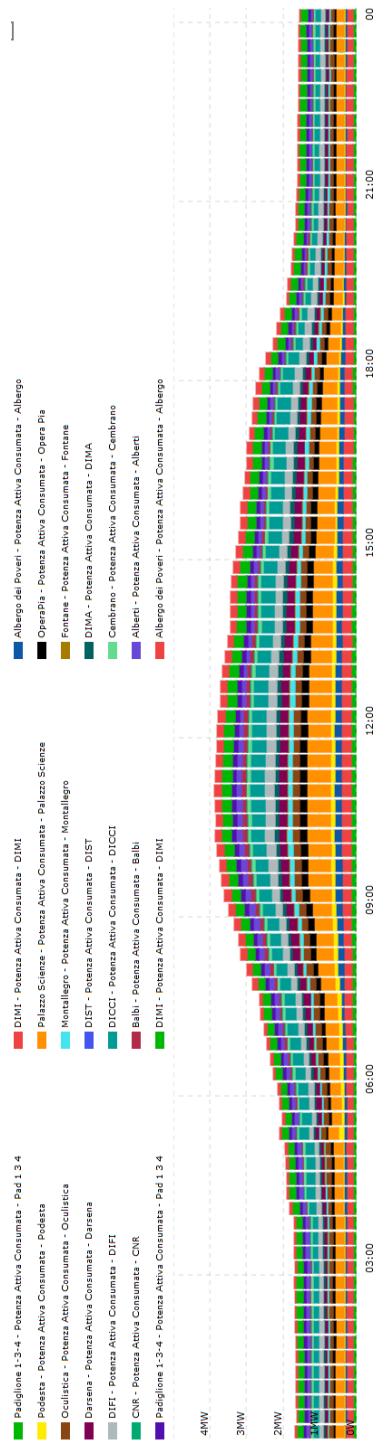
**Tabella I – Ripartizione dei consumi sui diversi poli**

Sito	Descrizione	MT		BT		Totale	
		Utenze	Consumi (% su totale)	Utenze	Consumi (% su totale)	Utenze	Consumi (% su totale)
1	Amm. Centrale	3	5,6	44	4,5	47	10,0
2	Ingegneria	4	11,0	6	0,2	10	11,2
3	Economia	1	5,7	2	0,6	3	6,3
4	Medicina	7	39,1	3	0,5	10	39,6
5	Farmacia	1	4,4	1	0,0	2	4,4
6	Valletta Puglia	3	20,8		0,0	3	20,8
7	Architettura		0,0	5	2,3	5	2,3
8	Fiera del mare		0,0	1	1,8	1	1,8
9	Eridania	1	2,4		0,0	1	2,4
10	Altre utenze		0,0	10	1,1	10	1,1
	<b>Totale</b>	<b>20</b>	<b>89,0</b>	<b>72</b>	<b>11,0</b>	<b>92</b>	<b>100</b>

La raccolta in tempo reale dei dati di consumo e la storizzazione di questi dati sul database centralizzato permette di creare elaborazioni e visualizzazioni di sintesi, sulle quali basare le attività di analisi.

Nella Figura 2 sono riportati a titolo di esempio gli andamenti della potenza assorbita giornaliera ai 15 minuti dei punti monitorati.

*Il Sistema di Monitoraggio dei Consumi Energetici in Tempo Reale dell'Università di Genova: Analisi dei Consumi e Sperimentazione su una Microgrid*



*Figura 2 – Profilo di consumo giornaliero UNIGE*

In generale i dati provenienti dal sistema di monitoraggio vengono esaminati per determinare il comportamento delle utenze a seconda di differenti condizioni al contorno (stagionalità, attività negli edifici in esame, temperatura, ecc.). Inoltre, tramite analisi comparative (ad esempio, attraverso il paragone con benchmark specifici [6],[7],[8]) vengono ricavate indicazioni per stabilire se gli attuali consumi sono in linea con il fabbisogno energetico atteso. Questa operazione è fondamentale per definire azioni per un possibile risparmio, nei casi in cui la richiesta energetica ecceda il profilo di riferimento (benchmark). In quest'ultimo caso l'analisi dei dati del monitoraggio fornisce gli estremi per indirizzare ulteriori approfondimenti di analisi oppure permette di disporre direttamente di informazioni sufficienti per la definizione e l'adozione di azioni correttive, mirate ad eliminare gli sprechi.

