

Regione del Veneto - POR FESR 2014-2020
**BANDO PER IL SOSTEGNO A PROGETTI DI RICERCA CHE PREVEDONO L'IMPIEGO
DI RICERCATORI**

ASSE 1 "RICERCA, SVILUPPO TECNOLOGICO E INNOVAZIONE"

Obiettivo specifico "Incremento dell'attività di innovazione delle imprese"

Azione 1.1.1 "Sostegno a progetti di ricerca alle imprese che prevedono l'impiego di ricercatori (dottori di ricerca e laureati magistrali con profili tecnico-scientifici) presso le imprese stesse".

Relazione progetto

Inizio del progetto (giorno/mese/anno): 08/08/2017

Fine del progetto (giorno/mese/anno): 07/08/2018

Introduzione al lavoro

“Se non puoi misurare qualcosa non puoi migliorarla”.

Per introdurre il lavoro ci permettiamo di modificare leggermente questa citazione attribuita a Lord Kelvin in:

“Se non puoi misurare qualcosa non puoi migliorarla, ma le misure costano”.

Per un'organizzazione che fonda il proprio modello di business sul risparmio energetico, avere una piena conoscenza dei fattori che determinano i consumi di un apparecchio, un impianto o di un intero processo è di primaria importanza. Tuttavia mettere in campo sistemi di misura che rispondano appieno alle esigenze dell'organizzazione e analizzare i dati che essi generano ha un costo non indifferente.

Il mercato offre soluzioni in grado di soddisfare totalmente sia i requisiti introdotti in ambito di Diagnosi Energetica ai sensi del D.Lgs 102/14, e sia quanto è necessario alle ESCo (Energy Saving Company) che fondano il loro modello di business sul risparmio energetico.

Tuttavia, ragionando in un'ottica di lungo periodo, è quanto mai importante coltivare anche internamente alle società di servizi energetici competenze e conoscenze riguardanti, l'ancora indefinito ma tumultuoso universo della “Digital Energy”.

Il progetto di ricerca ivi presentato è un primo passo verso questa direzione.

La legislazione sta promuovendo con particolare forza l'introduzione di attività atte a misurare e monitorare i consumi energetici.

Misura e monitoraggio non sono utili solamente in un'ottica di valutazione dei consumi energetici, ma servono soprattutto per comprendere meglio come funzionano i processi principali dell'azienda e come mettere in relazione la produzione di beni e servizi con l'uso delle risorse.

Infatti nell'Allegato II del documento “Chiarimenti in materia di diagnosi energetica nelle imprese, novembre 2016” viene indicato che le organizzazioni soggette all'obbligo di Diagnosi Energetica ai sensi del DLgs 102/14, per il secondo “giro” di Diagnosi dovranno definire l'implementazione di un piano di monitoraggio permanente in modo da: 1. tener sotto controllo continuo i dati significativi del contesto aziendale,

2. acquisire le informazioni utili al processo gestionale 3. dare il giusto “peso energetico” ai prodotti realizzati o ai servizi erogati.

Hardware open-source

L'elettronica da diversi decenni sta vivendo una fase di sviluppo la cui velocità non ha precedenti. Le prestazioni sono in continuo miglioramento con il risultato che sul mercato ci sono molti prodotti ad elevate prestazioni disponibili a prezzo molto contenuto.

Ci sono prodotti quali i mini-calcolatori (Raspberry e derivati) che si trovano in commercio a prezzi che oscillano dai 20 € ai 50 €, le cui caratteristiche tecniche nulla hanno da invidiare a personal computer che meno di un decennio fa avevano un prezzo di listino ben superiore ai 1000 €.

Stessa rivoluzione sta accadendo per i prodotti di microelettronica più specifici: attualmente si possono acquistare schede wi-fi, dispositivi GPS, micro-controllori etc. a prezzi che raramente superano la decina di euro. Sono oramai affermate anche per applicazioni industriali piattaforme quali il famoso “Arduino” capaci di svolgere funzioni complesse con una certa affidabilità ad un costo del tutto inimmaginabile anche solo 1 decennio fa.

Community e open-knowledge

C'è una seconda rivoluzione, presente da anni, che sta portando a un'incredibile accelerazione nello sviluppo delle applicazioni elettroniche. Vi sono infatti numerose community sia online che “reali” (vedi fab-lab) in cui motivate ed appassionate della materia si scambiano informazioni, buone pratiche, consigli, etc. sull'utilizzo dei prodotti elettronici “open-source”.

Negli ultimi trent'anni il processo di globalizzazione della conoscenza e delle competenze, ha generato una cultura della “condivisione del sapere” del tutto nuova. Piattaforme di informazione quali forum, blog e social network di ogni tipo, permettono agli utenti di creare cultura in modo collaborativo ragionando su opportunità, risolvendo problemi e progettando insieme soluzioni che poi rimangono pubbliche e a disposizione di tutti gratuitamente. Queste piattaforme di condivisione, confrontandosi con la realtà dei singoli ambiti

territoriali, hanno contribuito alla nascita e allo sviluppo di luoghi fisici di incontro capaci di dare forma concreta alle soluzioni e alle idee.

L'ambiente culturale creato dalla commistione tra elettronica DIY (Do It Yourself), i linguaggi di programmazione OpenSource e la cosiddetta IoT (Internet Of Things) è in fervente e continua espansione coinvolgendo in modo diverso sempre più persone e fornendo a se stessa linfa vitale per autosostenersi.

Questo approccio sta portando ad un incredibile aumento della velocità di innovazione. L'accademia che ancora guida lo sviluppo concettuale e di base deve lasciare il passo all'ondata di micro-innovazione supportata dalle community tematiche. L'economia della condivisione ben descritta dal volume Wikinomics (scritto da Don Tapscott e Anthony D. Williams nel 2006) si sta affermando anche nel settore della conoscenza. L'albero delle competenze digitali sta crescendo velocemente grazie ad un terreno sempre più fertile. Questo progetto desidera rappresentare un innesto in tale albero atto a favorire la crescita di un ramo che tenda verso applicazioni energetiche.

Dispositivi onde convogliate

Il contesto del progetto sono le misurazioni di parametri ambientali ed energetici in ambito civile. Gli impianti devono essere dotati di sistemi di misura, monitoraggio ed azionamento controllabili di remoto. Nell'ottica di realizzare una comunicazione locale delle informazioni che sia la meno invasiva possibile oltre alle soluzioni senza fili (wireless) entra in gioco una particolare tecnologia chiamata "a onde convogliate" (PLC: Power Line Communication).

Il progetto di ricerca, in collaborazione con un partner tecnico a cui è stato demandato il compito di sviluppare i dispositivi di comunicazione, ha voluto investigare quali sono le loro potenzialità specificatamente nel settore dell'efficienza energetica.

Dispositivi open-source

Parallelamente allo sviluppo dei dispositivi PLC durante il progetto di ricerca con un iniziale supporto della StartUp Innovativa "Creta Plus",

sono stati realizzati dispositivi basati su componenti open-source.

La sperimentazione sul campo

Per quanto riguarda la sperimentazione dei sistemi di misura, lo sviluppo dei dispositivi ed il loro miglioramento hanno seguito le fasi di test in laboratorio ed in campo.

La configurazione del sistema di misura basato su onde convogliate, nonostante la serie di sperimentazioni e modifiche non ha raggiunto prestazioni di affidabilità tali da permetterne l'utilizzo concreto "sul campo". La configurazione con protocollo di misura stabile e con l'alimentazione potenziata è stata ampiamente testata in laboratorio, tuttavia è ancora necessaria una modifica a livello hardware per renderla impermeabile ai disturbi elettrici che generano frequenze simili alla frequenza portante utilizzata per la comunicazione PLC ad esempio i disturbi generati da alimentatori di tipo "Switching".

Nonostante questo inconveniente la seconda parte del progetto è stata ugualmente sviluppata grazie ai sistemi di misura realizzati sfruttando le opportunità offerte dall'elettronica open-source. Essi hanno permesso di testare sia in condizioni di laboratorio che "in campo" le metodologie di analisi e di monitoraggio dei parametri e degli impianti nate in seno al progetto.

Considerazioni finali

Si è visto che produrre dati, analizzarli, gestirli e visualizzarli porta a benefici sia diretti (miglior progettazione, miglior monitoraggio) che indiretti (sia per Sinergia che per i clienti che utenti). Le conoscenze coltivate durante questi 12 mesi hanno gettato le basi per introdurre l'approccio "digital" anche in altri settori interni all'azienda. Anche l'organizzazione dei settori "finanziari, gestionali ed amministrativi" possono beneficiare delle innovazioni introdotte durante lo svolgimento del progetto.

Come è strutturato il documento

Si è cercato di rendere ogni capitolo "auto-consistente". Si è voluto poter porre il lettore nelle condizioni di comprendere il messaggio di

ogni capitolo indipendentemente dalla lettura degli altri.

Il **capitolo 1** descrive le motivazioni di fondo che hanno portato l'azienda Sinergia SC il cui modello di business insiste nel settore energetico a esplorare le opportunità offerte dall'incombente (se non già attuale) rivoluzione digitale. Il mercato energetico alla pari di quello "digital" sta vivendo una perenne e tumultuosa rivoluzione: definire i confini all'interno dei quali il progetto si è sviluppato è pertanto un'operazione impegnativa ma necessaria per comprendere il motivo di fondo delle scelte che hanno portato all'esecuzione del progetto.

Il **capitolo 2**, considerando i più comuni processi ed impianti con cui ha a che fare una ESCo, introduce i parametri fisici che ne regolano i consumi e spiega come essi possano essere misurati al fine di eseguire analisi energetiche e predisporre efficaci sistemi di monitoraggio. Focalizzando l'attenzione al settore civile (sia residenziale che commerciale/industriale) si tenta di fornire una risposta alle domande: "Quali sono i fattori ambientali ed energetici che incidono sui consumi energetici?" "Come posso ottimizzare gli interventi di efficienza energetica sfruttando i dati raccolti pre-intervento?" "Come posso gestire al meglio impianti e processi post-intervento grazie ai dati generati dai sistemi di misura?"

Il **capitolo 3** fornisce la chiave di lettura attraverso la quale contestualizzare il concetto di "sistema di misura" all'interno del contesto di una azienda ESCo. Quali sono i requisiti di un sistema energetico capace di abilitare le strategie con forte component "digital" in una azienda di tipo ESCo?

Il **capitolo 4** descrive la tecnologia "onde convogliate" principale oggetto di ricerca del progetto.

Il **capitolo 5** racconta dello sviluppo denominato "sistema 0,1,2" ed illustra lo svolgimento della

prima parte del progetto, periodo focalizzato sulla realizzazione e test:

- a) dei dispositivi hardware in grado di raccogliere le misurazioni dei parametri energetico – ambientali
- b) del software necessario per il loro funzionamento ed interfacciamento con le piattaforme e gli strumenti operativi utilizzati dall'esperto energetico.

Il **capitolo 6** descrive i sistemi di misura realizzati sfruttando i componenti di elettronica open-source. In particolare viene presentato il dispositivo TUPWA, "oggetto" che concretizza la prima parte del percorso di ricerca del progetto.

Le misure dei consumi energetici, siano essi elettrici o termici, rivestono un ruolo di primaria importanza in una ESCo. Poiché gli attuali contatori installati ed operanti in questi ambiti sono dotati di una interfaccia "impulsiva" il **capitolo 7** si concentra sullo sviluppo di uno strumento di remotizzazione degli stessi. Il capitolo descrive come sono stati realizzati i dispositivi hardware e il software di supporto necessari per "trattare" i dati generati da contatori analogici dotati di una porta di uscita delle informazioni di tipo "impulsi".

Sono state fatte diverse prove sul campo. I dispositivi basati su hardware open-source e quelli basati sulle onde convogliate sono stati installati "in campo" e testati. Il **capitolo 8** riporta quanto emerso durante la sperimentazione.

Il **capitolo 9** riporta i risultati della sperimentazione e propone delle considerazioni critiche sul progetto.

Il **capitolo 10** riporta il codice di programmazione integrale sviluppato ed utilizzato nelle sperimentazioni.

Il **capitolo 11** racconta di come le competenze nate in seno al progetto abbiano già iniziato a portare frutti. Si è realizzato un prototipo di misuratore di posizione che potrebbe essere una delle parti fondamentali per un progetto di ricerca in ambito "mobilità elettrica".

Per agevolare la lettura, il **capitolo 12** riporta gli acronimi ed un glossario dei termini specifici maggiormente utilizzati.

Buona lettura,

Marco Cattarinussi, Andrea d'Ascanio, Fabio Disconzi, Marco Quaresim

La storia del progetto

La tabella Tab. I. 1 illustra il programma delle fasi del progetto. Essa ripercorre il piano delle attività inizialmente previsto dal programma di ricerca riportato nel “modello descrittivo del progetto” e che si ripropone brevemente:

- F1. definizione dei parametri ambientali da campionare, della frequenza delle campionature, degli intervalli dimensionali, della precisione necessaria dei dati con avvio al mese 1 e conclusione al mese 3
- F2. realizzazione di uno strumento di campionatura in grado di misurare le grandezze fisiche selezionate nell'attività precedente (dal mese 2 al mese 6)
- F.3 realizzazione di un modulo di controllo che raccoglie i dati dagli strumenti di campionatura con comunicazione via powerline e remotizzazione dei dati tramite salvataggio all'interno di un webserver (dal mese 3 al mese 7)
- F4. realizzazione di algoritmi di analisi dei dati campionati finalizzati all'esecuzione di analisi energetiche (dal mese 6 al mese 12)
- F5. realizzazione di algoritmi di analisi dei dati campionati finalizzati a monitoraggio continuo di edifici successivamente ad interventi di efficientamento energetico (dal mese 6 al mese 12).

Le differenze riguardano piccole modifiche inerenti esclusivamente l'organizzazione concettuale delle attività, Tab. I. 1.

La prima fase del progetto si è focalizzata sull'analisi del contesto in cui le aziende di tipo ESCo operano. Considerando l'oggetto del progetto di ricerca, il team si è concentrato sull'analisi degli aspetti tecnici ed economici del modello di business potenzialmente influenzabili da una “digitalizzazione” del processo di misura ancora più spinta e pervasiva (attività F1).

La seconda fase si è concentrata sullo sviluppo concreto del sistema di misura (attività F2 ed F3). Visto l'insorgere fin dalle prime fasi di problematiche inerenti alla comunicazione locale via onde convogliate, fin da subito con il supporto dell'azienda Creta Plus è stata attivata una strada parallela nella quale la comunicazione locale ha adottato il canale wi-fi ed elettronica open-source.

La terza fase (attività F4 ed F5) riguarda lo sviluppo di metodologie per l'analisi dei dati e la sperimentazione in campo dei dispositivi.

