



Ricerca di Sistema elettrico

## Testing e verifica delle funzionalità della rete mesh e delle misure eseguite dai sensori

G. Gatto, A. Kumar, M. Losito, A. Vincis



## TESTING E VERIFICA DELLE FUNZIONALITÀ DELLA RETE MESH E DELLE MISURE ESEGUITE DAI SENSORI

G. Gatto, A. Kumar, M. Losito, A. Vincis (Università degli Studi di Cagliari - Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica)

Dicembre 2021

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico (oggi Ministero della Transizione Ecologica) - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - III annualità

Obiettivo: *N. 1 - Tecnologie*

Progetto: *1.5 - Tecnologie, tecniche e materiali per l'efficienza energetica ed il risparmio di energia negli usi finali elettrici degli edifici nuovi ed esistenti*

Work package: *1 - Edifici ad alta efficienza energetica*

Linea di attività: *LA1.37 - Testing e verifica delle funzionalità della rete mesh e delle misure eseguite dai sensori e valutazione di affidabilità della metodologia*

Responsabile del Progetto: Giovanni Puglisi, ENEA

Responsabile del Work package: Domenico Iatauro, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione *"Sviluppo di sensoristica con sistemi di energy harvesting e loro applicazione per la progettazione integrata"*

Responsabile scientifico ENEA: Giovanni Puglisi

Responsabile scientifico UNICA - DIEE: Gianluca Gatto

## Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	7
2.1 REALIZZAZIONE DEI DISPOSITIVI E DELLA RETE .....	7
2.1.1 Scheda Z-Wave – Controller.....	7
2.1.2 UZB Stick .....	7
2.1.3 Schede Z-Wave – ZUno Board .....	7
2.1.4 Scheda Z-Wave – GridEye .....	7
2.1.5 Scheda Z-Wave – CO <sub>2</sub> , VOC, Temperatura e Umidità Relativa.....	8
2.1.6 Scheda Z-Wave – Misuratore di parametri elettrici.....	9
2.2 VERIFICA DELLE FUNZIONALITÀ.....	11
3 CONCLUSIONI.....	13
4 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	13
APPENDICE.....	13

## Sommario

L'obiettivo dell'attività relativa alla LA 1.37 affidata al Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica (DIEE) dell'Università degli Studi di Cagliari è stato quello di realizzare dei device caratterizzati da un basso costo di realizzazione e gestione (manutenzione e consumi energetici), idonei al monitoraggio dei parametri ambientali (CO<sub>2</sub>, VOC, temperatura, umidità relativa) e delle presenze in ambienti indoor (GridEye), costituenti una rete di sensori wireless gestita da un dispositivo elettronico (controller o gateway). I sensori, che fungono anche da nodi di rete, utilizzano la tecnologia mesh ed in particolare il protocollo Z-Wave, mentre il gateway comunica verso il cloud mediante una semplice connessione wi-fi. I dati rilevati sono resi disponibili mediante una piattaforma in cloud agli operatori, per essere elaborati e utilizzati ad esempio per il calcolo degli indici di comfort o per effettuare un'ottimizzazione energetica dell'edificio. La rete di sensori, realizzata in laboratorio, è stata sottoposta ad opportuni test finalizzati alla verifica delle loro performance, sia in termini di copertura radio e affidabilità del dato rilevato sia in termini energetici.

L'aspetto di maggior interesse dal punto di vista tecnico-scientifico del sistema realizzato ha riguardato la riduzione dei consumi di energia dei nodi sensore e del gateway, grazie all'utilizzo delle tecnologie "low power" e all'implementazione delle tecnologie di Energy Harvesting. Queste ultime consentono, captando l'energia ambientale disponibile e trasformandola in energia elettrica, un prolungamento dell'autonomia energetica dei sensori wireless ed una riduzione del costo della manutenzione periodica legata alla sostituzione della batteria. L'Energy Harvesting potrà consentire, nel prossimo futuro, di realizzare sensori radio autoalimentati, low cost, che non necessitano di batterie ma solo di un piccolo dispositivo per l'accumulo dell'energia elettrica chiamato super condensatore. Ciò consentirebbe di ridurre l'impatto ambientale dei sensori non solo in termini di energia impiegata per il loro funzionamento ma anche in termini di smaltimento di rifiuti speciali come gli accumulatori. Come è ben noto, le attuali tecnologie agli ioni di litio contengono un'elevata percentuale di metalli pesanti pericolosi che occorre smaltire e riciclare con dei costi non trascurabili. A tal proposito, si stanno sviluppando nell'ambito del progetto ReLionBat delle tecnologie a basso costo per il riciclaggio ed il recupero dei metalli pesanti presenti nelle batterie di ultima generazione.