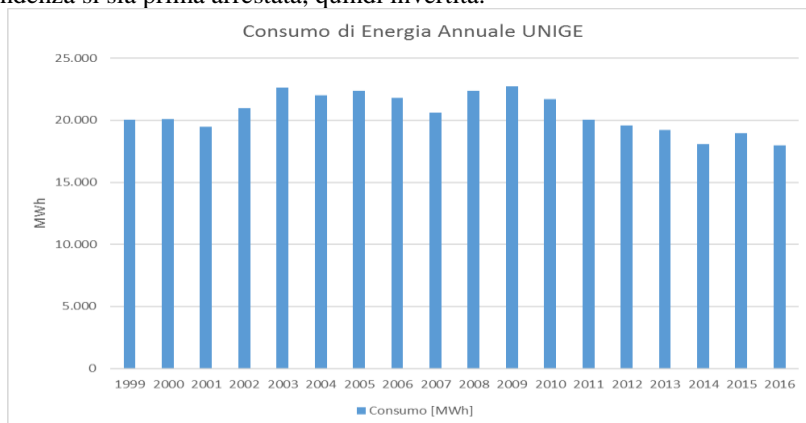
Le varie azioni di risparmio ed efficientamento implementate nel corso degli anni sugli edifici oggetto di monitoraggio possono essere sintetizzate in:

- regolazione dei timer dei circuiti di alimentazione di utenze significative (ad es. unità di trattamento aria);
- installazione di nuovi timer;
- gestione delle informazioni riguardanti i fermi didattici;
- gestione del condizionamento estivo;
- interventi sui circuiti luce e automazione.

Laddove le informazioni ricavate dal controllo dei consumi hanno suggerito l'implementazione di attività di analisi di dettaglio, l'infrastruttura di monitoraggio è stata ampliata e resa più fine.

### **3. ANALISI DEI CONSUMI DELL'ATENEO**

I dati storici di consumo di energia elettrica visibili Figura 2, dimostrano come i consumi annuali di energia elettrica dell'Università abbiano avuto un trend di sostanziale crescita fino al 2004. Questo è dovuto principalmente alla continua installazione di nuovi gruppi di climatizzazione. Inoltre è osservabile come con l'inizio delle attività di monitoraggio del carico, auditing e gestione dei consumi sintetizzate nel paragrafo precedente, tale tendenza si sia prima arrestata, quindi invertita.



*Figura 2 - Andamento del consumo di energia elettrica dell'Ateneo Genovese*

Analizzando nel dettaglio l'Università di Genova, è possibile suddividere i suoi consumi in due principali categorie, a seconda della tipologia di utilizzo:

- Uso per applicazioni tecnologiche, per alimentazione di apparecchiature di ricerca;
- Uso per servizi, principalmente costituiti dalle centrali frigorifere di produzione di acqua refrigerata, utilizzata sia per raffreddamenti "tecnologici" (costantemente in funzione 24 h/gg, per 365 gg/anno), che per la climatizzazione civile stagionale.

L'energia elettrica assorbita per usi "tecnologici" è per l'Ateneo una necessità intrinseca alla propria attività, quindi non condizionabile, se non per quanto riguarda l'eliminazione di sprechi o abusi, o la razionalizzazione dei tempi di utilizzo. È invece possibile intervenire con piani di razionalizzazione sui consumi legati ai servizi, al fine di ottimizzare la spesa per l'energia elettrica.

#### **4. CONTROLLO GENERAZIONE-CARICO ELETTRICO: IL CASO STUDIO DELLA MICROGRID DELLA SCUOLA DI ECONOMIA**

In questa sezione viene presentato un algoritmo di ottimizzazione per la gestione integrata di un impianto fotovoltaico e un sistema di accumulo all'interno di una microgrid.