Tab. I. 1 – Programma e attività del progetto.

| | |
|--|---|
| Analisi del contesto di misura: definizione dei parametri ambientali da misurare, delle modalità, dei piani di misura. | |
| Realizzazione strumento di misura | |
| Realizzazione di un modulo di raccolta e remotizzazione dati | |
| percorso di sviluppo con dispositivi a onde convogliate (test nodi, test sistemi di misura, sperimentazione in laboratorio, sperimentazione in campo, feedback ai produttori dei nodi) | percorso di sviluppo basato su elettronica open-source (realizzazione sistema MQ1, TUPWA, TUPWA2, remotizzazione conta-impulsi, sperimentazione in campo) |
| algoritmi | |
| algoritmi finalizzati all'esecuzione di analisi energetiche | algoritmi finalizzati al monitoraggio continuo di edifici dopo interventi di efficientamento |

Quanto svolto nelle diverse fasi del progetto è descritto in dettaglio nella tabella Tab. I. 2:

Tab. I. 2 - Fasi di sviluppo del progetto.

| fase | attività | descrizione |
|--|--|--|
| Analisi del contesto | Definizione parametri da misurare | Fase necessaria per allineare le competenze della squadra. Si sono studiate le principali soluzioni usate nelle comunicazioni del settore civile sia residenziale che industriale e terziario. |
| Realizzazione strumento di misura Realizzazione modulo di controllo | Nodi PLC versione 1 (1 gateway + 1 nodo) | Si sono fatte le prime sperimentazioni in laboratorio. Nella prima versione dei dispositivi il protocollo di comunicazione si è dimostrato non stabile; |
| | Nodi PLC versione 2 (1 gateway + 5 nodi) | Dopo una modifica che ha coinvolto anche l'hardware si è svolta una seconda fase di test in cui i nodi PLC sono stati sottoposti a prove di laboratorio in grado di simulare i contesti che si incontrano nelle applicazioni reali. Si è visto che la comunicazione risulta essere stabile solamente in determinate condizioni. L'affidabilità e la stabilità riscontrata in questa seconda fase di test non è stata ritenuta sufficiente. I nodi sono stati sottoposti ad una ulteriore fase di sviluppo che ha interessato la struttura di alimentazione degli stessi. |
| | Nodi PLC versione 2 | Come prima con alimentazione potenziata. In alcuni casi le letture subiscono un "congelamento": necessitano ulteriore sviluppo. |
| | Dispositivi open-source | Parallelamente alle attività di sviluppo e test dei nodi PLC, il team, sfruttando le opportunità offerte dall'elettronica open-source, ha realizzato dei sistemi di misura complementari. Questo ha permesso all'azienda di esplorare anche altre tecnologie riducendo il rischio di ritardare le attività del progetto causate dall'hardware PLC. |
| Algoritmi | Finalizzati alle analisi energetiche | Archiviazione dei dati in remoto, restituzione visuale delle informazioni sia "raw (grezze)" che elaborate; |
| | Finalizzati al monitoraggio | Archiviazione dei dati in un server remoto e loro interrogazione; |

Dopo la prima fase di analisi del contesto tecnico – economico, durante le prime fasi di sperimentazione sono venute a galla importanti **problematiche inerenti i nodi PLC**. Inizialmente sono state ricondotte esclusivamente ai protocolli di comunicazione mentre successivamente si è scoperto essere afferenti anche agli apparati di alimentazione.

Considerando il programma progettuale è emerso il rischio che tali questioni avrebbero potuto rallentare le fasi iniziali del progetto provocando ripercussioni sulla seconda parte focalizzata su temi di elaborazioni ed analisi dei dati.

La seconda parte del progetto è incentrata su aspetti "software" basati sui dati delle misurazioni. Considerando che la loro **"generazione e archiviazione" è indipendente dai dispositivi che li generano**, al fine

di poter garantire la possibilità di sperimentare algoritmi e tecniche di analisi dei dati, il team ha deciso di intraprendere fin da subito una strada parallela integrando il progetto con lo sviluppo di dispositivi di misura alternativi ai PLC.

Ricorrendo ai sempre più diffusi prodotti di “elettronica open-source” il team ha realizzato in seno all’azienda una serie di *dispositivi “home made”* in grado di effettuare misure energetico – ambientali, di trasmettere informazioni “in campo” (tra punti di misura e modulo di controllo) e di archivarle in database remoti. L’obiettivo è stato quello di predisporre degli strumenti potenzialmente in grado di sostituire i dispositivi PLC nel caso in cui non fosse stato possibile correggere i problemi riscontrati inizialmente con essi.

Considerando il contesto di cambiamento industriale e tecnologico che il nostro Paese sta vivendo, le aziende di qualsiasi natura e dimensione saranno sempre più chiamate a gestire dispositivi elettronici, controlli automatici e dati. Questa fase pienamente in linea con gli obiettivi del progetto, benché non prevista inizialmente dal programma, si è rivelata di notevole interesse. La **ricaduta in termini di competenze e conoscenze** generata ha portato a benefici il cui riflesso si è potuto verificare nell’immediato. Ad esempio, l’azienda ha acquisito un ruolo maggiormente pro-attivo e consapevole nei confronti dei partner puramente elettrici ed elettronico-informatici sia durante la fase di progettazione che per la gestione degli impianti. Aver messo mano, concretamente, nello sviluppo di sistemi di misura “fatti a misura” ha portato a interessanti ricadute anche in termini di conoscenza e competenza tanto che il team facendo tesoro di quanto appreso ha messo in cantiere interessanti iniziative atte a rendere l’azienda più competitiva in settori che contribuiscono alla sostenibilità ambientale.

Nell’ambito del filone di sviluppo sistemi di misura “basati su elettronica open-source”, si sono individuate piattaforme hardware particolarmente indicate per le necessità della ESCo e si sono realizzati diversi dispositivi “open-source”, una panoramica dello degli stessi è fornita in Tab. I. 3.

Tab. I. 3 – Dispositivi realizzati con elettronica open-source.

| Nome dispositivo | Descrizione |
|------------------------------|--|
| MQ1 | un microcontrollore Arduino-like interroga una sonda di temperatura; i dati sono comunicati ad un mini-pc (Raspberry PI nel caso specifico), salvati in locale in formato .csv; sfruttando una connessione internet i dati sono archiviati online su un web-server (una applicazione concreta questo dispositivo è descritta nel paragrafo 8.3). |
| TUPWA2 | Utilizzando un micro-controllore Arduino-like (piattaforma Lolin, con antenna wi-fi integrata e di dimensioni minori rispetto all’Arduino standard) si è realizzato uno strumento di misura capace di archiviare i dati in un web-server senza “passare” per un modulo di controllo centralizzato. Una applicazione concreta dello strumento è descritta nel paragrafo 8.1. |
| Remotizzazione conta-impulsi | Molte grandezze energetico – ambientali sono misurate con contatori analogici che richiedono la lettura da parte dell’essere umano; essi però possono essere corredati da un dispositivo che genera un impulso convertibile in un segnale elettrico compatibile con la lettura ed archiviazione elettronica. Una applicazione concreta dello strumento è descritta in capitolo 7. |

Contents

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | Energia e “digitale” | 9 |
| 1.1 | Introduzione | 9 |
| 1.2 | Energy Social Informatics (ESI) | 9 |
| 1.3 | ESCo e dati..... | 11 |
| 1.4 | Benefici per un contratto EPC | 12 |
| 1.5 | Dati: un asset aziendale da creare nel tempo | 13 |
| 1.6 | Benefici “tecnici” sugli impianti (manutenzione) | 14 |
| 1.7 | Anche la legislazione “spinge” verso i dati | 14 |
| 1.8 | Progetti nel settore industriale | 16 |
| 1.9 | Progetti di ricerca..... | 17 |
| 1.9.1 | RePower - Maintenance-free and cost-efficient fuel for wireless sensors to energy- and resource-saving solutions (Horizon 2020)..... | 17 |
| 1.9.2 | TOPAs - Tools for cOntinuous building Performance Auditing (Horizon 2020) | 17 |
| 1.9.3 | GREENSOUL - Eco-aware Persuasive Networked Data Devices for User Engagement in Energy Efficiency | 18 |
| 1.9.4 | HIT2GAP - Highly Innovative building control Tools Tackling the energy performance GAP | 18 |
| 1.9.5 | ENGINENCY - A Holistic System for Building Inspection and Energy Efficiency Management | 19 |
| 1.9.6 | ETA4B - Energy Trusted Advisor for Buildings..... | 20 |
| 1.9.7 | SENSIBLE - SENSors and Intelligence in Bullt Environment | 20 |
| 1.9.8 | IE2advisor - Intelligent Energy Efficiency Advisor | 21 |
| 1.10 | Dati e misure energetico-ambientali..... | 21 |
| 1.11 | Un ramo di attività “open-source” | 22 |
| 2 | Capitolo dedicato ai parametri ambientali | 25 |
| 2.1 | Introduzione | 25 |
| 2.2 | Misure dirette e indirette | 26 |
| 2.3 | Grandezze fisiche | 27 |
| 3 | Un “sistema di misura” a “misura” di ESCo | 28 |
| 3.1 | Il mercato di riferimento..... | 28 |
| 3.2 | I requisiti del sistema di misura per una ESCo..... | 29 |
| 3.2.1 | Sistemi di misura per aziende energetiche | 30 |
| 3.3 | Hardware | 31 |
| 3.3.1 | Funzione “sensore” | 32 |
| 3.3.2 | Funzione aggregatore di dati / gateway..... | 33 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.3.3 | Comunicazioni | 33 |
| 3.3.4 | Storage dati..... | 33 |
| 3.3.5 | Terminale (pc, tablet, smartphone)..... | 33 |
| 3.4 | Software e linguaggi di programmazione | 34 |
| 4 | Onde convogliate - PLC..... | 36 |
| 4.1 | Introduzione | 36 |
| 4.1.1 | La comunicazione industriale | 36 |
| 4.2 | Le onde convogliate | 37 |
| 4.2.1 | Funzionamento..... | 37 |
| 4.2.2 | Accoppiatore di segnale..... | 38 |
| 4.2.3 | Caratteristiche della trasmissione a “onde convogliate” | 39 |
| 4.2.4 | Vantaggi e svantaggi..... | 40 |
| 4.3 | Protocollo MODBUS..... | 40 |
| 4.3.1 | Come avviene la comunicazione?..... | 42 |
| 5 | Strumento PLC: sistema “0”, “1”, “2” | 44 |
| 5.1 | Introduzione | 44 |
| 5.2 | Il percorso di sviluppo | 45 |
| 5.3 | Sistema “0” | 45 |
| 5.4 | Sistema “1” | 49 |
| 5.5 | Sistema “2” | 49 |
| 5.5.1 | Software con Web App My sinergia | 52 |
| 5.6 | Prove di laboratorio | 55 |
| 5.7 | Prove in ambiente reale..... | 56 |
| 5.8 | Prove con elementi di disturbo | 58 |
| 5.8.1 | Risultati delle prove..... | 58 |
| 5.9 | Conclusioni test del “sistema 2” | 62 |
| 5.9.1 | Indagine tecnica sulla comunicazione dei nodi PLC | 62 |
| 6 | Strumenti “elettronica open-source” DIY..... | 65 |
| 6.1 | Perché una strada parallela? | 65 |
| 6.2 | TUPWA..... | 66 |
| 6.2.1 | Archiviare i dati in remoto | 68 |
| 6.2.2 | Struttura database..... | 68 |
| 6.3 | Visualizzazione dei dati | 69 |
| 6.4 | Funzione genera csv..... | 70 |
| 6.4.1 | Listato TUPWA..... | 71 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 6.4.2 | Capacità di effettuare logiche di controllo..... | 71 |
| 6.5 | TUPWA multiNode | 71 |
| 7 | Remotizzazione conta-impulsi..... | 73 |
| 7.1 | Introduzione | 73 |
| 7.2 | Remotizzare il conteggio impulsi..... | 75 |
| 7.2.1 | Impulso meccanico VS impulso elettronico | 75 |
| 7.3 | Misura energia elettrica..... | 75 |
| 7.3.1 | L'informazione impulso..... | 76 |
| 7.4 | Misura consumi acqua | 76 |
| 7.4.1 | Use cases..... | 77 |
| 8 | La sperimentazione in campo..... | 79 |
| 8.1 | Analisi di temperatura e occupazione..... | 79 |
| 8.1.1 | Anello di ricircolo: comfort vs spreco energetico? | 80 |
| 8.1.2 | Come funziona | 80 |
| 8.1.3 | Come viene utilizzato il locale?..... | 83 |
| 8.1.4 | Dalla sperimentazione all'informazione | 84 |
| 8.1.5 | Analisi "raggruppamento per ore" | 85 |
| 8.1.6 | Considerazioni | 86 |
| 8.2 | Termostato in un piano | 86 |
| 8.3 | Modifica gestione riscaldamento / raffrescamento..... | 89 |
| 8.3.1 | Dalla campagna di misura alla regolazione | 89 |
| 8.3.2 | La situazione di partenza..... | 90 |
| 8.4 | Test in campo dei nodi PLC (ufficio)..... | 93 |
| 8.5 | Test in campo dei nodi PLC (locale caldaia)..... | 93 |
| 8.6 | Remotizzazione conta impulsi | 94 |
| 8.6.1 | Informazioni sul reale utilizzo degli accumuli | 95 |
| 9 | Considerazioni..... | 97 |
| 9.1 | La piattaforma MySinergia | 100 |
| 9.2 | Cosa c'è sul mercato? | 102 |
| 9.3 | Sviluppi futuri | 102 |
| 9.3.1 | Residenze collettive: comprendere il loro uso..... | 103 |
| 9.3.2 | Servizi alla persona | 103 |
| 10 | Appendice..... | 104 |
| 10.1 | Lettura e archiviazione nodi BC 02..... | 104 |
| 10.2 | Misuratore TUPWA2 | 107 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 10.3 | Remotizzazione conta-impulsi..... | 110 |
| 10.4 | Remotizzazione contatore acqua ANALOGICO..... | 111 |
| 11 | DIY – GPS e salvataggio SD..... | 113 |
| 11.1.1 | Software..... | 114 |
| 11.2 | Considerazioni..... | 117 |
| 12 | Glossario, acronimi, definizioni..... | 118 |
| 13 | Works Cited..... | 119 |

1. Energia e “digitale”

Nel capitolo viene fatta una panoramica del contesto economico e sociale in cui le aziende di tipo ESCo sono chiamate ad operare. “Come si sta modificando il mercato dell’efficienza energetica per accogliere e, soprattutto, sfruttare appieno i benefici e le opportunità introdotte dal digital”?

Il capitolo desidera fornire le lenti attraverso le quali leggere le attività svolte nel progetto di ricerca. Il capitolo prosegue focalizzandosi sul tema del “dato”, importante aspetto che oggi giorno va visto come importante “asset aziendale” e come tale utilizzato.

1.1 Introduzione

Tecnologie ICT sempre più evolute, sensori poco invasivi e particolarmente economici stanno aprendo la strada a metodologie di raccolta dei dati impensabili fino a qualche decennio fa. Anche il settore energetico sta vivendo, fortunatamente, questa contaminazione. I costi per effettuare una misurazione e per gestire i dati prodotti si sono ridotti in modo drammatico e oggi-giorno si possono attuare campagne di misura poco invasive, riguardanti molteplici aspetti di un processo con un investimento del tutto sostenibile.

Tuttavia il prodotto generato della misurazione, i dati, se presi “*as is*” difficilmente si rivelano essere un fattore abilitante in grado di attivare o indirizzare un intervento di efficienza energetica efficiente e remunerativo. Tali “dati grezzi” devono essere archiviati ed analizzati. Devono essere distillati, filtrati e **tradotti in informazioni di valore che “parlino la stessa lingua” dell’esperto di gestione dell’energia.**

Il risultato è una “fotografia dinamica” dei parametri energetici che regolano un processo del tutto nuova. Una fotografia interattiva che, quando riesce ad esprimere informazioni utili per i gestori degli impianti, consente loro di osservare in modo molto puntuale, preciso e dettagliato il comportamento delle macchine e degli impianti nel tempo e nello spazio indirizzandone gli interventi di efficientamento e migliorandone le metodologie di monitoraggio.