Operativamente, la rete di sensori realizzata è stata installata presso il Centro Ricerche Sotacarbo, nella città di Carbonia, dove è attualmente operativa e raccoglie e trasmette i parametri ambientali e di presenza sulla piattaforma "in cloud". In particolare, la gestione dei dati acquisiti tramite i dispositivi sensori appartenenti alla rete è stata affidata alla piattaforma *open source* ThingsBoard. È stata scelta questa soluzione perché è in linea con le politiche di digitalizzazione di Industria 4.0 ed è un prodotto "free" facilmente adattabile alle esigenze di progetto.

Nel presente report vengono dunque descritte le attività di testing sulla rete di sensori, con lo scopo di verificare la funzionalità sia dei singoli dispositivi che della rete, per valutare la correttezza delle misure effettuate e del funzionamento del complessivo sistema proposto.

## 1 Introduzione

Durante lo svolgimento dell'attività di progetto e realizzazione dei sensori, previste nella LA 1.37, sono state realizzate due tipologie di dispositivi:

- 1) sensore multi-parametrico, capace di misurare contemporaneamente la concentrazione di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), composti organici volatili (VOC), temperatura e umidità relativa nell'aria;
- 2) sensore per il rilevamento della presenza di persone all'interno di ambienti indoor.

I sensori della prima tipologia, dotati di sistema di comunicazione radio "Z-Wave based" sono stati dotati di un sistema di captazione dell'energia ambientale "Energy Harvesting" in grado di operare come ausilio energetico del nodo sensore, al fine di garantire il prolungamento dell'autonomia del dispositivo. In particolare, il sistema di Harvesting consente di tenere in carica il sistema di accumulo, costituito di una batteria agli ioni di litio ed un super condensatore, quando il carico assorbe la minima corrente (durante il periodo di "sleep") e di fornire energia per soddisfare completamente o parzialmente (dipendentemente dalla produzione di energia da parte dell'Harvester) la richiesta di corrente durante l'operatività del sensore stesso. Questa modalità di funzionamento consente di aumentare l'efficienza complessiva del dispositivo.

I sensori della seconda tipologia sono attualmente alimentati dalla sola rete elettrica perché, dovendo monitorare continuamente un varco per individuare il numero di persone presenti all'interno di un determinato ambiente, presentano dei consumi energetici non compatibili con la tecnologia di Energy Harvesting. Sono tuttavia in fase di studio altre tecnologie, sempre basate su matrici di sensori all'infrarosso, più parchi dal punto di vista energetico e che saranno in grado di poter monitorare i varchi con un'alimentazione "battery-assisted" da sistemi di Energy Harvesting.

Entrambe le tipologie di sensori sono state messe in comunicazione tra loro e con un gateway Z-Wave, posizionato all'interno di uno degli ambienti monitorati (Room A), in grado di comunicare con tutti i dispositivi presenti facenti parte della rete mesh. Infatti, i sensori alimentati mediante rete elettrica svolgono anche la funzione di ripetitori Z-Wave, consentendo in tal modo la realizzazione della rete mesh nonché l'estensione della portata del segnale radio Z-Wave.