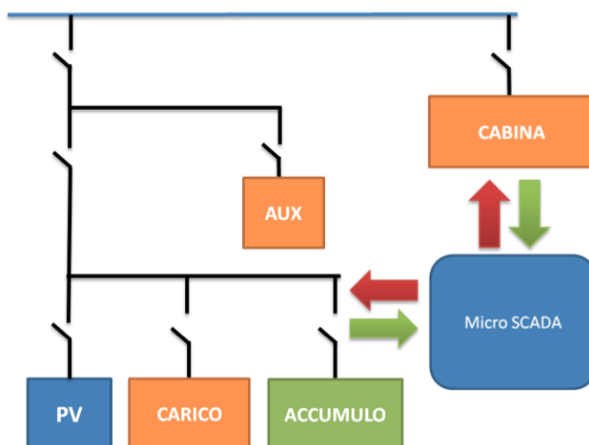
Presso la scuola di Economia in Darsena (zona porto antico di Genova), grazie ad un finanziamento regionale di circa 120.000 euro sono stati installati un impianto fotovoltaico ed un sistema di accumulo. Questi due impianti insieme al carico elettrico della scuola di Economia, costituiscono la microgrid dell'Università di Genova, caso studio di questa sezione.

##### **4.1. Descrizione generale della microgrid**

La microgrid realizzata dall'Università di Genova (schematizzata in Figura 3) è composta da:

- un impianto fotovoltaico di taglia 20 kW installato sul tetto dell'edificio;
- un dispositivo di accumulo a ioni di Litio di taglia 10 kW-12 kWh situato al piano terra della scuola di Economia di Genova nella sottostazione locale di media/bassa tensione con i relativi ausiliari;
- una stazione meteo situata sul tetto dell'edificio;
- il carico locale monitorato, che raccoglie il consumo energetico dell'edificio.





*Figura 3 - Architettura della MicroGrid in Darsena*

#### **4.1.1. Impianto Fotovoltaico**

L'impianto fotovoltaico realizzato ha una potenza nominale di circa 20 kWp ed è connesso in parallelo all'impianto BT dell'edificio in regime di "scambio sul posto". L'area selezionata per l'installazione presenta un'inclinazione di 30° rispetto all'orizzonte, permettendo di poggiare le stringhe di moduli direttamente sulla guaina di copertura, mediante un'ideale struttura portante in elementi di alluminio anodizzato. L'area sulla quale sono stati poggiati i pannelli misura 51 m per una larghezza di 3,3 m.

I pannelli sono stati installati sulla copertura del terzo piano utilizzando l'esistente falda esposta a sud. Gli interventi di automazione dell'impianto elettrico sono stati realizzati all'interno dell'edificio presso i diversi quadri elettrici di distribuzione, con installazione dei conduttori di collegamento necessario per l'estensione dell'impianto bus.

I moduli fotovoltaici utilizzati sono in silicio monocristallino e producono 180 W ciascuno. La dimensione di un pannello è di 1,3 m<sup>2</sup>.

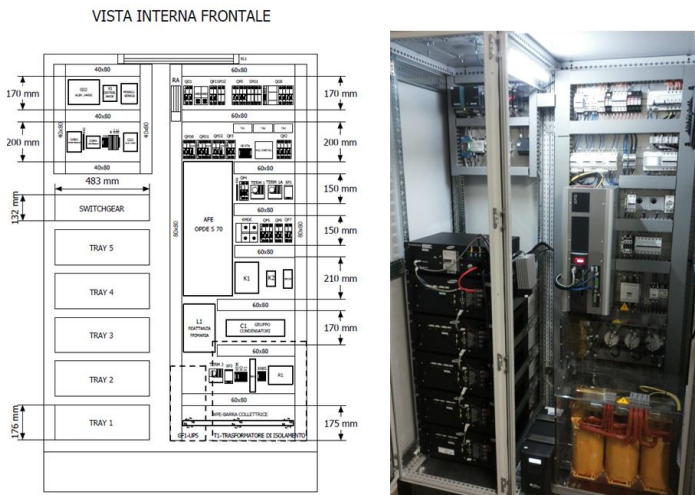
Per il funzionamento dell'impianto fotovoltaico sono collegati due inverter Power-One di taglia 10 kW. Ciascun inverter è inoltre dotato di due inseguitori di massima potenza (MPPT) distinti, in modo da garantire la massima resa dell'impianto anche in condizioni di non perfetto bilanciamento tra le caratteristiche dei moduli e delle condizioni di irraggiamento.



*Figura 4 - Moduli fotovoltaici installati presso il Dipartimento di Economia*

#### **4.1.2. Sistema di Accumulo a Ioni di Litio**

Il dispositivo di accumulo è una batteria a ioni di Litio di taglia 10 kW e 12 kWh e ne è rappresentata la vista interna schematizzata, affiancata da una fotografia della stessa, in Figura 5. In particolare la batteria è composta da 80 celle, ciascuna da 3.7 V per una capacità totale di 40 Ah.