L’informatica sta avendo un ruolo sempre più importante anche nel settore energetico e le aziende di tipo ESCo sono chiamate ad avere un ruolo di primaria importanza nel guidare questo nuovo approccio.

1.2 Energy Social Informatics (ESI)

È esperienza comune osservare che la “ICT – Information and Communication Technology” sta avendo un ruolo dirompente in quasi tutti i settori dell’economia. L’impatto riguarda anche il settore energetico: il campo scientifico dell’energia, la cosiddetta “Energy Science” non è più e non può più essere considerato chiuso ed impermeabile ad altre discipline. Gli aspetti puramente scientifici, fisici e tecnologici pur rimanendo uno dei pilastri fondamentali dell’efficienza energetica e dell’uso razionale delle risorse deve lasciarsi “contaminare” da altre discipline anche tradizionalmente di un dominio scientifico non adiacente ma “lontano”.

Energia e “digitale”

La cosiddetta “Energy Informatics” è un campo di ricerca inter-disciplinare che grazie allo sfruttamento analitico dei dati informatici connessi con i sistemi energetici riesce a estrarre informazioni di alto valore utili per ottenere risparmio ed efficienza energetica. L’idea che sta alla base della *Energy Informatics* è sintetizzata da questo motto:

“Energy + Informatics < Energy”

ovvero le informazioni possono ridurre il consumo di energia primaria.

Il mero approccio della *Energy Informatics* è utile e consistente per ambiti in cui il fattore “umano - personale” incide relativamente poco come per esempio quello industriale dove generalmente il ruolo dell’operatore è spesso influente sui consumi energetici di grandi impianti mentre l’analisi dei dati può portare alla definizione di strategie di gestione degli stessi più sostenibili o economicamente vantaggiose.

Nel settore civile e soprattutto in ambito residenziale/terziario invece **l’utente e l’occupante giocano un ruolo fondamentale**. Per comprendere e descrivere i consumi energetici di un edificio, le tecnologie energetiche ed i dati devono integrarsi anche con le scienze sociali: i comportamenti, la cultura e le abitudini delle persone hanno un peso che non si può trascurare quando si vanno a definire interventi di efficienza energetica (esempio: è inutile mettere finestre con prestazioni elevate se queste sono tenute aperte con modalità impreviste).

Le scienze sociali “Social Science” e quelle informatiche “Informatic Science” seppur indirettamente contribuiscono sempre di più nella definizione di nuovi modelli, prodotti e processi capaci di generare “valore” richiedendo al contempo un minor uso di risorse ed energia (stesso effetto utile con minor consumo).

L’approccio con cui analizzare il settore energetico del futuro richiede oramai necessariamente una visione multidisciplinare. In particolare **si sta affermando un nuovo filone di ricerca scientifico detto della “Energy Social Informatics (ESI)”** capace di mettere attorno allo stesso tavolo aspetti sia ingegneristici tipici del settore energetico, che informatici (temi appannaggio della ICT) che culturali-comportamentali (indagati dalle scienze sociali).

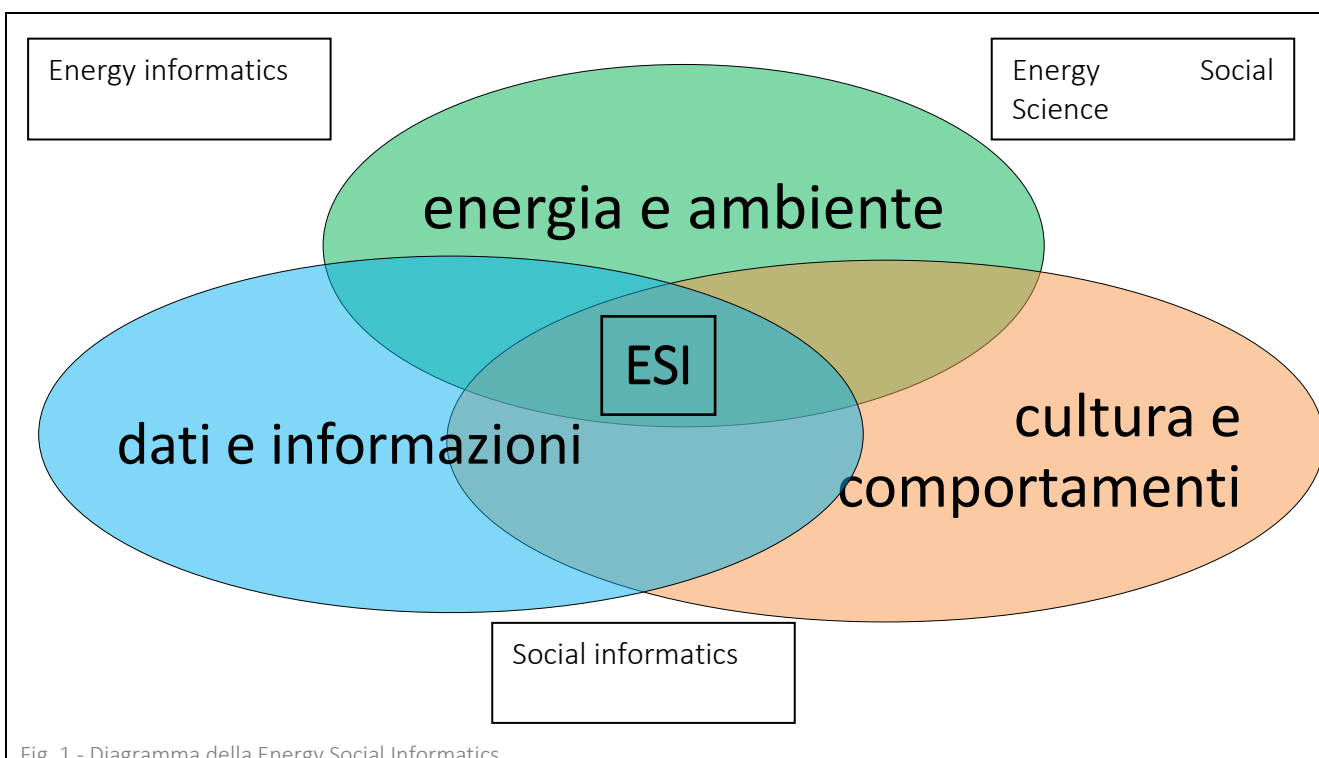


Fig. 1 - Diagramma della Energy Social Informatics.

Le ESCo, soprattutto quelle che, oltre al settore industriale operano nel settore civile, possono trovare nella *ESI* un interessante ambito di sviluppo.

1.3 ESCo e dati

Già Wiliam Thompson conosciuto come Lord Kelvin esprimeva chiaramente l'importanza della misura *“ciò che non puoi misurare non lo puoi migliorare”*.

Le aziende di tipo ESCo, in particolare quelle che operano con i contratti EPC (Energy Performance Contract), fondano il proprio business sulla misura delle prestazioni. Più la misura è dettagliata, granulare, specifica, pervasiva e coerente con gli obiettivi e maggiormente la ESCo riuscirà a individuare con precisione gli ambiti e le strategie di intervento più efficaci o con il maggior rapporto costo beneficio.

Ma attenzione, **il sistema di misura ha un costo**. La complessità dello stesso aumenta in modo esponenziale all'aumentare delle richieste. È fondamentale individuare un compromesso tale da ottimizzare il rapporto tra gli investimenti fatti per il sistema di misura ed i benefici estraibili.

Misure aggregate forniscono “poco spazio di manovra” mentre misure molto dettagliate consentono agli esperti 1) di individuare l'ambito e il settore di intervento con i maggiori costi/benefici, 2) di dare una priorità degli interventi da realizzare, 3) di proporre una serie di interventi “ragionata”.



Fig. 2 - I dati contengono informazioni che vanno estratte e comunicate.

Raccogliere i dati è un'azione che seppur necessaria **non è condizione sufficiente per sfruttare gli innumerevoli benefici offerti dalla loro analisi**. Pari attenzione va posta nel “timing” della loro raccolta (per gestire la temperatura in una scuola devo raccogliermi sia quando occupata che non occupata, sia di giorno che di notte,

etc.).

Pari attenzione va posta **alla restituzione delle informazioni estraibili dai dati**. Il “dataviz” (data visualization) consente a una moltitudine di esperti (anche quelli che non sono del settore) di partecipare al miglioramento del business. Ad esempio un file di testo riempito di stringhe oppure una tabella con migliaia di numeri è comprensibile solamente dal professionista che può dedicarci molto tempo. Vengono quindi in aiuto algoritmi automatizzati e strumenti quali funzioni di *filtering*, *sorting*, etc. capaci di tradurre tali “muri di numeri” in grafici interattivi tali da consentire anche al “quasi-profano” di cogliere il senso (ovvero le informazioni “nascoste” nel dataset) in modo intuitivo.

La restituzione dei dati deve parlare la stessa lingua dell'utente a cui si propone. Anche un utente esperto quale il gestore impianti (ovvero l'esperto della gestione impianto e processo) deve poter

Energia e “digitale”

avere a disposizione il dato in una forma che gli permetta di estrarre informazione di valore. Pertanto la campagna di misura ideale deve essere progettata in modo da poter generare i dati in una forma tale da permettere che gli algoritmi di analisi possano generare informazioni differenti a seconda del profilo della persona a cui lo strumento si sta rivolgendo. Prendendo a riferimento il settore energetico, il sistema di misura deve poter generare dei dati che possano essere utili sia a chi si occupa della progettazione termodinamica e sia a chi si occupa degli aspetti amministrativi e commerciali, sia all'imprenditore

I dati si rivelano inoltre, uno strumento potenzialmente utile anche per comunicare ai clienti o per preparare campagne di marketing specifiche e tagliate su misura per il cliente.

1.4 Benefici per un contratto EPC

La buona riuscita di un contratto EPC dipende da una moltitudine di fattori non solo tecnici. Prendendo spunto dallo studio di (Xu, 2011) alcuni dei fattori che incidono sulla bontà di un contratto EPC sono riportati in Tab. 1.

Tab. 1 - Fattori di successo di un contratto EPC.

| gruppo | Fattore |
|---|--|
| Fattori esterni | Contesto economico |
| | Contesto sociale |
| | Supporto delle politiche locali e nazionali/comunitarie |
| | Ambiente naturale |
| | Tecnologie disponibili |
| Fattori che dipendono dal progetto | Modo d'uso dell'edificio |
| | Complessità del progetto |
| | Età dell'edificio |
| | Vincoli della zona in cui l'edificio si trova |
| | Vincoli sull'operatività dell'edificio (esempio stagioni turistiche o orari di apertura) |
| Fattori inerenti alla leadership e il team | Consapevolezza del cliente sull'EPC |
| | Teoria della sostenibilità ambientale |
| | Pianificazione della strategia per la sostenibilità ambientale |
| | Meccanismi di controllo della strategia per la sostenibilità ambientale |
| Fattori di finanziamento | Disponibilità di finanziamento, mercato del credito |
| | Consapevolezza degli istituti di credito nei confronti dei contratti EPC |
| | Crediti nei confronti della ESCo e dei clienti |
| | Progetto di finanziamento |
| Fattori del contratto | Percentuali di condivisione dei risparmi |
| | Suddivisione dei compiti e del rischio |
| Fattori della partnership | Fiducia tra le parti |

| | |
|---|--|
| | Coordinamento efficace tra le parti |
| Fattori di sviluppo del progetto | Sviluppare un’appropriata struttura organizzativa |
| | Meccanismo di controllo degli obiettivi del progetto |
| | Tecnologie e strumenti di M&V |

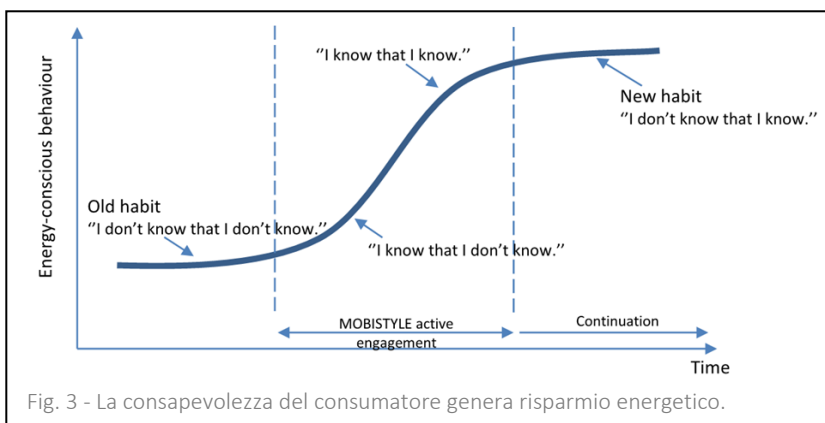
Si capisce come una estensiva raccolta ed analisi dei dati possa generare importanti benefici **sia nella preparazione di un contratto EPC che nella fase operativa di controllo e monitoraggio** che fa seguito all’intervento.

1.5 Dati: un asset aziendale da creare nel tempo

Il beneficio della cultura della raccolta e gestione dei dati non si esaurisce nel mero processo di raccolta – analisi – restituzione. Essi **sono una sorta di patrimonio informativo** (un asset intangibile) che un’azienda va a formare nel tempo. **Sono un deposito di conoscenza** mediante il quale un’azienda riesce ad attingere informazioni il cui valore cresce a mano a mano che i dati archiviati ed analizzati aumentano di volume e di varietà.

In particolare di estremo interesse è lo sfruttamento delle **informazioni che nascono dalle connessioni dei dati**. Quando si riescono a collegare dataset differenti il valore delle informazioni che nascono dimostra che a volte la curiosa espressione “1 + 1 può fare più di 2” può trovare reale espressione (linked data). Ad esempio, la misura della temperatura di una stanza fornisce una informazione di un certo valore. Valore che è notevolmente diverso se a tale misura si riescono a collegare i dati riguardanti ad esempio l’occupazione della stanza, dello stato di apertura di porte e finestre, del meteo e così via.

Risparmio generato da cambiamento di comportamento



Nel settore energetico l’applicazione dell’ICT attiverà interessanti ed innovative modalità per il risparmio energetico, si pensi alle potenzialità nei confronti dei risparmi derivanti da cambiamento di abitudini. Quando al consumatore viene fornita l’informazione sui consumi direttamente sullo smartphone esso acquisisce

maggior consapevolezza: viene messo nelle condizioni di poter modificare le proprie abitudini al fine di risparmiare energia (Mattern, T., & Weiss, 2010), (Mobistyle). Ci sono esperimenti che hanno mostrato chiaramente come una informazione in tempo reale sul consumo energetico riesca a indurre comportamenti efficienti da parte della popolazione (Tiefenbeck, 2016). I dati generati possono essere davvero molti ed in questo caso le tecniche da utilizzare sono quelle della bigdata analytics (Zhou & Yang, 2016) settore attualmente lontano dagli scopi e dall’ambito di questo progetto.

1.6 Benefici “tecnici” sugli impianti (manutenzione)

Una raccolta organizzata e sistematica dei dati, oltre ad avere ricadute positive durante la fase di preparazione e progettuale, porta benefici che si ripercuotono lungo tutto il ciclo di vita degli impianti.

Oltre ai benefici inerenti alle strategie di monitoraggio, dalla misura continua dei parametri di processo (esempio temperatura di fumi, temperatura di cuscinetti, livelli di rumorosità, etc.) è **possibile abilitare strategie di manutenzione degli impianti particolarmente innovative ed efficaci**, per esempio la manutenzione condizionale o quella predittiva.

Dai modelli tradizionali della manutenzione correttiva e della manutenzione preventiva programmata, grazie a un uso corretto dei dati si passa ai modelli “fondati sui dati, IoT-based” della manutenzione “condition based” e predittiva.