I dispositivi sensore alimentati a batteria sono stati dotati di un pannello fotovoltaico miniaturizzato che consente di captare l'energia associata alla radiazione elettromagnetica nel campo delle lunghezze d'onda comprese tra 200 nm e 1100 nm. Il dispositivo di captazione consente di sfruttare sia la radiazione artificiale prodotta dagli apparecchi per l'illuminazione degli interni (lampade) sia la radiazione solare proveniente dalle superfici vetrate. I dispositivi sono configurati in modo da operare in modalità "sleep" finché non ricevono un apposito segnale di "wake-up" da parte del gateway, configurabile tramite interfaccia web. Questa funzione consente di predeterminare, per ogni sensore, il rating della misura adattandola facilmente alle specifiche.

Sul gateway è stato installato un apposito firmware che consente di operare, grazie anche all'adozione del software Zway, con dispositivi Z-Wave; inoltre, è possibile implementare sul gateway, oltre agli strumenti per gestire la rete mesh "Z-Wave", anche altre funzioni come la gestione e la preelaborazione dei dati acquisiti. Operativamente, il gateway è stato connesso alla rete wi-fi presente all'interno dell'edificio del Centro Ricerche Sotacarbo utilizzando il protocollo TCP/IP.

Più in dettaglio, il gateway è stato configurato per eseguire le interrogazioni dei nodi sensore ad esso associati e per inviare i dati, con un intervallo di dieci minuti, ad un servizio "in cloud" (ThingsBoard) utile per eseguire il monitoraggio da remoto delle grandezze misurate. Questa piattaforma "IoT platform" consente di mettere a sistema e successivamente di integrare tutti i dati generati dai diversi dispositivi IoT (nodi sensore) che si trovano all'interno degli ambienti di riferimento. Tale sistema potrebbe essere anche utilizzato per applicazioni industriali, diventando di fatto IoT (Industrial Internet of Things) platform. La piattaforma scelta consente di gestire e integrare qualsiasi oggetto "smart", ovvero dotato di tecnologie abilitanti che consentono l'interazione con l'ambiente circostante e lo scambio di dati in tempo reale. La piattaforma (IoT platform) gestisce la raccolta, l'elaborazione e l'analisi dei dati generando informazioni utili a prendere decisioni e ottimizzare i processi dall'efficientamento energetico, al controllo del comfort, alla sicurezza.

## 2 Descrizione delle attività svolte e risultati

Di seguito si riporta la descrizione delle attività svolte nell'ambito della LA 1.37, dell'hardware utilizzato per la realizzazione dei dispositivi e della rete mesh nonché degli aspetti relativi alla fase di testing funzionale.

### 2.1 Realizzazione dei dispositivi e della rete

#### 2.1.1 Scheda Z-Wave – Controller

La scheda Z-Wave controller è stata realizzata utilizzando una unità Raspberry PI 3 B+, diversamente da quanto era stato adottato per la realizzazione dei dispositivi in fase prototipale, in cui si era optato per un Raspberry PI Zero W.

#### 2.1.2 UZB Stick

Nella scheda è stato montato un Z-Wave USB Stick (UZB) che ha consentito di utilizzare il Raspberry come controllore della rete Z-Wave, unitamente al software di gestione della rete Z-Wave stessa, denominato ZWay.

#### 2.1.3 Schede Z-Wave – ZUno Board

Le schede elettroniche realizzate fanno utilizzo della board ZUno basata sui processori della Silicon Labs, appartenenti alla famiglia dei moduli Z-Wave 500 ZM5101. La Board consente di implementare il sistema di controllo dei sensori, le eventuali operazioni di elaborazione dei segnali e la gestione della comunicazione Z-Wave mediante la programmazione del chip e servendosi dell'ambiente di sviluppo Arduino IDE.

Nella scheda dei sensori ambientali (CO<sub>2</sub>, VOC, RH e T), ZUno è stato utilizzato per comunicare, mediante il protocollo I2C, coi sensori CO<sub>2</sub>, VOC, RH e T a bordo scheda e mediante il protocollo Z-Wave con il gateway e coi dispositivi router Z-Wave.

#### 2.1.4 Scheda Z-Wave – GridEye

La scheda GridEye (figura 1) è un End-Device Z-Wave di tipo FliRS (Frequently Listening Routing Slaves) che consente di eseguire il conteggio delle persone che transitano attraverso un varco; ciò permette quindi il monitoraggio delle persone presenti all'interno di un determinato ambiente.