*Figura 5 - Vista interna frontale e fotografia dei componenti del sistema di accumulo*

La Figura 6 illustra lo schema di comunicazione dell'accumulo. Tutti i componenti sono collegati attraverso appositi convertitori a una rete Ethernet. Il gruppo composto dai cinque moduli da 2 kWh è gestito dal BMS (Battery Management System) e utilizza uno standard seriale CAN (Controller Area Network) proprietario che comunica con la rete grazie a un convertitore CAN-Ethernet. L'inverter è collegato tramite protocollo RS485 seriale a un misuratore generale che a sua volta comunica con la rete attraverso un con-

vertitore RS485 – Ethernet. Dalla rete ethernet i dati arrivano allo SCADA dell'UNIGE passando per un controllore HMI che converte i dati in protocollo MODBUS TCP/IP.

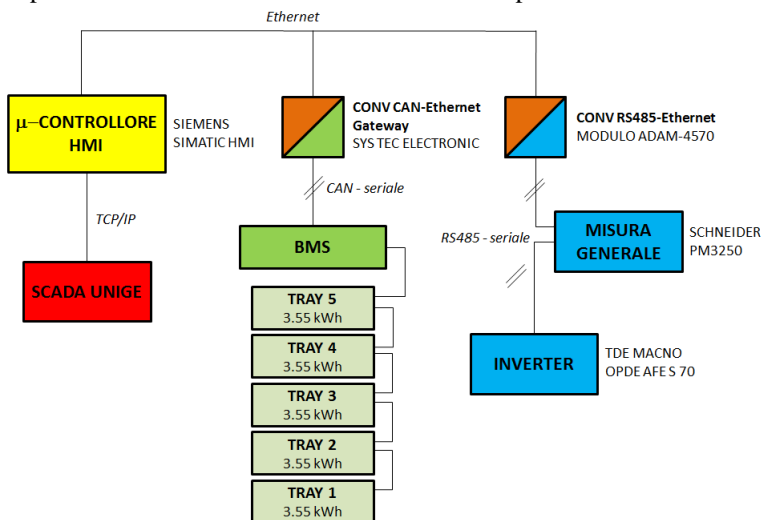


Figura 6 - Schema di comunicazione del sistema di accumulo

#### 4.1.3. Stazione Meteorologica

Sul tetto della struttura è stata installata una Stazione Meteo DAVIS per fornire misure meteo dettagliate. Le principali grandezze archiviate sono:

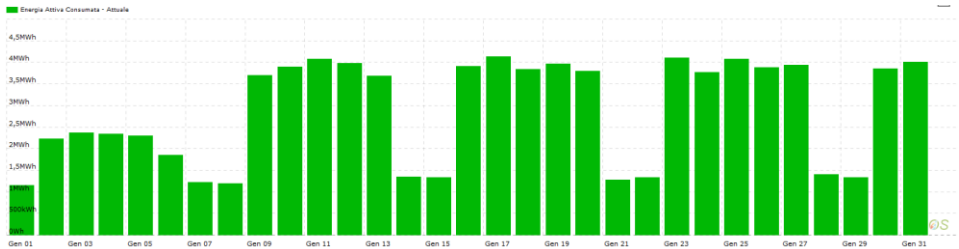
- Pressione
- Temperatura interna ed esterna
- Umidità
- Velocità e direzione del vento
- Precipitazioni del giorno
- Radiazione solare

#### 4.1.4. Scuola di Economia

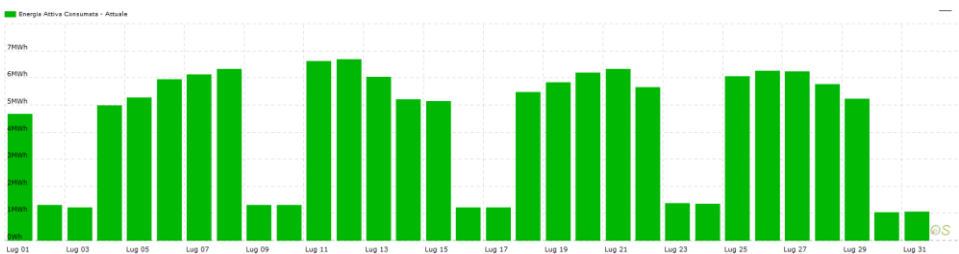
L'edificio del Dipartimento di Economia presenta storicamente un consumo di energia elettrica significativo. Questo giustifica una campagna di monitoraggio continua e di dettaglio, per poter identificare le aree maggiormente energivore e di conseguenza impostare specifiche attività di audit finalizzate all'ottimizzazione dei consumi e conseguente contenimento della spesa per l'energia elettrica.