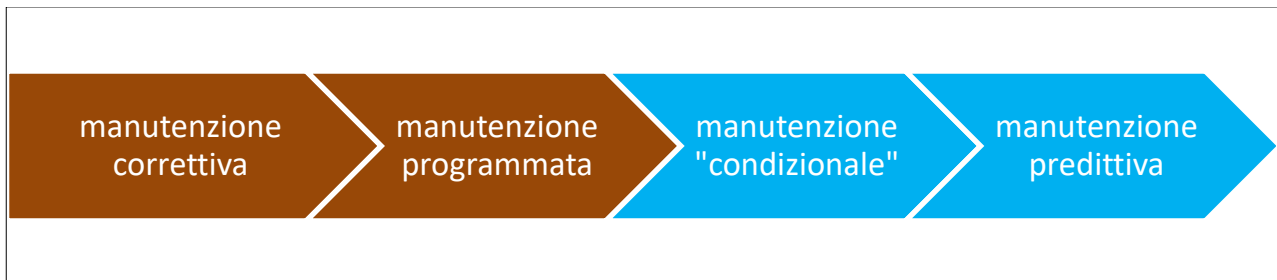


Fig. 4 - Dalla manutenzione correttiva a quella predittiva.

I vantaggi dei modelli di manutenzione “basati sui dati” per una ESCo sono numerosi:

- contenere i costi: evito le emergenze e relativi costi extra;
- efficienza nell’uso delle risorse: attuo la manutenzione con maggior efficienza poiché posso programmare le attività;
- limitare i tempi di inattività o fuori-servizio degli impianti: eseguo la manutenzione in un periodo nel quale il disservizio è minore.

1.7 Anche la legislazione “spinge” verso i dati

Ulteriore interesse per un progetto di ricerca orientato verso l’analisi dei dati deriva **dalle spinte legislative** che stanno arrivando in tal senso.

Dalla Direttiva 2012/27/UE, al punto (31) e (33) emerge un chiaro intento nel rendere disponibili i dati relativi ai consumi dei clienti finali in una forma facilmente fruibile da parte dei consumatori stessi.

Il punto (31) infatti recita (in grassetto le parti più interessanti):

Le direttive 2009/72/CE e 2009/73/CE impongono agli Stati membri di assicurare l’attuazione di sistemi di misurazione intelligenti, **che favoriscano la partecipazione attiva dei consumatori nei mercati della fornitura di energia elettrica e di gas.** [...]

Per quanto riguarda l’energia elettrica, qualora l’introduzione dei contatori intelligenti sia reputata efficiente in termini di costi, **almeno l’80 % dei consumatori deve essere dotato di contatori intelligenti entro il 2020.** Per quanto riguarda il gas naturale, non è fornita alcuna scadenza, ma è richiesta l’elaborazione di un calendario

Tali direttive prevedono inoltre che **i clienti finali devono essere adeguatamente informati del consumo effettivo di energia elettrica/gas e dei relativi costi, con frequenza tale da consentire loro di regolare il proprio consumo.**

Energia e “digitale”

Il punto (33) solleva la questione di informare i consumatori e della gestione dei dati

Al fine di rafforzare la responsabilizzazione dei clienti finali per quanto riguarda l'accesso alle informazioni relative alla misurazione e alla fatturazione dei loro consumi energetici individuali, tenuto conto delle opportunità associate al processo di attuazione di sistemi di misurazione intelligenti e all'introduzione dei contatori intelligenti negli Stati membri, è importante rendere più chiari i requisiti del diritto dell'Unione in questo settore.

[...]

È opportuno, tuttavia, chiarire altresì i requisiti relativi all'accesso alle informazioni e ad una fatturazione equa ed accurata basata sul consumo effettivo nei casi in cui i contatori intelligenti non siano disponibili entro il 2020, anche in relazione alla misurazione e fatturazione del consumo individuale di riscaldamento, raffreddamento e acqua calda in condomini dotati di impianti di teleriscaldamento/teleraffreddamento o di un proprio sistema comune di riscaldamento installato in tali edifici.

Il “Recepimento Direttiva 2014/102” aggiunge ulteriori dettagli e sottolinea con maggior forza l'intento di rendere più partecipativo e trasparente il processo di misurazione e fatturazione dei consumi energetici.

Laddove siano installati contatori “evoluti” devono essere fornite “informazioni complementari” agli utenti finali, punto 6. lettera b) numeri 1) e 2)

[...]

b) le imprese di distribuzione ovvero le società di vendita di energia elettrica e di gas naturale al dettaglio, nel caso in cui siano installati contatori, conformemente alle direttive 2009/72/CE e 2009/73/CE, provvedono affinché i clienti finali abbiano la possibilità di accedere agevolmente a informazioni complementari sui consumi storici che consentano loro di effettuare controlli autonomi dettagliati. Le informazioni complementari sui consumi storici comprendono almeno:

1) dati cumulativi relativi ad almeno i tre anni precedenti o al periodo trascorso dall'inizio del contratto di fornitura, se inferiore. I dati devono corrispondere agli intervalli per i quali sono state fornite informazioni sulla fatturazione;

2) dati dettagliati corrispondenti al tempo di utilizzazione per ciascun giorno, mese e anno. Tali dati sono resi disponibili al cliente finale via internet o mediante l'interfaccia del contatore per un periodo che include almeno i 24 mesi precedenti o per il periodo trascorso dall'inizio del contratto di fornitura, se inferiore.

Vi è un chiaro interesse da parte del legislatore a rendere più trasparente e comprensibile la questione energetica da parte dei cittadini. Il decreto legislativo 2014/102 individua le modalità con cui le società di vendita di energia al dettaglio devono fornire informazioni ai clienti finali. All'art. 9, punto 7:

[...]

l'Autorità per l'energia elettrica, il gas ed il sistema idrico, con uno o più provvedimenti da adottare entro diciotto mesi dalla data di entrata in vigore del presente decreto, individua le modalità con cui le società di vendita di energia al dettaglio, indipendentemente dal fatto che i contatori intelligenti di cui alle direttive 2009/72/CE e 2009/73/CE siano installati o meno, provvedono affinché:

a) nella misura in cui sono disponibili, le informazioni relative alla fatturazione energetica e ai consumi storici dei clienti finali siano rese disponibili, su richiesta formale del cliente finale, a un fornitore di servizi energetici designato dal cliente finale stesso;

b) ai clienti finali sia offerta l'opzione di ricevere informazioni sulla fatturazione e bollette in via elettronica e sia fornita, su richiesta, una spiegazione chiara e comprensibile sul modo in cui la loro fattura è stata compilata, soprattutto qualora le fatture non siano basate sul consumo effettivo;

c) insieme alla fattura siano rese disponibili ai clienti finali le seguenti informazioni minime per presentare un resoconto globale dei costi energetici attuali:

1) prezzi correnti effettivi e consumo energetico effettivo;

2) confronti tra il consumo attuale di energia del cliente finale e il consumo nello stesso periodo dell'anno precedente, preferibilmente sotto forma di grafico;

3) informazioni sui punti di contatto per le organizzazioni dei consumatori, le agenzie per l'energia o organismi analoghi, compresi i siti internet da cui si possono ottenere informazioni sulle misure di

Energia e “digitale”

miglioramento dell'efficienza energetica disponibili, profili comparativi di utenza finale ovvero specifiche tecniche obiettive per le apparecchiature che utilizzano energia;

d) su richiesta del cliente finale, siano fornite, nelle fatture, **informazioni aggiuntive**, distinte dalle richieste di pagamento, per **consentire la valutazione globale dei consumi energetici** e vengano offerte soluzioni flessibili per i pagamenti effettivi;

e) le informazioni e le stime dei costi energetici siano fornite ai consumatori, su richiesta, tempestivamente e in un formato facilmente comprensibile che consenta ai consumatori **di confrontare offerte comparabili**. L'Autorità per l'energia elettrica, il gas ed il sistema idrico valutate **modalità più opportune per garantire che i clienti finali accedano a confronti tra i propri consumi e quelli di un cliente finale medio o di riferimento** della stessa categoria d'utenza.

1.8 Progetti nel settore industriale

A riprova che il settore energetico sta beneficiando della contaminazione di quello informatico basti pensare che già nel 2009, colossi del “data management” quali Google avevano provato a entrare nel mondo dell'energia, pensando a degli strumenti in grado di agevolare la comprensione di dati complessi quali i consumi energetici con tecniche di visualizzazione interattive (via web).

Il servizio che l'azienda di Mountain View aveva creato era gratuitamente disponibile online e rispondeva al nome di *Powermeter*.

Google PowerMeter nacque come sistema informativo che, rendendo palesi i consumi energetici in atto, prometteva di offrire maggior consapevolezza agli utenti. Secondo le stime di Google, il semplice fatto di avere chiaro in mente ciò che si consuma nelle proprie abitazioni porta ad un automatico risparmio del 15% dell'energia utilizzata poiché si ha maggiormente sottomano la situazione.

Purtroppo il progetto è stato lanciato in un periodo storico non adeguato (timing sbagliato) e perciò ha riscontrato scarso interesse: è stato definitivamente abbandonato nel 2011.



Fig. 5 - schermata di Google PowerMeter.

Altri colossi dell'informazione hanno osservato che il diffondersi dei sensori di misurazione sempre più miniaturizzati ed economici, sistemi ICT sempre più potenti e l'affermarsi delle piattaforme cloud-based per l'archiviazione dei dati permette di entrare nel mercato con servizi altamente

Energia e “digitale”

innovativi centrati sull’analisi di sistemi energetici anche tradizionali ma approcciati da un nuovo punto di vista completamente nuovo.

In un rapporto di McKinsey Global Institute (McKinsey&Company, 2015) si afferma che al 2025 il valore generato dall’IoT si potrebbe aggirare attorno ai 3,9 – 11,1 trilioni di dollari all’anno e di questi fino a 110 miliardi di dollari all’anno è presumibile interessi la gestione energetica nel settore residenziale.

Anche **le utility sono ai blocchi di partenza per iniziare la corsa verso l’estrazione del valore “nascosto” all’interno dei dati.** Per esempio EDF (<https://www.v3.co.uk/v3-uk/news/2302661/edf-prepares-for-big-data-deluge-from-internet-of-things>) si sta preparando a cambiare sia il sistema IT interno che modificare la propria cultura aziendale nell’ottica di sfruttare i dati di oltre 35 milioni di “smart meter” nelle abitazioni e uffici.

1.9 Progetti di ricerca

L’interesse a scoprire come sfruttare il potenziale della cosiddetta “economia dei dati” è **testimoniato anche dal numero dei progetti di ricerca europei** nati in tale ambito.

Una rassegna non esaustiva ma che fornisce una chiara indicazione della strada intrapresa viene fornita nei paragrafi seguenti.

1.9.1 RePower - Maintenance-free and cost-efficient fuel for wireless sensors to energy- and resource-saving solutions (Horizon 2020)

(2016-2018) Progetto che analizza un sistema per auto-alimentare i sensori; il dispositivo attua una “energy-harvesting” dall’ambiente. Il progetto sviluppa, testa e dimostra l’utilizzo di sensori brevettati “RePower” in ambito civile.

The patented RePower solution to harvest energy for the sensors makes installation and maintenance easy and cost-efficient; as it is simply clamped-on any power cable, the sensor is plugged on and then running during the sensor lifetime. A typically battery-operated sensor using long life Lithium batteries have a cost of 180 € due to the batteries. A RePower’ed sensor have no maintenance cost due to the RePower supply.

This project develops, tests and demonstrates RePower in building installations. RePower is a patented and non-invasive solution to power the different monitoring sensors in an installation, harvesting energy from the outside of multicore power cables.

1.9.2 TOPAs - Tools for cOntinuous building Performance Auditing (Horizon 2020)

Sito internet: <https://www.topas-eeb.eu/>

(2015-2018) Progetto che analizza il “gap di prestazione” che si presenta tra quanto succede nella realtà e quanto previsto in fase di progettazione. Il progetto inoltre sperimenta un processo di “auditing continuo”.

As occupant behaviour can be considered as one of the main drivers of the performance gap, TOPAs will focus on reducing the gap from an operational perspective, hence supporting Post Occupancy Evaluation. Quantifying the performance gap is non-trivial, the performance gap is dependent on time and contextual factors, and individual buildings will have a particular performance gap. The delivery of energy efficiency projects through energy performance contracts and ESCOs is widely seen as a way of addressing sub-optimal post installation performance of energy efficiency technologies. Since this model is very attractive from many perspectives and is identified as a central route to delivery of energy efficiency gains in the EPBD, **methods and models for the accurate measurement and verification of energy savings are essential to the growth of the ESCO market.** The energy audit process is generally done for a fixed duration at a specific point

in time. A key outcome is the identification and root cause analysis of energy inefficiencies and as a result a plan is put in place to minimise these inefficiencies. This can be very effective at reducing energy consumption in a building. However, from an implementation perspective, it can be difficult to identify all issues (in some cases conflicting system level goals) and the persistence of savings can be poor and as a consequence inefficiencies re-appear. Continuous energy auditing takes this one-off process and makes it a constant rolling cycle where a detailed overview of the building performance is consistently available making it possible to refine the energy management plan. **TOPAs adopts the principle of continuous performance auditing and considers not only energy use but also an understanding of how buildings are used and their climatic state**, thus providing a holistic performance audit process through supporting tools and methodologies that minimise the gap between predicted and actual energy use.

1.9.3 GREENSOUL - Eco-aware Persuasive Networked Data Devices for User Engagement in Energy Efficiency

Sito internet: <http://www.greensoul-h2020.eu/>

(2016-2019) Il progetto ambisce a limitare l'uso dell'energia negli edifici pubblici sia con interventi tecnologici che comportamentali.

GreenSoul pursues higher energy efficiency in public buildings by altering the way people use energy consuming shared devices (lights, printers) and personal devices (personal pluggable appliances). For that, it applies a twofold strategy: 1) persuades users to increase their energy-awareness and change their e-consumption habits and 2) **embeds intelligence in the devices to let them autonomously decide about their operation mode for energy efficiency purposes**. For the first part, it will use a variety of techniques, from persuasive social applications to physical interaction mechanisms linked to the devices. For the second part, it will learn from the usage habits, acting only when an energy wasteful behaviour is detected or the users do not heed the devices' suggestions. The aim is to add a green-soul to devices in a pluggable manner to avoid costly replacement of equipment and the corresponding disposal of old-fashioned devices to the landfill. GreenSoul's exploitation potential is addressed towards buildings of public use. There, the persuasion of users is particularly challenging since they hardly perceive the benefits of having eco-friendly behaviour, i.e. they do not pay the electricity bill. GreenSoul will design and develop an integrated ICT platform to: a) improve users awareness of their energy consumption habits; b) study the ecological behaviour of the people in shared environments; c) analyse the effectiveness of different persuasion techniques; d) assist users through a decision-support engine's recommendations; and e) provide socio-economic evidence about the viability of the changes proposed. **GreenSoul aims to prove that combined behavioural and ICT interventions over public buildings result in energy savings which surpass 20%**. It will be deployed in five building pilots at different climatic areas and associated to different usage and facilities, ensuring the cross-country and cross-building analysis of the impact of GreenSoul.

1.9.4 HIT2GAP - Highly Innovative building control Tools Tackling the energy performance GAP

Sito internet: <http://www.hit2gap.eu/>

(2015-2019) A volte i consumi previsti per un edificio e quelli che realmente ci sono durante il suo uso presentano grandi differenze. Il progetto mira a fornire una piattaforma che consenta ai “facility manager” proprietari o gestori dell'edificio di individuare la natura del problema e li aiuti a ridurre il “gap”.