Nella scheda sensore presenze (GridEye), ZUno è stato utilizzato esclusivamente per l'invio dei dati al gateway tramite rete Z-Wave e per ricevere a sua volta i dati da un secondo microcontrollore dedicato all'esecuzione dell'algoritmo di "pattern recognition". Sono stati svolti diversi test relativi alle funzionalità dell'algoritmo di "pattern recognition". In particolare, sono stati testati diversi parametri di sensibilità nel riconoscimento del passaggio delle persone. Tali test sono stati svolti utilizzando un'uscita seriale del microcontrollore dedicato alla esecuzione dell'algoritmo, al fine di monitorare gli eventi riconosciuti o eventuali comportamenti non previsti, come ad esempio falsi passaggi (entrate /uscite) oppure errori di altra natura (ad es. comunicazione seriale disturbata).

A tal proposito è stato scelto di utilizzare una velocità di comunicazione “baud rate” espressa in bps di 19.200 invece che 115.200, sufficiente per le finalità di progetto. I parametri di sensibilità sono stati regolati empiricamente e in tempo reale, durante tutta la fase dei test.



Figura 1 – la scheda sensore GridEye realizzata.

#### 2.1.5 Scheda Z-Wave – CO<sub>2</sub>, VOC, Temperatura e Umidità Relativa

La scheda realizzata (figura 2) è un End-Device Z-Wave che consente di eseguire due tipi di monitoraggio:

1. la verifica della qualità dell’aria mediante la misurazione e il monitoraggio dei valori di CO<sub>2</sub> e VOC all’interno di un ambiente, sfruttando il sensore CCS811;
2. la verifica della temperatura e dell’umidità relativa dell’aria mediante la misurazione di tali parametri all’interno dell’ambiente utilizzando il sensore SCC30.

All’interno di tale scheda è stato inserito un sistema di Energy Harvesting che fa utilizzo del chip BQ25570. Ad esso è stato collegato un modulo fotovoltaico flessibile di tipo amorfo della potenza massima di 300 mW, installato esternamente al case plastico del dispositivo, e una batteria di tipo Li-PO interna.

Il sistema di alimentazione dei due chip viene gestito dal dispositivo ZUno mediante due modalità:

- la prima riguarda l'accensione e lo spegnimento del sensore utilizzando degli interruttori elettronici basati su tecnologia MOS;
- la seconda riguarda la modalità di funzionamento sia dei sensori che dello stesso ZUno.

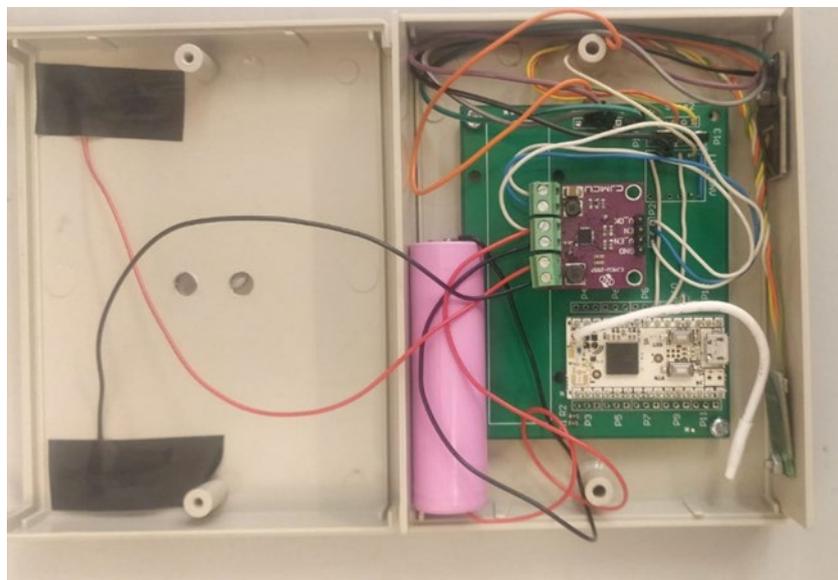
La prima modalità è stata realizzata inserendo, per ogni sensore, un interruttore elettronico a bassa resistenza RDS\_ON, connesso in serie all’alimentazione. Il dispositivo ZUno, mentre è in modalità “sleep”, effettua lo spegnimento dei due sensori, riducendo quindi il consumo della batteria.