L'edificio in esame presenta una volumetria complessiva lorda di circa 59.000 m<sup>3</sup> ed è climatizzato interamente. Tramite il monitoraggio in tempo reale dei consumi di energia elettrica vengono registrati i consumi dell'intera struttura, i quali ammontano a circa 1 GWh/anno. Inoltre il consumo di gas metano per il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria ammonta a circa 107.000 Nm<sup>3</sup>/anno.

Attualmente l'edificio assorbe circa 4 MWh al giorno in inverno e circa 6 MWh in estate a causa dell'attività delle utenze dedicate al raffrescamento come mostrato in Figura 7 e Figura 8.



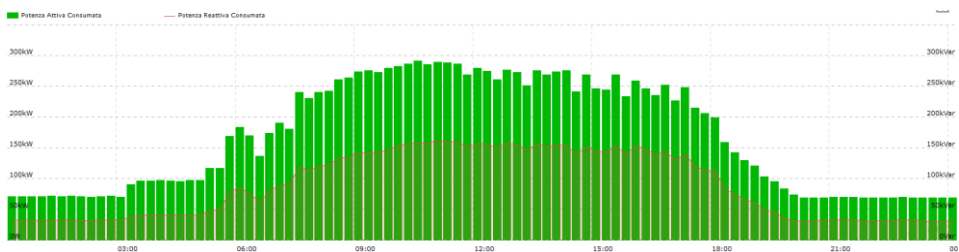
*Figura 7 - Consumi di energia giornalieri Gennaio 2017*



*Figura 8 - Consumi giornalieri di energia Luglio 2016*

Dai grafici è possibile notare come i consumi di energia elettrica siano minori durante i giorni del fine settimana, in quanto l'attività dell'edificio è prettamente concentrata dal Lunedì al Venerdì.

Di seguito in Figura 9 viene mostrato un esempio di profilo di assorbimento di potenza attiva (istogramma verde) e reattiva (area rossa) ai 15 minuti dell'edificio Darsena. È possibile notare una baseline di assorbimento di circa 60 kW costanti dovuti principalmente ad utenze di emergenza e server operativi 24 ore su 24 e un aumento dei consumi fino quasi a 300 kW durante le ore con maggiore attività..



*Figura 9 - Esempio di profilo di assorbimento di potenza attiva e reattiva*

## **4.2. Algoritmo di Ottimizzazione per la Microgrid**

In generale per poter gestire un insieme di sorgenti di generazione distribuita in una configurazione di microgrid in maniera efficiente occorre definire un programma di generazione in modo da sfruttare le risorse nella maniera più proficua dal punto di vista economico.

Per una microgrid i prelievi di potenza elettrica sull'arco delle 24 ore possono essere stimati attraverso diverse tecniche [9],[10]. Il vincolo principale del problema di ottimo presentato in questa sezione è quello legato al soddisfacimento della domanda di carico elettrico.

Data una microrete su cui effettuare la gestione, la valutazione della produzione è legata ad una scelta economica volta ad appurare se convenga o meno auto-produrre tutta la richiesta di carico, oppure produrne solo una frazione e acquisire la restante parte dalla rete prevalente.

L'energia immessa in e/o prelevata dalla rete è regolata in base ai contratti con il Gestore di Rete, e quindi la migliore strategia di gestione va basata sull'analisi dei costi variabili legati sostanzialmente al combustibile e ai possibili guadagni negli scambi di energia elettrica.

Il caso studio in questo articolo consiste in una microgrid collegata ad una rete di distribuzione pubblica, regolata secondo un contratto tra il gestore dell'impianto e il gestore della rete di tipo "puramente economico".

L'algoritmo di ottimizzazione implementato, ha il compito di stabilire i punti di lavoro, quarto d'ora per quarto d'ora per il sistema di accumulo presente presso la Facoltà di Economia in Darsena cercando così di minimizzare i costi. La programmazione viene effettuata il giorno precedente all'effettivo esercizio e tenendo in considerazione i valori previsti di:

- Carico elettrico e termico;
- Produzione da fonti rinnovabili.