Energia e “digitale”

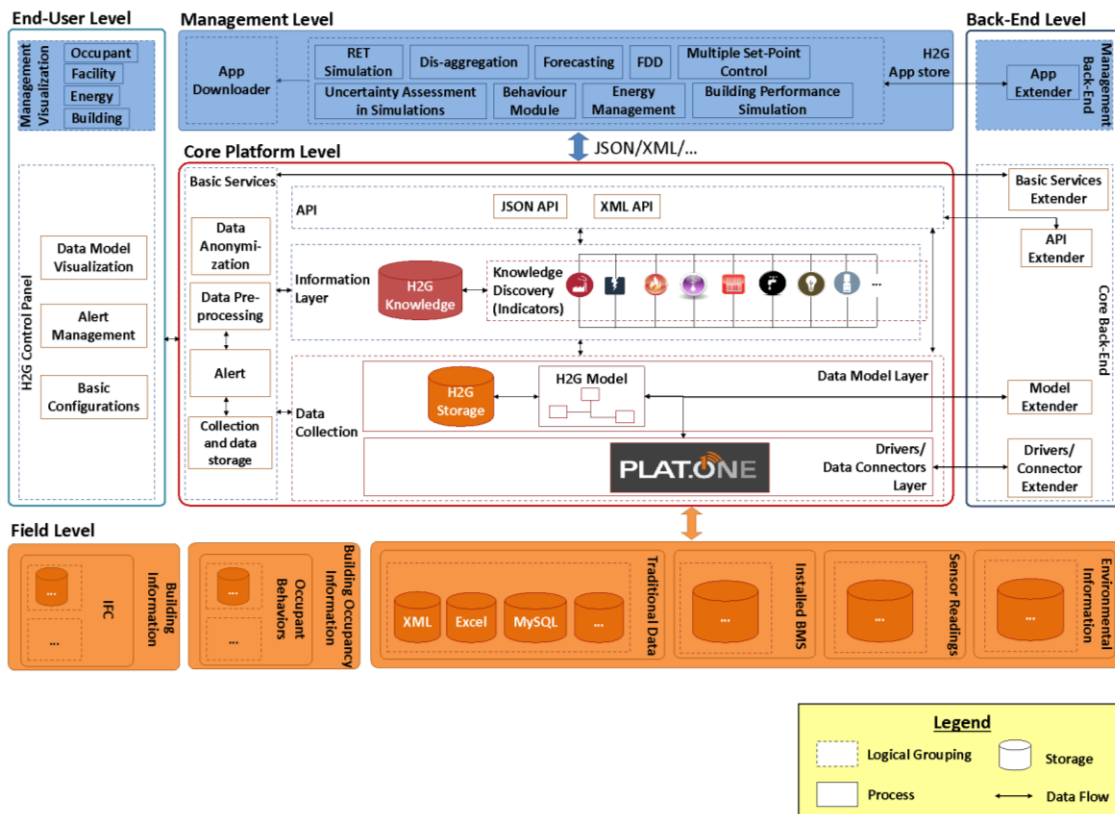


Fig. 6 - Struttura funzionale del progetto HIT2GAP.

Measurement campaigns have shown major discrepancies in buildings energy performance between planned energy demand and real energy consumption, while nowadays most of the newly constructed offices buildings are equipped with BMS systems, integrating a more or less extended measurement layer providing large amounts of data. Their integration in the building management sector offers an improvement capability of 22 % as some studies demonstrate. The HIT2GAP project will develop a new generation of building monitoring and control tools based on advanced data treatment techniques allowing new approaches to assess building energy performance data, getting a better understanding of building's behaviour and hence a better performance. From a strong research layer on data, HIT2GAP will build on existing measurement and control tools that will be embedded into a new software platform for performance optimization.

The solution will be:

- Fully modular: able to integrate several types and generations of data treatment modules (different algorithms) and data display solutions, following a plug and play approach
- Integrating data mining for knowledge discovery (DMKD) as a core technique for buildings' behaviour assessment and understanding

The HIT2GAP solution will be applied as a novel intelligent layer offering new capability of the existing BMS systems and offering the management stakeholders opportunities for services with a novel added value. Applying the solutions to groups of buildings will also allow to test energy demand vs. local production management modules. This will be tested in various pilot sites across Europe. HIT2GAP work will be realized with a permanent concern about market exploitation of the solutions developed within the project, with specific partnerships about business integration of the tools in the activity of key energy services partners of the consortium.

1.9.5 ENGINENCY - A Holistic System for Building Inspection and Energy Efficiency Management

(2016-2018) Il progetto supporta gli energy manager con delle soluzioni tecnologiche. Si tratta di automatizzare i processi (misura, modellazione e controllo). Sarà venduto come SaaS. A parere degli autori della relazione ci sono stime un po' troppo positive nei confronti degli impatti sul mercato.

Energia e “digitale”

Three industrial SMEs (ICM, QIVIVO and DEMO) and a public research institution (University of Vigo) from three EU countries are joining expertise in different building energy efficiency domains to develop and commercialize Enginency. Our approach will help to deliver, implement and optimize the energy efficiency of buildings, with technical, economic and societal potential to drastically reduce energy consumption and decrease CO2 emissions, addressing both new facilities and retrofitting and/or managing of existing ones. Enginency will support energy managers and expert’s decisions through the integration of energy audit with advanced technological solutions **for automated measurement acquisition, simulation over automatically calibrated models and analysis engines to deliver a holistic tool to inspect building, and measure, manage, report and improve their energy efficiency.** Enginency will be **commercialized as Software as a Service**, facilitating the implementation and acquisition of this powerful system while decreasing both costs of deployment and maintenance to the end user, without requiring the presence of IT experts. In particular, **Enginency will allow the final user to reduce the energy consumption of buildings of above 50%, with a zero-risks formula, while allowing Energy Service Companies (ESCOs) a 94% reduction of the inspection costs and an 88% reduction of the inspection duration, obtaining 15% more accurate results, with a payback time of only 12.4 months.** The Enginency consortium will take advantage of the substantial foreseen growth of the energy efficient market in Europe, as well as of the experience and current distribution network of its partners, to deliver its solution to ESCOs and final users generating 65 new jobs inside the consortium and a cumulative revenue of 20.4M€ over the first five years of commercialization, representing a unique opportunity of growth and market expansion for the members of the consortium.

1.9.6 ETA4B - Energy Trusted Advisor for Buildings

(2015) Progetto in cui si sviluppa un sistema di ottimizzazione energetica compatibile con i dispositivi attuali, facilmente installabile nelle case e piccoli edifici. I dati raccolti, dopo essere stati analizzati, vengono restituiti sottoforma di indici agli utilizzatori. In particolare la soluzione prevista comprende una piattaforma web-based aperta in grado di gestire flussi di dati energy-related per sostenere gli utenti finali nei processi decisionali relativi ai sistemi energetici.

ETA4B (Energy Trusted Advisor for Buildings) project promotes **the development of an embedded energy optimization system collaborating with existing devices, providing citizens with innovative applications and services in the field of energy efficiency of buildings, making home more smart.** The solution includes a multi-protocol electronic unit to be easily installed in houses and small buildings, providing an open-framework web-based platform with energy-related data flow for supporting the decision making process for end users. Benefits for users are in terms of energy saving (cheaper bills), CO2 emissions reduction and, for the ones being “prosumers” (energy users that also produce energy in their buildings), low production costs and higher profits. For Tera Srl, the challenge is to enter in the energy efficiency market thus enhancing company’s profitability. The main customers will be “prosumers”, addressed through an innovative commercial approach, based on web applications managed by skilled companies selling a modular and scalable service, rather than a device that will be introduced in the energy efficiency market for small buildings. Strong innovation also lies in the combination of automatic SW updating capability at front-end (no needs for maintenance and ease of use) and powerful reasoning engines at back-end. **These SW engines are based on energy-model calculations and big-data like algorithms, running both on private and public data-base (open-data), delivering “customized” performance indexes to the users.** To demonstrate the feasibility of ETA4B, Phase 1 activities will focus on specific components such as target market, partner search, value proposition, compliance to cutting-edge standards and development platforms, financial sustainability and business model. ETA4B responds to EU challenges concerning the market uptake of a sustainable solution, a new system for energy efficiency in buildings, seizing the European and global markets.

1.9.7 SENSIBLE - SENSors and Intelligence in Bullt Environment

(2017-2020) Progetto specifico per la progettazione di sensori e sull’analisi dei dati generati.

The goal of this project is to develop novel information sensing research and innovation approaches for acquiring, communicating and processing a large volume of heterogeneous datasets in the context of smart buildings, by building an international, inter-disciplinary and inter-sectoral collaboration network through research and innovation staff exchanges and seamless exchange of ideas, expertise, data, testbeds, and know-how. The need to sense and process ever increasing amount of data requires novel engineering that goes far beyond conventional centralised methods, where signal acquisition, communications and data processing are performed centrally and independently. Building on integrating signal acquisition, communications and information extraction into an overarching smart sensing approach, the project will provide a holistic decision support framework for non-residential buildings of the future. **The key challenges of providing intelligence to the building lie in ubiquitous sensing, inside and outside the building, and**

Energia e “digitale”

connecting the sensing technology to people and outside world via meaningful decision support. Though significant research has been dedicated to developing novel sensing and instrumentation technologies, further research and innovation advances are needed to integrate physical sensing to data processing via distributed estimation and fusion approaches, giving actionable meaning to the suite of collected data. In that context, it is necessary not only to continuously monitor the environment, equipment, systems and processes, but also to sense occupants' behaviour inside and outside the building and provide timely response and feedback. The proposal will tackle the above challenges through several routes: (1) new information-driven sensor designs that connect technology with people and information; (2) new Internet-of-Everything based communications protocols for seamless distributed detection and estimation; (iii) intelligent data processing.

1.9.8 IE2advisor - Intelligent Energy Efficiency Advisor

(2016-2017) I partecipanti al progetto con un un algoritmo, analizzando i dati, fanno in modo che si risparmi energia nelle piccole medie imprese.

Small and medium enterprises (SMEs, i.e. small offices, restaurants, coffees, retailers, pharmacies, small hotels, etc) typically have electricity bills that can easily exceed 500€/month and high savings potential (above 20%). **Nonetheless, they do not have adequate solutions to promote energy efficiency**, as current solutions are either: i) highly complex and costly Building Energy Management Systems suited only for large buildings or ii) focused on the residential sector needs. Neither of these solutions address the needs of the more than 20 million SMEs in EU-28. Leveraging on the infrastructure developed by Watt-IS focused on **promoting energy efficiency by a Non-Intrusive Load Monitoring algorithm** and a **user engagement platform** that is currently in pre-commercialization stage, we intend to bring to the market a low cost solution for SMEs, **integrating real-time energy monitoring, and innovative automatic generation of tailored energy efficiency measures**, intelligent control (lighting and HVAC) and suited for Demand Response (DR) programs – the Intelligent Energy Efficiency Advisor (IE2Advisor currently TRL 6). Although the end-users are SMEs, the main clients for IE2Advisor are Energy Service Companies (ESCOs) and Energy Utilities that can implement the IE2Advisor in their SME clients, generating value throughout the whole value chain, to SMEs (lower energy bills), ESCOs (higher energy savings generated to their clients) to utilities (more flexible management of energy loads and reduction of churn rates). Our aim for Phase 1 of the SME Instrument is to validate our Business Model, Market Analysis and Pricing schemes, in order to follow up with a Phase 2 proposal to engage around 10,000 SMEs (through ESCOs) and 315,000 (through Utilities) after 5 years, representing around 10.7 M€ in revenues. With our assumptions, we expect to deliver a service that will help EU SMEs to save around 500 GWh of electricity per year in year 5 (avoiding around 100M€ of costs to SMEs).

Altri progetti inerenti le tematiche relative all'economia dei dati sono:

- Virtual Private Home - Virtual Privte Home - Privacy-by-design Home Energy Efficiency Platform
(2015) Web platform particolarmente attenta alle questioni della privacy tema finora trascurato ma che nell'immediato futuro richiederà molta ricerca e collaborazione tra Istituzioni, centri di ricerca e aziende.
- EnerGAware - Energy Game for Awareness of energy efficiency in social housing communities
(2015-2018) il progetto mira coinvolgere gli occupanti di case di edilizia popolare in azioni di “simulazione e gioco” atto a formare la gente su temi inerenti il risparmio energetico.

1.10 Dati e misure energetico-ambientali

La parola anglosassone bigdata, come spesso accade per i termini che diventano “di tendenza” è una parola usata ed abusata dalla società, spesso utilizzata impropriamente anche in ambiti industriali e tecnologici. Nonostante il forte richiamo delle “sirene dei bigdata” il progetto presentato in questa relazione non si può “etichettare” come tale non avendo l'ambito in cui esso opera necessità di produrre dati aventi le caratteristiche delle 3V dei bigdata (volume, varietà, velocità).

Energia e “digitale”

Infatti nel contesto del progetto la varietà dei dati generati non è imprevedibile anzi è sempre strutturata a monte, il volume dei dati prodotti non richiede tecniche di archiviazione particolari (hadoop, mapreduce, etc.) e multiserver ed infine, pur garantendo una cadenza di misura piuttosto frequente la loro velocità di generazione non richiede particolari tecnologie informatiche.

Tuttavia mettere a fattor comune:

- la sfera dell'industria energetica in cui troviamo gli impianti di generazione energetica,
- la sfera dell'universo ICT (Information and Communication Technology),
- la sfera dell'analisi di informazioni digitali (il mondo dei dati) e
- la sfera sociale (cambiamenti demografici, formazione e cambiamento delle abitudini)

è indubbiamente **un esercizio che merita l'attenzione di un intero progetto di ricerca.**

Quando si mettono a contatto settori tradizionalmente “lontani” quali l'industriale, l'emergente economia digitale e quello sociale nascono idee **che fanno intendere vi sia spazio per sviluppare innovativi modelli di business.** Ma per funzionare, tali modelli, necessitano ancora di un ampio sforzo di ricerca e sviluppo, bisogno reso sempre più impellente dai macro-cambiamenti in corso a livello mondiale e locale sia ambientali che economici.

Un progetto di ricerca che insiste nel campo della Energy Informatics e potenzialmente anche in quello della Energy Social Informatics (vista l'impronta di Sinergia SC attenta anche agli aspetti sociali) è del tutto attuale e naturale, soprattutto quando coltivato in seno ad una ESCo innovativa interessata a indagare e a sfruttare le potenzialità offerte dalle branchie dell'economia digitale in particolare quella della data-analytics.

È importante per una ESCo che opera a livello regionale riuscire ad intercettare le potenzialità che l'economia digitale sta dimostrando di poter creare a livello globale, traducendole in prodotti digital “sartoriali” applicabili alle realtà locali.

Considerato il tessuto produttivo locale della Regione Veneto e attività del progetto si sono concentrate sullo sviluppo di sistemi adatti a edifici di piccole dimensioni, esistenti (quindi non nuove realizzazioni), nelle quali vanno trovati compromessi tra invasività e prestazioni del sistema.

1.11 Un ramo di attività “open-source”

Parte iniziale del progetto ha riguardato **lo sviluppo del sistema di misura** basato sulle comunicazioni ad onde convogliate. Queste attività hanno incontrato fin da subito alcune difficoltà di natura tecnica e per tale motivo, rispetto alla proposta di progetto descritta nel documento di lavoro, il piano delle attività è stato oggetto di una modifica.