Quando il dispositivo ZUno si “sveglia”, esso attiva prima un sensore (CO2 e VOC), ne esegue l'interrogazione mediante protocollo I2C e successivamente lo spegne per poi passare alla medesima procedura per il secondo sensore (Temperatura e Umidità Relativa).

È stato eseguito un test di funzionalità del sistema di Energy Harvesting associato alla modalità operativa appena descritta, utilizzando un oscilloscopio della Agilent Technologies, modello InfiniiVision DSO-X 3054A, al quale sono state collegate una sonda di corrente e tre sonde di tensione.

La sonda di corrente, modello Agilent N2893A, è stata inserita nel polo positivo della batteria al fine di osservare i segnali elettrici sia in carica che in scarica, ed è stato osservato che, quando il dispositivo è in modalità “sleep”, la batteria tende a ricaricarsi mentre quando il dispositivo si risveglia, il flusso di energia elettrica è in uscita dalla batteria per un intervallo di circa 1 secondo. L'assorbimento di corrente massimo osservato in tale intervallo di tempo è di circa 40 mA.

Questa modalità di funzionamento, verificata con la strumentazione, consente il prolungamento della durata di carica della batteria.



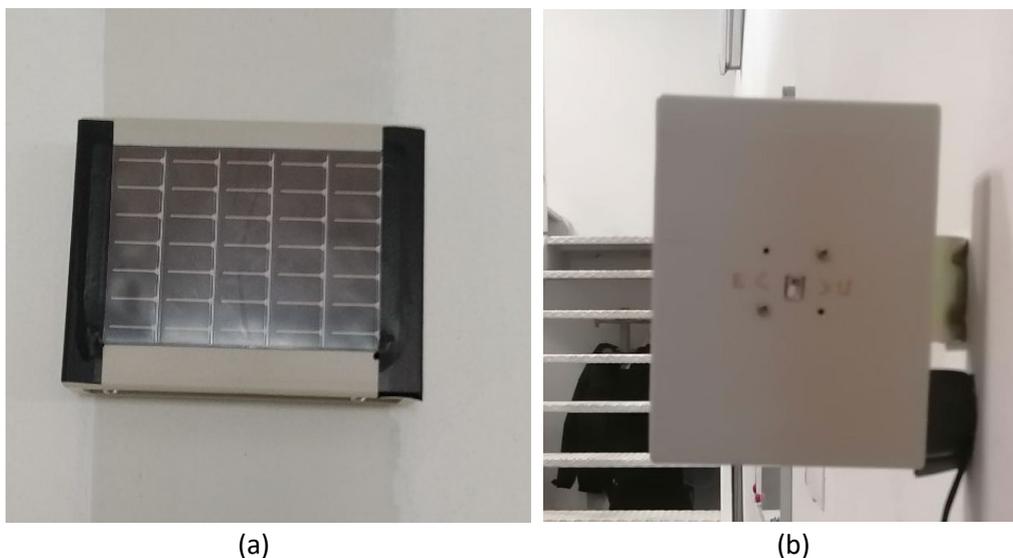
**Figura 2 – la scheda sensore CO2, VOC, Temperatura e Umidità Relativa.**

#### 2.1.6 Scheda Z-Wave – Misuratore di parametri elettrici

Il misuratore di parametri elettrici è stato installato e testato nella rete elettrica del Centro Ricerche Sotacarbo, luogo individuato per l'installazione della rete mesh realizzata. Ciò ha consentito di verificare il corretto monitoraggio dei parametri elettrici mediante interfaccia ZWay e piattaforma “in cloud” ThingsBoard.