Il controllo ottimo dei punti di lavoro per la batteria è effettuato con orizzonte temporale 24 ore e granularità 15 minuti (96 intervalli totali).

I punti di lavoro ottimali del sistema di accumulo sono determinati sfruttando:

- previsione curva del carico elettrico della microrete;
- previsione di produzione dell'impianto fotovoltaico;
- costo dell'energia;
- limiti di massima e minima produzione della batteria;
- stato iniziale di carica dell'unità di accumulo.

In questo caso la previsione della curva di carico elettrico viene fornita da un algoritmo che sfrutta un metodo avanzato basato sulle reti neurali [11], mentre le previsioni di produzione da impianto solare viene eseguita sfruttando una procedura deterministica che analizza le misure fornite dalla stazione meteo precedentemente descritta [12].

Il problema di ottimizzazione ha come funzione obiettivo la minimizzazione dei costi di approvvigionamento di energia della microrete. I vincoli tecnici per il sistema di accumulo all'interno del problema di ottimo sono i seguenti:

- dinamica energetica della batteria

$$E^r = E^{(r-1)} - \Delta t P^{(r-1)} \quad \text{con } r=1, \dots, 96$$

$$E^{R+1} = E^R - \Delta t P^R$$

$$E^1 = E^0$$

- vincoli dovuti ai limiti di generazione in potenza ed energia del sistema di accumulo

$$p^{\min} \leq p^r \leq p^{\max} \quad \text{con } r = 1, \dots, 96$$

$$E \leq E^{\max}$$

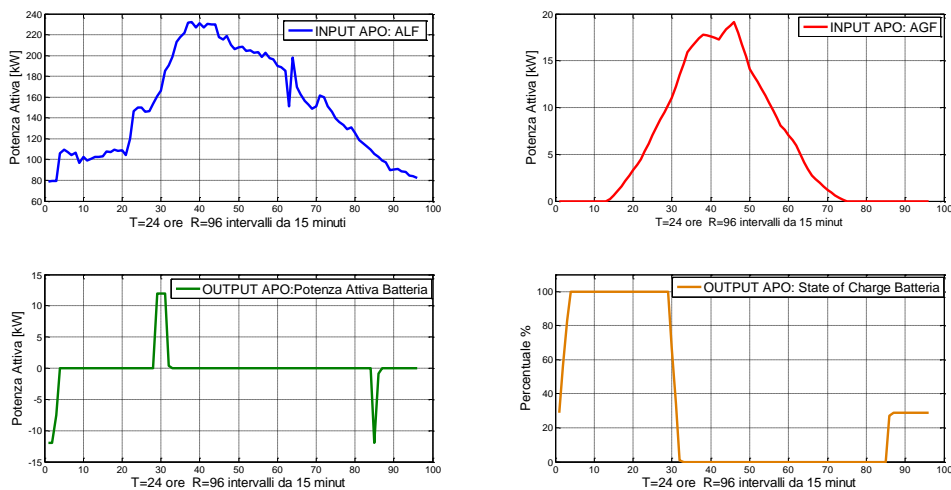
dove  $E^r$  è il livello dell'energia accumulata al tempo  $r$ ,  $P$  è il valore di potenza all'istante  $r$ ,  $P^{\min}$  e  $P^{\max}$  sono i valori di potenza minima e massima, e  $\Delta t$  è pari a 15 minuti.

La Figura 10 contiene 4 curve che descrivono gli input e gli output dell'algoritmo proposto applicato al controllo della Microgrid della sede di Darsena per il giorno 10 Marzo 2017. La curva blu rappresenta l'input fornito dall'algoritmo di previsione del carico elettrico, mentre quella rossa l'input fornito dall'algoritmo di previsione di generazione da fonte solare.

Le successive due figure mostrano i due output della procedura di ottimizzazione presentata, ossia i 96 set point di potenza attiva della batteria per il giorno successivo (curva verde) e i 96 valori percentuali di stato di carica previsti (curva arancione).

Si ricorda che oltre agli input forniti da ALF e AGF l'algoritmo proposto necessita anche di tutti i dati tecnici dei dispositivi della microrete.