Poiché secondo programma era previsto che nella seconda parte del progetto ci si fosse concentrati sull'analisi dei dati, per evitare il rischio di rallentare lo svolgimento, fin dalla comparsa dei primi imprevisti si è deciso di **aggiungere un “ramo” parallelo di attività.**

Accanto al percorso inizialmente previsto che ha portato alla realizzazione di prototipi basati sulle onde convogliate si è intrapreso un secondo filone di sviluppo nel quale si sono realizzati **strumenti di misura assemblati utilizzando hardware open-source** e operanti con comunicazioni wi-fi.

Energia e “digitale”

Tab. I. 4 - Percorso programmato e con aggiunta attività parallele per sviluppo hardware "open-source".

| | |
|--|---|
| Analisi del contesto di misura definizione dei parametri ambientali da misurare, delle modalità, dei piani di misura. | |
| Realizzazione strumento di misura | |
| Realizzazione di un modulo di raccolta e remotizzazione dati | |
| percorso di sviluppo con dispositivi a onde convogliate (test nodi, test sistemi di misura, sperimentazione in laboratorio, sperimentazione in campo, feedback ai produttori dei nodi) | percorso di sviluppo basato su elettronica open-source (realizzazione sistema MQ1, TUPWA, TUPWA2, remotizzazione conta-impulsi, sperimentazione in campo) |
| algoritmi | |
| algoritmi finalizzati all'esecuzione di analisi energetiche | algoritmi finalizzati al monitoraggio continuo di edifici dopo interventi di efficientamento |

Le attività svolte nelle 3 fasi di analisi del contesto, realizzazione strumenti, definizione algoritmi, sono descritte in Tab. I. 5.

Tab. I. 5 - Attività svolte nelle tre fasi del progetto.

| fase | titolo | Descrizione attività |
|-----------------------------------|--|---|
| Analisi del contesto | Definizione parametri da misurare | Fase necessaria per allineare le competenze della squadra. Si sono studiate le principali soluzioni usate nelle comunicazioni industriali. |
| Realizzazione strumento di misura | Nodi PLC versione 1 (1 gateway + 1 nodo) | Si sono fatte le prime sperimentazioni in laboratorio. Nella prima versione dei dispositivi il protocollo di comunicazione si è dimostrato non stabile; |
| | Nodi PLC versione 2 (1 gateway + 5 nodi) | Dopo una modifica che ha coinvolto anche l'hardware si è svolta una seconda fase di test in cui i nodi PLC sono stati sottoposti a prove di laboratorio in grado di simulare i contesti che si incontrano nelle applicazioni reali. Si è visto che la comunicazione risulta essere stabile solamente in determinate condizioni. L'affidabilità e la stabilità riscontrata in questa seconda fase di test non è stata ritenuta sufficiente. I nodi sono stati sottoposti ad una ulteriore fase di sviluppo |
| | Realizzazione modulo di controllo | |

Energia e “digitale”

| | | | |
|-----------|--------------------------------------|-------------------------|--|
| | | | che ha interessato la struttura di alimentazione degli stessi. |
| | | Nodi PLC versione 3 | |
| | | Dispositivi open-source | Vedi Tab. I. 3 |
| Algoritmi | Finalizzati alle analisi energetiche | | Definizione di algoritmi e procedure specifiche per le fasi pre-intervento |
| | Finalizzati al monitoraggio | | Definizione di algoritmi, reporting, procedure e funzioni specifiche per le fasi di monitoraggio delle prestazioni post-intervento |

2 Capitolo dedicato ai parametri ambientali

Le aziende di tipo ESCo fondano il proprio modello di business sui risparmi che gli interventi di efficienza energetica riescono a produrre. Il contratto EPC è uno degli strumenti più potenti in mano alle ESCo ma è anche uno dei più pericolosi.

Per progettare un solido contratto EPC è essenziale dotarsi di un sistema di acquisizione, elaborazione e monitoraggio delle grandezze che maggiormente influiscono sulle prestazioni pre e post intervento.

Il capitolo descrive pertanto le grandezze fisiche ed i parametri ambientali che in ambito civile (sia residenziale che industriale/terziario) regolano i consumi energetici per la climatizzazione degli edifici.

“Cosa serve misurare per ottimizzare l’analisi pre-intervento e migliorare la gestione post-intervento?”. Questa è la domanda che ha guidato la stesura del capitolo

2.1 Introduzione

La proposizione di valore di una ESCo è strettamente legata alla capacità di implementare interventi di efficienza energetica in grado di **“ripagarsi” grazie al risparmio energetico** (e quindi economico) generato attraverso il finanziamento tramite terzi (logica ESCo).

La proposta tecnico - economica fatta al cliente è frutto delle analisi che **mettono a confronto la situazione pre-intervento (periodo di riferimento) con una situazione post-intervento (periodo di rendicontazione)** che dipende dalle caratteristiche dell’intervento realizzato e da opportuni aggiustamenti comprensivi di eventuali cambiamenti delle condizioni di funzionamento tra i due periodi. La differenza dei consumi energetici tra il periodo di riferimento e quello di rendicontazione integrata da opportuni aggiustamenti rappresenta il risparmio energetico, cioè il parametro sul quale la ESCo costruisce il proprio modello di remunerazione.

La definizione di un consumo rappresentativo del caso pre-intervento così come la stima di quello post-intervento sono affette da incertezza. Tale incertezza rappresenta uno dei rischi che più affliggono la buona riuscita di un contratto EPC.

Il risparmio energetico non può essere misurato in modo diretto dato che esso rappresenta l’assenza di consumo di energia. La sua determinazione invece si ottiene confrontando le misure di consumo energetico o di potenza assorbita prima e dopo la realizzazione di un intervento, **adottando opportuni aggiustamenti** che tengano conto dei cambiamenti delle condizioni. Il confronto del consumo o della potenza assorbita, tra prima e dopo, deve essere fatto in condizioni omogenee usando la seguente equazione generale:

$$\text{risparmio} = (\text{Consumo}_{\text{periodo-riferimento}} + \text{Consumo}_{\text{periodo-rendicontaz.}} \pm \text{Aggiustamenti})$$

Pertanto in fase di proposta tecnica-economica, per una ESCo la definizione del consumo energetico pre-intervento in assenza di un piano di misura è affetto da incertezza. Tale incertezza rappresenta uno dei rischi che più impattano la buona riuscita di un intervento in logica ESCo .

Trova quindi spazio la domanda che ha guidato gran parte del progetto di ricerca:

- è possibile **ottimizzare gli interventi** di efficienza energetica (conoscendo in modo ottimale la situazione pre-intervento),
- è possibile **ottimizzare l'utilizzo degli impianti** (monitoraggio e controllo post-intervento)

attraverso una estensiva **raccolta ed analisi dei dati**?

Il rischio insito nella definizione stessa di un intervento in logica ESCo ad esempio attraverso un contratto EPC può essere ridotto attraverso la **definizione di un piano di misura** e del conseguente processo di **raccolta ed analisi dei dati**. Infatti la definizione di un piano di misura pre-intervento e la contestuale raccolta e analisi dei dati consente di definire la situazione "pre-intervento" rappresentativa della realtà sulla quale si intende intervenire (quindi comportando minor rischio).

Nel periodo post-intervento il piano di misura e la contestuale raccolta dati oltre a calcolare il risparmio energetico derivante dall'intervento in modo accurato permetterà di migliorare la conduzione e la gestione del sistema oggetto dell'intervento e di verificare in tempo reale il livello prestazionale potendo agire in caso di malfunzionamenti o di impostazioni impiantistiche non idonee al tipo di utilizzo del sistema.

2.2 Misure dirette e indirette

I risparmi possono essere determinati per un intero impianto/struttura o semplicemente per una porzione di essa, a seconda delle caratteristiche dell'intervento di efficienza energetica individuata.

Per quanto riguarda gli interventi di efficienza energetica riguardanti gli edifici ed i relativi sistemi tecnici, se lo scopo della rendicontazione è verificare i risparmi di una specifica apparecchiatura soggetta al programma di risparmio, si tratterà un confine di misura attorno a quell'apparecchiatura. Poi, all'interno del confine, si potranno determinare i requisiti significativi di fabbisogno energetico dell'apparecchiatura.

La determinazione del consumo energetico può essere effettuata

- mediante misura diretta del flusso di energia o
- mediante misura di parametri correlati ai consumi energetici o alla potenza assorbita che indirettamente permettano di calcolare in modo affidabile il consumo energetico o la potenza assorbita.

Se lo scopo della rendicontazione è invece verificare e/o aiutare a gestire le prestazioni energetiche dell'intero impianto/struttura, per valutare prestazioni e risparmi possono essere utilizzati i contatori che misurano la fornitura di energia all'intero impianto/struttura. Il confine di misura, in questo caso, comprende l'intero impianto/struttura.

Il periodo di riferimento deve essere determinato in modo tale da rappresentare le modalità di funzionamento dell'impianto/struttura o dell'apparecchiatura durante un normale ciclo operativo: il periodo deve estendersi su un ciclo operativo completo dal massimo al minimo valore di consumo energetico e/o di potenza assorbita.

2.3 Grandezze fisiche

Ragionando a livello teorico ma tenendo presente l'ambito di riferimento del progetto, le grandezze fisiche che impattano sui consumi energetici e che sono misurabili nel contesto del progetto sono le misure di temperatura, comfort, occupazione, e remotizzazione impulsi contatori (energia elettrica, energia termica, consumi di acqua).

1. La misura della temperatura può essere relativa alla temperatura di una stanza oppure riguardare le temperature di mandata/ritorno di un fluido in una tubazione. Nel primo caso la misura riguarda principalmente il comfort dell'utente e il modo in cui l'edificio viene utilizzato.
2. La misura di umidità dell'aria è un parametro che nel contesto di questo progetto riguarda il "comfort" degli ambienti.
3. La misura dell'occupazione avviene utilizzando un sensore PIR. In molti casi, sensori dello stesso modello hanno presentato risposte diverse: la misura di presenza e la sua lettura/gestione ha presentato durante il progetto caratteristiche di instabilità e di "volatilità". Questo potrebbe essere dovuto a 2 ordini di motivi:
 - uso di sensori particolarmente delicati e sensibili
 - l'installazione integrata nel "case" dello strumento realizzato dall'azienda interferiva con le misure
4. Per quanto riguarda le misure di energia elettrica, energia termica e consumi di acqua le attività svolte non si sono focalizzate nel realizzare uno strumento capace di misurare il consumo elettrico bensì nel costruire un "remotizzatore" della misura fornita da contatori industriali. Si è pertanto realizzato un hardware + software capace di archiviare le letture dei consumi generate da uno strumento certificato presso un server web online.

3 Un “sistema di misura” a “misura” di ESCo

Nel capitolo viene fornita una descrizione dell’ambito in cui il progetto è nato ed è stato sviluppato. La domanda a cui rispondere è “cosa si intende per sistema di misura nel contesto di una azienda ESCo?”

Nel capitolo dopo aver presentato il mercato di riferimento vengono definiti gli obiettivi, i vincoli ed i confini di quelli che nella presente relazione sono chiamati “sistemi di misura”.

Le caratteristiche, le modalità ed i processi che concorrono a definire una campagna di misura sono strettamente vincolate al **tipo di applicazione**, al contesto ed alle prestazioni richieste. Il sistema di misura è sottoposto a requisiti e vincoli molto differenti a seconda che sia chiamato ad operare in un contesto di normali aspettative (per esempio delle misure pseudo-amatoriali) piuttosto che, all’opposto, in applicazioni nelle quali le misure devono garantire livelli di accuratezza e precisione estremamente elevati, si pensi alle applicazioni di natura scientifico-sperimentale.

Questa ampia variabilità delle caratteristiche si riflette sul costo degli strumenti e sulle capacità richieste a chi deve costruire, installare e far funzionare il sistema di misura senza dimenticare le fasi successive alla generazione della misura che vanno dalla produzione all’archiviazione del dato passando per l’elaborazione ed il trattamento dei dati.

Nell’ambito di interesse del progetto di ricerca, i sistemi di misura considerati operano principalmente in ambito civile (sia residenziale che terziario ed industriale) **misurando parametri ambientali ed energetici**. Saltuariamente i sistemi di misura ivi analizzati potranno essere chiamati a misurare parametri di processo che, sempre considerando il mercato d’azione di una ESCo, nella maggioranza dei casi si riconducono alle misure di consumi elettrici, di energia termica o di un fluido che scorre in una tubazione quale potrebbe essere acqua o gas naturale. La precisione e la risoluzione richiesta non è estremamente elevata tuttavia, avendo spesso a che fare con misure che poi danno seguito a spese/incassi economici è richiesta una certa affidabilità.

3.1 Il mercato di riferimento

Al fine di contestualizzare appieno il presente rapporto è opportuno sottolineare il filo conduttore che ne ha legato la redazione. Le lenti attraverso cui vanno osservati i “sistemi di misura” ivi descritti devono tenere in conto che si opera in una azienda il cui **modello di business gravita attorno al mondo del risparmio energetico**.

Operativamente una ESCo investe finanziando interventi di efficienza energetica: il risparmio economico generato da un minor consumo energetico è uno dei fattori che maggiormente contribuiscono alla sua remunerazione. È immediato comprendere come un sistema di misura che sia al contempo flessibile **quando applicato a campagne di misura pre-intervento e affidabile quando le campagne misurano le prestazioni post-intervento** possa impattare concretamente nel modello di business.

Non è raro che i consumi energetici operativi di un edificio anche dopo un intervento, siano superiori a quelli stimati in fase di progettazione. Spesso la differenza è da ricercarsi in una errata configurazione degli impianti, ad una loro gestione poco attenta oppure a guasti di sistemi ausiliari

Un “sistema di misura” a “misura” di ESCo

che pur non impattando sul funzionamento generale influenzano pesantemente i consumi energetici.

Se non corretti tempestivamente accanto al danno ambientale causato dall’inutile spreco energetico si deve fare i conti con il danno economico. Il **minor risparmio si traduce in un minor ricavo economico**.

3.2 I requisiti del sistema di misura per una ESCo

Ottime campagne di misura permettono all’azienda **sia di ridurre il rischio** (conoscere con più certezza le prestazioni pre-intervento permette di elaborare offerte tecniche tarate su prestazioni e taglie più adatte al fabbisogno) **che migliorare la profittabilità** (ottimizzare le scelte progettuali e monitorare attivamente gli impianti ed i processi nel periodo post-intervento).

I dispositivi hardware, il software e gli algoritmi sviluppati durante il progetto di ricerca, secondo opinione del team, vanno incontro agli obiettivi:

- rendere più robuste le decisioni progettuali/operative degli esperti energetici nel breve periodo;
- gettare le basi per creare un sistema informatico potenzialmente utile per supportare quelle strategiche di medio periodo;
- favorire un approccio “data-driven” (nei casi in cui il tempo di raccolta delle misure è sufficientemente lungo).

Il prodotto del sistema di misura sono i dati e questo è l’oggetto che “nasconde” in sé il valore che un’azienda deve estrarre. I dati generati dai sistemi di misura, dati “in pasto” agli algoritmi, devono

- consentire **l’estrazione di informazioni che,**
- **al minor costo possibile,**
- possano concretamente supportare il progettista energetico nel **prendere decisioni consapevoli** (se in fase di diagnosi pre-intervento) e di **monitorare** nel modo più **efficace e tempestivo** possibile l’intervento (se applicati post-intervento)
- **limitando il rischio.**

Inoltre la raccolta di dati per lunghi periodi di tempo (ad esempio alcune stagioni termiche) consente di individuare strategie di controllo “definite sartorialmente” impianto per impianto, edificio per edificio, situazione per situazione arrivando ad un dettaglio che teoricamente potrebbe arrivare ad applicazione per applicazione.