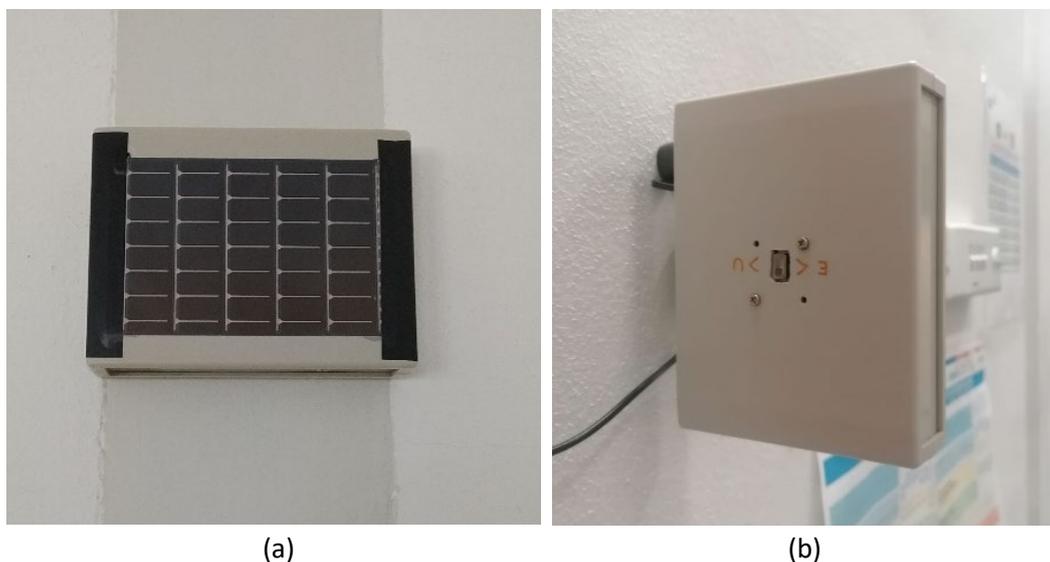
Il complessivo sistema, preliminarmente testato in laboratorio presso il DIEE, è stato quindi installato presso la sede del Centro Ricerche Sotacarbo, scegliendo due ambienti separati (denominati Room A e Room B), in ognuno dei quali è stato installato un sensore multi-parametrico CO2, VOC, RH e T e un sensore per il conteggio della presenza delle persone (figure 3 e 4).

Dispositivi installati nella Room A (figura3).



(a) (b)  
**Figura 3 – I dispositivi CO2, VOC, RH e T (a) e GridEye (b).**

Dispositivi installati nella Room B (figura 4).



(a) (b)  
**Figura 4 - I dispositivi CO2, VOC, RH e T (a) e GridEye (b).**

Nella Room A è stato inoltre installato il gateway Z-Wave, che riceve i dati da tutti i sensori appartenenti alla rete (figura 5).



Figura 5 – il gateway installato.

## 2.2 Verifica delle funzionalità

La verifica delle funzionalità del sistema è stata effettuata su tre livelli distinti:

- il primo livello è consistito nella verifica dei valori letti dai sensori localmente, cioè a livello di microcontrollore, mediante un'interfaccia seriale e la connessione della scheda elettronica a un PC per ottenere il monitoraggio dei valori, utilizzando il software Putty. Tale software è sia un emulatore di terminale open source che una console seriale e un'applicazione di trasferimento file di rete; consente la connessione a una porta seriale e il monitoraggio di tutto ciò che transita attraverso essa;
- il secondo livello ha riguardato gli aspetti relativi alla ricezione dei dati trasmessi dai microcontrollori tramite la rete Z-Wave. Essi sono stati confrontati coi valori visualizzati nell'interfaccia ZWay (interfaccia web di gestione della rete Z-Wave che viene eseguita localmente nel gateway) ricevuti mediante la comunicazione Z-Wave, ed è stato verificato in tal modo il corretto funzionamento del sistema di trasmissione;
- il terzo livello ha riguardato la verifica della comunicazione del gateway col sistema "in cloud". Sono stati confrontati i valori letti nell'interfaccia web locale Zway con l'interfaccia "in cloud" mediante la piattaforma ThingsBoard ed è stato in tal modo confermato il corretto funzionamento di tutto il sistema realizzato.