Si può facilmente osservare dalla Figura 10 che la batteria immette energia in rete durante il periodo di maggiore richiesta di carico, mentre si ricarica nelle ore notturne quando la domanda energetica è minore e il prezzo di approvvigionamento dalla rete prevalente si trova nella fascia più economica. Quanto appena detto è in linea con l'obiettivo principale dell'algoritmo di minimizzare i costi di approvvigionamento energetico dell'edificio sul quale è installata la microrete.



*Figura 10 - Esempio di input/output per la programmazione dell'algoritmo*

## CONCLUSIONI

L'articolo ha presentato l'esperienza relativa all'utilizzo di una piattaforma di monitoraggio dei consumi elettrici per l'efficientamento energetico degli edifici dell'Università degli Studi di Genova. In particolare è stato descritto nel dettaglio il sistema di monitoraggio e sono stati illustrati alcuni dei possibili vantaggi della sua applicazione. Inoltre è stata presentata la microgrid installata presso la scuola di Economia e costituita da un impianto fotovoltaico, un sistema di accumulo e dal carico relativo

all'edificio stesso. La microrete è stata analizzata tramite il software di monitoraggio e su di essa sono stati effettuati dei test utilizzando un algoritmo di ottimizzazione per la gestione ottimale integrata di produzione, consumo e accumulo. I risultati ottenuti hanno provato le potenzialità del metodo provato. Possibili sviluppi futuri per questa strategia possono riguardare un controllo in tempo reale del sistema integrato impianto fotovoltaico-batteria.

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] Ki-Uhn Ahn, Cheol-Soo Park, "Correlation between occupants and energy consumption", *Energy and Buildings*, Volume 116, 15 March 2016, Pages 420-433, ISSN 0378-7788
- [2] Jaime André Back, Leonel Pablo Tedesco, Rolf Fredi Molz, Elpidio Oscar Benitez Nara, WAN embedded system approach for energy monitoring and analysis in industrial processes", *Energy*, Volume 115, Part 1, 15 November 2016, Pages 811-819, ISSN 0360-5442
- [3] C. Menezes, A. Cripps, D. Bouchlaghem, R. Buswell, "Predicted vs. actual energy performance of non-domestic buildings: using post-occupancy evaluation data to reduce the performance gap", *Appl. Energy*, 97 (2012), pp. 355–364
- [4] A. Bagnasco, S. Massucco, F. Silvestro, A. Vinci "Monitoraggio intelligente dei consumi dell'Ateneo Genovese", *Automazione e Strumentazione*, Anno LXI- no.2, pp.82-85, March 2013
- [5] A. Bagnasco, R. Piccolo, F. Silvestro, A. Vinci, "Miglioramento dell'efficienza energetica in ambito ospedaliero: modello funzionale e caso studio della clinica oculistica dell'Università di Genova", *Alge* 2012, 9-12 Giugno 2012, ISBN 978-88-97320-04-03
- [6] Chung, W., Hui, Y.V., & Lam, Y.M. (2006). "Benchmarking the energy efficiency of commercial buildings.", *Applied Energy*, 83, 1-14.
- [7] W. Chung. "Review of building energy-use performance benchmarking methodologies", *Applied Energy*, 88 (5) (2011), pp. 1470–1479
- [8] Z. Li, Y. Han, P. Xu, "Methods for benchmarking building energy consumption against its past or intended performance: an overview", *Appl. Energy*, 124 (2014), pp. 325–334
- [9] R. Missaoui, H. Joumaa, S. Ploix, S. Bacha, "Managing energy Smart Homes according to energy prices: analysis of a building energy management system", *Energy Build.*, 71 (2014), pp. 155–167
- [10] R. Platon, V.R. Dehkordi, J. Martel, "Hourly prediction of a building's electricity consumption using case-based reasoning, artificial neural networks and principal component analysis", *Energy Build.*, 92 (2015), pp. 10–18
- [11] A. Bagnasco, F. Fresi, M. Saviozzi, F. Silvestro, A. Vinci, "Electrical Consumption Forecasting in Hospital Facilities An Application Case", *Energy and Buildings*, Vol. 103, pp. 261-270, September 2015, DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.05.056
- [12] F. Adinolfi, F. D'Agostino, S. Massucco, M. Saviozzi, F. Silvestro, "Advanced Operational Functionalities for a Low Voltage Microgrid Test Site", *IEEE PES General Meeting*, Denver, 26-30 July 2015, DOI: 10.1109/PESGM.2015.7285953