Il settore della data-analytics è relativamente nuovo ed in forte evoluzione. Se alla generazione di dati si integrano meccanismi di “machine learning” le opportunità che si prospettano sono oltremodo affascinanti. Tuttavia non va mai dimenticato il contesto di azione e gli obiettivi di una esco: l’intelligenza artificiale deve fornire informazioni utili alla ESCo senza rischiare di “distrarre” i progettisti dal focus principale. Questi ultimi temi esulano dall’obiettivo della presente ricerca ma fanno intendere quanto **importante e necessario sia costruire una “cultura del dato”** in ogni tipo di azienda comprese le PMI tipiche del tessuto produttivo della Regione Veneto.

Glossario

precisione: capacità di fornire misure similari sotto condizioni di ripetibilità della stessa grandezza; una misura è tanto più precisa quanto più i singoli valori misurati in condizioni di ripetibilità si concentrano intorno alla media della serie di misure effettuate;

Un “sistema di misura” a “misura” di ESCo

accuratezza: esprime l'assenza di errori sistematici nella misura; una misura è tanto più accurata quanto più la media delle misure si approssima al valore reale della grandezza;

risoluzione: è la più piccola variazione misurabile del valore della grandezza in ingresso, corrispondente alla minima variazione percepibile del valore della grandezza in uscita (si riferisce a tutta la scala dello strumento);

sensibilità: rappresenta la più piccola grandezza che lo strumento di misura riesce ad apprezzare (si riferisce all'inizio della scala dello strumento);

3.2.1 Sistemi di misura per aziende energetiche

“Fornire informazioni ed analisi utili al progettista energetico grazie ai dati generati dalle misure”. Questo è l'obiettivo che ha pilotato lo svolgimento del progetto, obiettivo che deve essere perseguito considerando con attenzione aspetti non trascurabili quali:

- **economicità** del sistema di misura: è necessario individuare il giusto compromesso tra la accuratezza, precisione, qualità, etc. richiesta dal sistema e suo costo;
- **affidabilità**: il sistema di misura deve garantire le misurazioni con un certo grado di affidabilità; la remotizzazione delle misure e l'implementazione di controlli automatici può essere molto utile per individuare eventuali guasti o anomalie;
- **precisione**: che le misure siano “vicine alla realtà”;
- **flessibilità**: il sistema di misura, soprattutto quando utilizzato in un contesto di “analisi pre-intervento”, deve poter adattarsi a molteplici impianti energetici e produttivi;
- **versatilità**: per poter usare lo stesso sistema di misura in molteplici siti di natura diversa;
- **ingombro, invasività**: il sistema di misura deve essere compatibile con gli spazi disponibili presenti nell'impianto energetico o produttivo;

Le caratteristiche richieste ad un sistema di misura differiscono sensibilmente a seconda che la campagna di misura si sviluppi nell'ambito del periodo “pre-intervento” o che essa sia applicata

durante un periodo “post-intervento”.

La versatilità, la flessibilità, l'accuratezza, il costo e l'affidabilità richiesta al sistema di misura è ben diversa a seconda che esso sia applicato in fase di diagnosi piuttosto che in fase di monitoraggio / controllo.

I **parametri che regolano il costo e le prestazioni di un sistema di misura** non dipendono esclusivamente dalle caratteristiche hardware del dispositivo che fisicamente effettua la misura. Ci sono una moltitudine di fattori che vanno considerati a partire dalla comunicazione delle informazioni

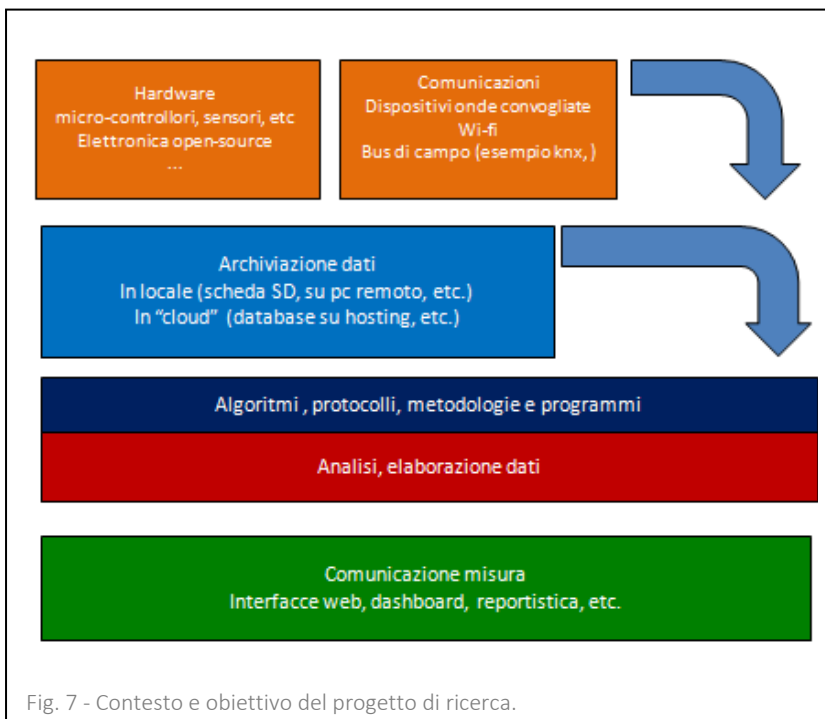


Fig. 7 - Contesto e obiettivo del progetto di ricerca.

(focus del progetto), dal software che archivia le misure fino ad arrivare alle dashboard che restituiscono i dati in un formato adatto.

Un "sistema di misura" a "misura" di ESCo

Il costo di un sistema di misura per una azienda di tipo ESCo dipende da:

- hardware del sensore e hardware del dispositivo in generale;
- hardware del sistema di comunicazione locale;
- hardware del sistema di comunicazione nella rete;
- programmazione del sistema di misura;
- algoritmi di analisi dei dati;
- sistema di archiviazione;
- sistema di reporting/dashboard.

Lo schema funzionale del sistema di misura si può riassumere nella Fig. 8. Nella ellisse azzurra viene evidenziata il contesto di utilizzo delle onde convogliate ovvero la comunicazione di dati tra misuratori ed un modulo di controllo / aggregatore.

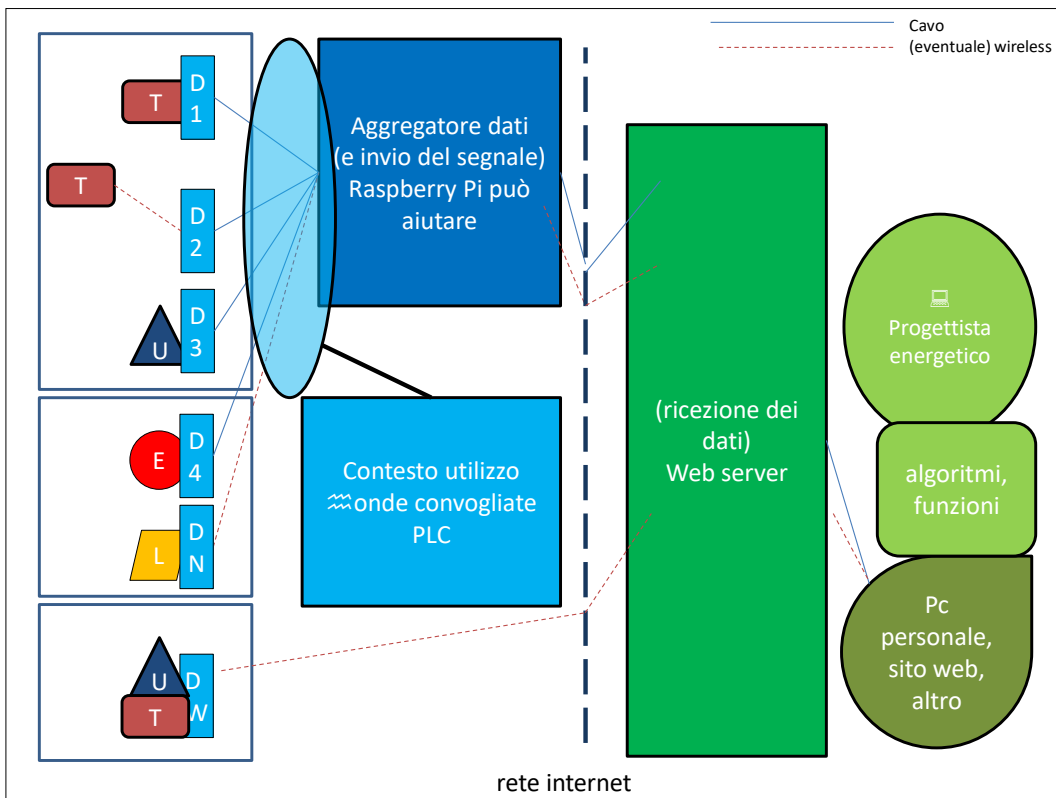


Fig. 8 - Schema funzionale per la definizione di "sistema di misura"

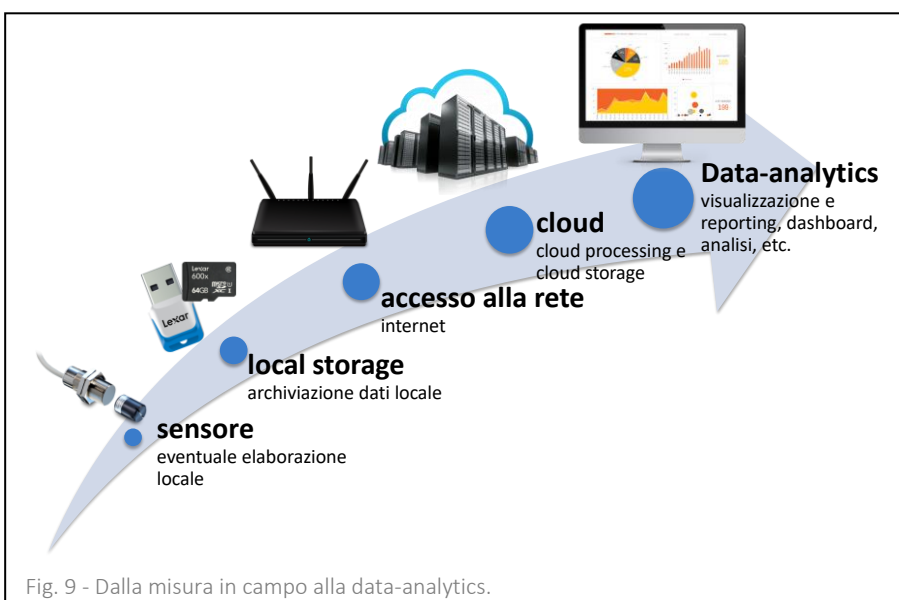


Fig. 9 - Dalla misura in campo alla data-analytics.

3.3 Hardware

Schematicamente i "blocchi" hardware che vanno a comporre un sistema di misura adatta

Un “sistema di misura” a “misura” di ESCo

alle applicazioni in ambito energetico sono:

- **sensore**: ha la funzione di eseguire la misura e di rendere disponibile l’informazione in formato elettrico compatibile con il protocollo di comunicazione; il sensore di per sé non attua alcun processamento dei dati quindi sono spesso corredati da micro-elettronica capace di condizionare il loro segnale di uscita rendendolo più “leggero” e compatibile con il sistema di comunicazione locale e/o di rete più estesa;
- **aggregatore dati (gateway) ed eventuale “local storage”**: ha la funzione di raccogliere i dati delle misurazioni prodotti dai sensori archiviandoli o in locale (per esempio salvandoli su un file .csv oppure n database locale) o inviandoli a un web Server remoto;
- **comunicazioni rete locale**: ha la funzione di far comunicare i dispositivi in ambito locale (ad esempio la rete di nodi PLC installata in un edificio);
- **network**: consente al sistema di misura sia in ambito più ampio (ad esempio comunicare i dati dal luogo in cui è installato il sistema di misura ed un web-server);
- **storage dati (cloud oppure “in locale”)**: l’archiviazione dei dati può avvenire in locale direttamente nell’aggregatore locale (gateway) se dotato di memoria, oppure in remoto se vi è una comunicazione verso l’esterno. Nel primo caso le informazioni non sono immediatamente disponibili al progettista energetico (è necessario andare a recuperare i dati presso il sistema di misura), nel secondo caso i dati delle misurazioni sono archiviati in un web-server/cloud e pertanto sono disponibili per la lettura/elaborazione in ogni momento. La complessità ed il costo dei due sistemi può essere molto diverso per cui l’architettura va scelta con molta attenzione;
- **pc/tablet dello specialista in ambito energetico**: al progettista energetico interessano le informazioni appunto di natura energetica e termodinamica; l’architettura del sistema di misura deve poter raccogliere, archiviare, filtrare e analizzare le informazioni in modo automatizzato al fine di fornire elaborazioni ad alto valore informativo (data-analytics).

Di seguito una sintetica descrizione dei principali componenti.

3.3.1 Funzione “sensore”

Questo blocco del sistema di misura ha come obiettivo quello **la trasformazione della misura di una grandezza fisica in un segnale elettrico.**

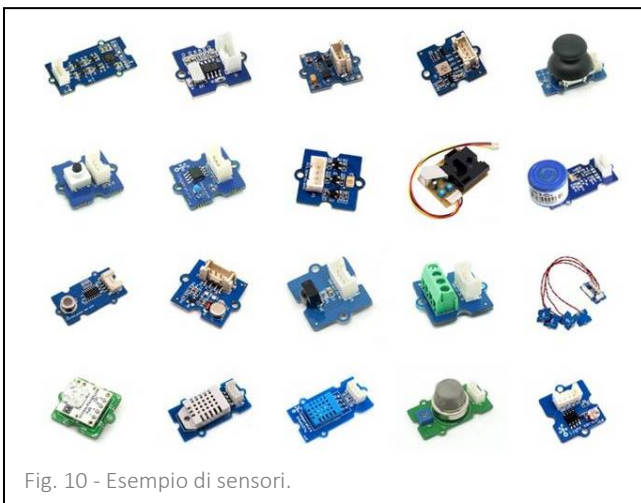


Fig. 10 - Esempio di sensori.

All’interno del blocco saranno quindi presente dei trasduttori capaci di generare o modificare un segnale (solitamente elettrico) proporzionalmente alla grandezza da misurare. A volte sono dotati di **microprocessori locali che attuano una prima elaborazione del segnale** generando dati più rilevanti e più adatti alla trasmissione.

A titolo esemplificativo si può pensare alle sonde di temperatura LM35 (analogiche) oppure a quelle digitali DHT11, DHT22 o ancora ai sensori di presenza PIR (Passive InfraRed).

3.3.2 Funzione aggregatore di dati / gateway

Le misure disponibili a livello di sensore di misura devono poter essere rese disponibili in un formato compatibile con le competenze dell’esperto energetico presso un personal computer spesso fisicamente molto lontano dall’ambiente in cui la campagna di misure si svolge. Inoltre, anche a livello locale, aggregatore e sensori di misura possono distare qualche decina di metri.

Si comprende come la **necessità di trasmettere le informazioni sia di primaria importanza**. Le strategie che si possono adottare sono molteplici. La scelta delle tecnologie da adottare deve tener conto dei vincoli (ad esempio non si possono installare nuovi cavi), dei requisiti (quanta banda serve e con che affidabilità, della sicurezza, dell’inquinamento elettromagnetico), della interoperabilità con i sistemi esistenti e del costo.