Inoltre, sono stati svolti dei test per verificare la formazione della rete Z-Wave mediante l'applicazione web Zway. Infatti, essa fornisce degli strumenti di monitoraggio di tutte le funzionalità della rete. In particolare, è presente una funzione, disponibile soltanto nella modalità "ExperUI", con la quale si ha la possibilità di monitorare sia il traffico dati transitante nella rete Z-Wave sia le connessioni tra i differenti dispositivi presenti nella rete Z-Wave.

Da questa interfaccia è stato possibile inoltre visualizzare, tramite un diagramma user friendly, tutti i dispositivi presenti nella rete, lo stato del dispositivo, la connessione diretta del dispositivo al gateway o ad altri dispositivi (ad es. router), il numero di pacchetti inviati e ricevuti dal dispositivo e altri dati di interesse per il monitoraggio delle funzionalità della rete Z-Wave.

L’invio dei dati è stato realizzato tramite rete internet, wi-fi o cablata, e questi sono stati raccolti mediante il servizio “in cloud” ThingsBoard che ha fornito tutte le funzionalità per il salvataggio dei dati e per la loro rappresentazione mediante widget configurabili e utilizzabili in ambiente web.

Si riporta di seguito (figura 6) una videata del servizio ThingsBoard nella quale è possibile visualizzare un certo numero di informazioni provenienti dal sistema proposto in un intervallo temporale selezionato. È possibile, inoltre, scaricare i dati al fine di poter eseguire ulteriori operazioni di processamento da parte dell’utente.



figura 6 – schermata del servizio “in cloud” ThingsBoard.

### 3 Conclusioni

Il presente report ha messo in evidenza le attività realizzate e i risultati raggiunti nell'ambito della LA 1.37 di progetto. In particolare, partendo dalla definizione in forma prototipale dei dispositivi, ottenuta nella LA 1.36, si è proceduto dapprima alla realizzazione dei dispositivi sensori (CO<sub>2</sub>, VOC, Temperatura, Umidità relativa, GridEye) e del gateway e in seguito alla formazione della rete mesh proposta in progetto. Su ciascun dispositivo realizzato e sul complessivo sistema sono stati effettuati test funzionali di laboratorio presso il DIEE al fine di verificare il funzionamento degli stessi e la correttezza della trasmissione e gestione dei dati osservati. Le attività di testing funzionale hanno evidenziato la corretta realizzazione dei dispositivi e l'efficace formazione della rete di sensori proposta. Tali considerazioni sono state confermate nella fase di installazione del sistema presso il Centro Ricerche Sotacarbo.

Nel panorama delle piattaforme "in cloud" dedicate all'IoT (Internet degli Oggetti) è stata scelta la piattaforma ThingsBoard che consente sia una chiara rappresentazione grafica e numerica dei dati raccolti sia un facile utilizzo da parte degli utenti.

### 4 Abbreviazioni ed acronimi

CO<sub>2</sub> - Anidride Carbonica o Diossido di Carbonio

FliRS - Frequently Listening Routing Slaves

I<sub>2</sub>C - Deriva da IIC - Inter Integrated Circuit

IoT – Internet of Things

MOS - Metal Oxide Semiconductor

RH - Relative Humidity

T – Temperatura

VOC - Volatile Organic Compounds

## Appendice

**Gianluca Gatto** è Professore Ordinario di Convertitori, Macchine Elettriche e Azionamenti presso il Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica (DIEE) dell'Università degli Studi di Cagliari. La sua attività di ricerca è focalizzata su convertitori elettronici di potenza, azionamenti elettrici, compatibilità elettromagnetica in ambito industriale e civile, pianificazione delle risorse energetiche con riferimento all'utilizzo di sistemi di accumulo per reti di distribuzione e integrazione di edifici con sensori per la misurazione di parametri di funzionamento, come il consumo di energia e le condizioni ambientali. Ricopre inoltre il ruolo di Direttore Scientifico del Laboratorio di Compatibilità Elettromagnetica, sovrintendendo al coordinamento dell'attività di ricerca teorica e sperimentale e fornendo servizi accessibili al territorio.

Da diversi anni è coinvolto nello sviluppo di modelli matematici di convertitori elettronici di potenza, che vengono utilizzati per l'alimentazione di apparecchiature elettromedicali, al fine di minimizzare il livello di emissioni elettromagnetiche.

Negli ultimi anni ha implementato attività di ricerca e sviluppo relative alla caratterizzazione funzionale di dispositivi medici impiantabili, in particolare pacemaker e defibrillatori, anche in presenza di rumore elettromagnetico. In questo contesto, detiene due brevetti come co-inventore.

Attualmente è a capo delle attività di ricerca relative ai dispositivi wide band gap (MOSFET SiC e GaN) per convertitori di elettronica di potenza ad alte prestazioni. In questo contesto, ha sviluppato diversi prototipi di convertitore di potenza bidirezionali ad alta efficienza, da utilizzarsi per la gestione dei sistemi di accumulo in ambito automotive. È stato Principal Investigator di diversi progetti di ricerca in ambito nazionale e regionali. È autore di più di 110 articoli di ricerca peer-reviewed su riviste internazionali presentati in varie conferenze nazionali e internazionali. È membro attivo della IEEE Society, con affiliazioni alla Industrial Electronic Society, alla Electromagnetic Compatibility Society e alla Power Electronic Society.

**Amit Kumar** ha conseguito il B.Sc. e M.Sc. in Fisica presso lo Sri Sathya Sai Institute of Higher Learning, Prashanti Nilayam, India rispettivamente nel 2002 e nel 2004. Ha conseguito il dottorato di ricerca in Scienze e Tecnologie della Fisica e dell'Innovazione all'Università degli Studi di Cagliari, rispettivamente nel 2010 e nel 2018. I suoi principali interessi di ricerca includono la progettazione di nuovi materiali per applicazioni optoelettroniche, dispositivi wide band gap e sistemi di accumulo di energia a batteria.

Il Dr. Kumar sta attualmente lavorando come Ricercatore presso il Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica (DIEE), Università degli Studi di Cagliari.

**Michele Losito** si è laureato in Ingegneria Elettronica presso l'Università degli Studi di Cagliari, ha svolto numerose collaborazioni con Università sia sotto forma di collaborazioni professionali che come borsista di ricerca per diverse tematiche: progettazione di dispositivi elettronici per il rilevamento di dati ambientali, progettazione di sensori wireless per il rilevamento di dati ambientali, dispositivi smart per illuminazione stradale, sistemi di controllo in ambiente industriale, dispositivi elettronici di potenza per la conversione statica di energia elettrica. È stato autore di pubblicazioni scientifiche nel settore dei sensori e dei dispositivi per la conversione statica di energia elettrica. Svolge attività professionale nei settori dell'impiantistica elettrica, civile, terziaria e industriale, progettazione di impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili, progettazione di dispositivi elettronici e consulenze ingegneristiche. Attualmente è borsista di ricerca presso l'Università degli studi di Cagliari nell'ambito della progettazione di convertitori statici per l'energia in ambiente aerospaziale.

**Andrea Vincis** si è laureato con lode presso la Facoltà di Economia dell'Università degli Studi di Cagliari. Dal 2014 al 2019 è stato titolare di diverse borse di ricerca dapprima presso il Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Chimica e dei Materiali e successivamente presso il Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica dell'Università degli Studi di Cagliari, nell'ambito di progetti di ricerca su tematiche quali la supply chain di biomasse forestali, la sensoristica e l'Energy Harvesting, la gestione di processi di depurazione delle acque reflue, lo studio di volani elettromagnetici, l'analisi di sistemi per realtà aumentata. Su tali tematiche ha svolto attività di analisi e realizzazione di modelli economici legati agli aspetti di Life Cycle Costing (LCC), Life Cycle Assessment (LCA), Analisi costi/benefici (CBA), Scouting tecnologico. Attualmente riveste il ruolo di tecnologo che svolge supporto alle attività di ricerca presso l'Università degli Studi di Cagliari.