Spesso in assenza di una connettività “stabile” è utile **eseguire delle operazioni di elaborazione delle misure** (per esempio aggregazioni, calcolo di medie, etc.) **già a livello del sensore** oppure presso il dispositivo gateway “aggregatore di dati” locale.

Il gateway in caso di assenza di connettività, se dotato di memoria di massa, **può archiviare in locale una parte delle misurazioni** che possono essere trasmesse ad intervalli di tempo regolari oppure quando la linea di trasmissione è meno carica e così via.

3.3.3 Comunicazioni

Ci sono 2 livelli di comunicazione: **quella locale e quella di rete**. La prima riguarda la trasmissione delle informazioni tra i sensori di misura ed il modulo di controllo, le distanze in gioco sono di qualche decina di metri. La tecnologia “onde convogliate” rientra in quest’ambito. Le comunicazioni di rete riguardano la trasmissione dei dati su lunghe distanze, ad esempio dal gateway al web-server.

Altro aspetto da considerare è il **mezzo fisico usato per la trasmissione** del dato. Essenzialmente la scelta è tra il mezzo fisico solido (via cavo, soluzioni cosiddette a BUS) e via onde elettromagnetiche (ad esempio i comuni protocolli GSM, Wi-Fi, etc.). La scelta sull’utilizzo di quale soluzione adottare dipende da una grande varietà di fattori.

3.3.4 Storage dati

Per poter fornire una valida informazione sull’andamento nel tempo di un parametro, **le misurazioni devono poter essere archiviate**. Questo può essere fatto creando una serie di file su un terminale “in locale” (ad esempio in formato .csv, all’interno di fogli di calcolo, etc.) oppure, soluzione che si sta affermando come standard de-facto, **remotizzare i dati** in un web Server cloud ovvero in particolari database residenti su macchine connesse alla rete internet e residenti in server farm dotate di grande connettività e affidabilità.

Il vantaggio dell’archiviazione in remoto si ripercuote anche dal punto di vista dell’accessibilità dei dati: essi sono e saranno sempre disponibili da qualsiasi dispositivo purché connesso alla rete.

3.3.5 Terminale (pc, tablet, smartphone)

Infine, il sistema di misura deve mettere l’esperto energetico nelle condizioni di poter disporre, leggere e analizzare i dati misurati. I mezzi più comuni sono i personal computer ed i dispositivi elettronici quali tablet e smartphone.

Un “sistema di misura” a “misura” di ESCo

La traduzione dei dati grezzi in tabelle, grafici, diagrammi ed infografiche richiede un notevole impegno in termini di sviluppo software.

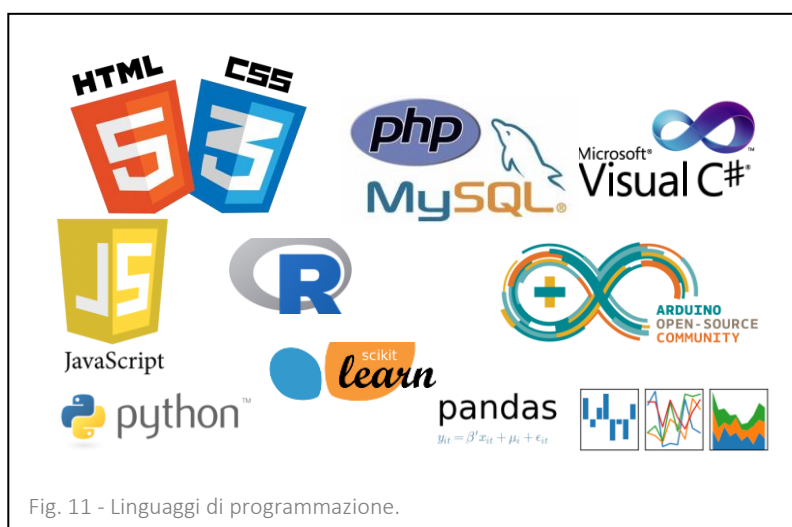
Più la struttura con cui i dati sono raccolti è standard e più si possono replicare le funzioni di analisi per situazioni diverse (uso dello stesso software per più impianti). Però un elevato grado di standardizzazione generalmente contrasta con la capacità di personalizzazione/customizzazione. L'azienda di tipo ESCo deve trovare il **giusto compromesso tra standardizzazione e personalizzazione** delle applicazioni software.

Considerando il contesto del progetto di ricerca, con riferimento alla Fig. 8, nel caso delle onde convogliate la comunicazione tra dispositivi di misura D1, D2, DX ed il sistema **aggregatore avviene fisicamente tramite gli stessi cavi del sistema elettrico**, ovvero lo stesso impianto che porta energia e potenza elettrica ai carichi di un edificio. La tecnologia a “onde convogliate – PLC” viene descritta nel capitolo 4.

Come premesso nella introduzione alla relazione, il progetto di ricerca al fine di poter eseguire una comparazione critica tra la tecnologia “onde convogliate” e le altre tecnologie disponibili sul mercato, ha **sviluppato anche soluzioni basate su tecnologie open-source** che stanno riscuotendo un notevole interesse nel mercato amatoriale e consumer. Tali tecnologie open-source stanno vivendo un periodo particolarmente interessante nel quale si stanno aprendo interessanti spazi anche per il mercato “professionale” soprattutto per la fase “pre-intervento”. Gli strumenti basati su tecnologie open-source sono descritti nel capitolo 6.

3.4 Software e linguaggi di programmazione

I dispositivi hardware composti dai sensori e relativa infrastruttura misurano e generano dati che rappresentano appunto gli stati assunti nel tempo delle grandezze fisiche descritte nel capitolo 2. Tali misure, così come generate a livello di sensore, non sono generalmente facilmente accessibili o pronte a fornire informazioni utili al progettista energetico. Spesso si tratta di dati grezzi che compongono i cosiddetti “muri di numeri” che seppur perfettamente elaborabili dai personal computer non sono di immediata utilità per le persone umane: devono quindi essere trasformati in tabelle, grafici e numeri di concreta utilità per il progettista.



Prima di tutto, il primo passo è quello di renderli “disponibili” presso la piattaforma informatica del progettista energetico: devono essere “trasportati” dal luogo della misura al terminale dell’esperto.

In secondo luogo i dati grezzi devono aver già subito una prima fase di elaborazione in modo che le informazioni in essi contenute siano “espressive” ovvero interpretabili dalla ESCo. Una parte importante del progetto di ricerca si è focalizzata su questo aspetto:

tradurre i dati “raw” ovvero grezzi in un formato maggiormente “espressivo” che permetta di approfondire la conoscenza della grandezza o del processo sottoposto alla campagna di misura.

Un “sistema di misura” a “misura” di ESCo

La questione software e di programmazione assume un peso piuttosto rilevante. All'interno di un sistema di misura, anche se adibito a misure piuttosto semplici, ci sono una grande varietà di tecnologie ognuna avente in dote i propri protocolli e standard.

Nel progetto di ricerca sono stati usati diversi linguaggi di programmazione, ognuno dedicato ad un particolare obiettivo:

- a livello dei dispositivi per attuare logiche di programmazione dell'elettronica open-source si è fatto ricorso al linguaggio usato dalla piattaforma Arduino (un linguaggio derivato dal C/C++);
- al linguaggio Python per programmare il mini-pc Raspberry Pi;
- ai linguaggi php/mysql per archiviare ed estrarre i dati in remoto;
- html, css, javascript per realizzare l'applicazione di archiviazione, elaborazione e visualizzazione dei dati.

Il capitolo successivo presenta la tecnologia oggetto della ricerca evidenziandone potenzialità e criticità.

4 Onde convogliate - PLC

In questo capitolo viene descritta la tecnologia “onde convogliate (Power Line Communication)” che sta alla base della comunicazione “in locale” dei sistemi di misura considerati nel progetto. Dopo una breve introduzione sui principi fisici che regolano il fenomeno viene proposta un’analisi dei fattori che maggiormente la rendono competitiva nel mercato di riferimento e delle barriere che ne frenano lo sviluppo e la diffusione.

In linea con l’obiettivo generale del progetto di ricerca vengono analizzati i pregi e difetti delle onde convogliate ponendole a confronto con le principali alternative esistenti sul mercato quali le comunicazioni con bus fisici dedicati e le reti senza fili (wireless).

Sono inoltre presentati i dispositivi utilizzati nel progetto forniti dal partner tecnico BClever.

4.1 Introduzione

Gli impianti energetici ed elettrici operanti nel settore civile e industriale con sempre maggior frequenza sono dotati di dispositivi capaci di aggiungere “intelligenza e automazione” all’intero sistema sia esso produttivo o di servizio. Questo avviene grazie alla generazione, analisi e gestione dei dati riguardanti la misura dei parametri di processo o ambientali. La pervasività delle misure è permessa dall’infinita gamma di sensori oggi disponibili a prezzi del tutto competitivi.

Generata l’informazione presso il punto di misura è necessario poter disporre del dato esternamente al processo industriale o all’ambiente civile. La **trasmissione dell’informazione** verso un raccoglitore di dati può avvenire sfruttando tecnologie e modalità diverse. Poiché la totalità delle misure viene convertita in segnali elettrici è naturale pensare che il mezzo più idoneo a svolgere la funzione di trasporto sia un classico conduttore elettrico: questa soluzione viene chiamata BUS.

La comunicazione via BUS è attualmente tra le più adottate. Essa però richiede l’installazione di ulteriore materiale elettrico oltre a quello necessario per l’impianto di potenza con aggravio dei costi in termini di materiale, di spazio e di complessità dell’installazione. È in questo ambito che trova spazio l’idea di una trasmissione del segnale che possa **adottare quale mezzo trasmissivo gli stessi conduttori utilizzati per l’impianto elettrico “di potenza”**.

La tecnologia che rende concreto questo approccio prende il nome di “*Onde Convogliate (Power Line Communication)*”: essa consente di **far transitare le informazioni negli stessi conduttori utilizzati per il trasporto di energia**. I vantaggi sono molteplici: un notevole risparmio di materiale, una minor ingombro e una complessità circuitale ridotta.

Tuttavia non avere un canale trasmissivo completamente dedicato al transito delle informazioni impone di doversi per forza appoggiare all’impianto elettrico esistente introducendo quindi degli svantaggi e delle problematiche che analizzeremo nel corso della ricerca.

4.1.1 La comunicazione industriale

Le aziende al fine di migliorare la propria competitività sono sempre più interessate alla *trasformazione digitale*, un’area di sviluppo che permette loro di velocizzare i processi rendendoli gestibili in modo completamente nuovo. L’*Internet of Things* trova terreno fertile infatti anche nelle

Onde convogliate - PLC

industrie dove un insieme eterogeneo di macchinari, controllori, misuratori, etc. viene fatto interagire grazie a protocolli di comunicazione condivisi e capaci di implementare logiche di automazione particolarmente spinte.

Appare lampante come **la comunicazione tra dispositivi** sia uno degli aspetti più importanti di questo approccio. Nuovi e moderni macchinari non possono sfruttare pienamente le potenzialità dell'IoT se le informazioni tra di essi e gli impianti non viaggiano a velocità adeguate o non sono affidabili (per il momento, trascurando le questioni di sicurezza e privacy).

Anche nei sistemi di automazione industriale, come in altri settori dall'energia alla logistica si sta passando da un modello di controllo e gestione centralizzato a un modello in cui **le funzioni sono distribuite** tra una moltitudine di apparati collegati ad una rete e comunicanti tra di loro.

Da un'unica intelligenza centralizzata collegata (cablata, connessioni analogiche) a una moltitudine di attuatori e misuratori senza intelligenza, si sta passando a **un modello in cui ogni misuratore e ogni attuatore è dotato di intelligenza e comunica con tutta la rete**: il sistema a fronte di una programmazione e gestione più complessa è sicuramente più scalabile, malleabile, i guasti hanno meno impatto, accoglie meglio componenti nuovi e non standardizzati, etc.

La ricerca si focalizza su uno dei metodi di comunicazione attualmente disponibili: le onde convogliate. **L'ambito di ricerca è la comunicazione "locale"** ovvero tra dispositivi posti a distanze di poche decine di metri.

4.2 Le onde convogliate

Obiettivo di un sistema che usa le onde convogliate è **"comunicare dati codificati lungo linee elettriche esistenti e primariamente utilizzate per scopi di natura energetica"**.

Le "onde convogliate" fanno parte dei sistemi a "BUS" in quanto i dati viaggiano in un cavo. C'è però una differenza fondamentale rispetto ai classici sistemi BUS: per le onde convogliate **il conduttore che deve trasmettere le informazioni coincide con quello utilizzato per l'alimentazione elettrica**.

Nei tradizionali sistemi a BUS ci sono i cavi di potenza e cavi di segnale distinti, per le onde convogliate invece sono coincidenti facendo emergere una serie di vantaggi a cui si contrappongono degli svantaggi che possono precluderne l'utilizzo in alcune applicazioni. Mentre i sistemi a BUS adottano per la trasmissione cavi dedicati (cavo di bipolare intrecciato detto anche doppino, cavo coassiale, fibra ottica) caratterizzati da alta qualità costruttiva, per le onde convogliate il mezzo fisico è generalmente in rame di mediocre qualità non bonificato e presenta giunzioni che introducono disturbi.

4.2.1 Funzionamento

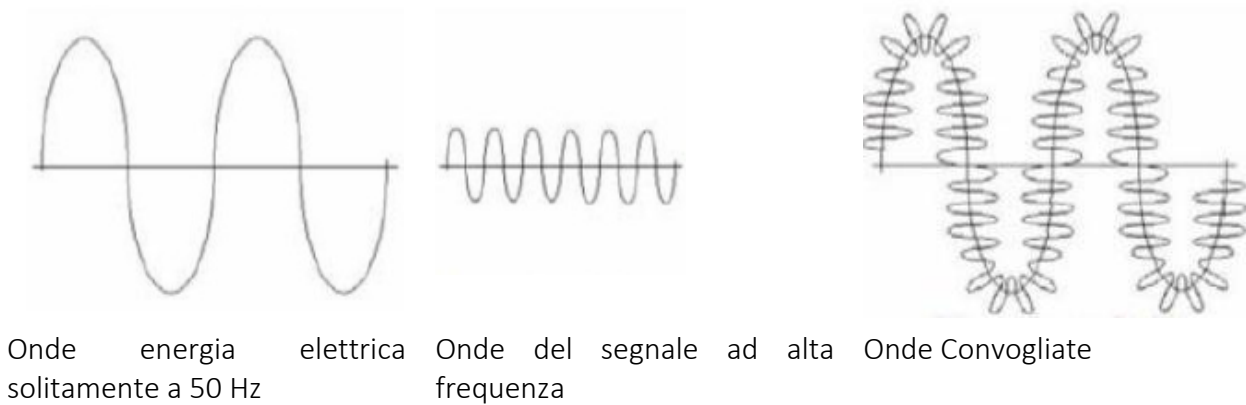
Alle onde elettromagnetiche a bassa frequenza (50-60 Hz) utilizzate per la distribuzione di energia elettrica **viene sovrapposta un'onda ad alta frequenza che viene modulata in relazione ai dati/segnale da trasmettere**. Rete elettrica "di potenza" e "rete di comunicazione" fisicamente coincidono ma sono concettualmente due linee distinte (anche se si disturbano a vicenda). Le figure in Tab. 2 mostrano l'idea fisica alla base del funzionamento.

Da (Bianchi Bandinelli & Miori):

Onde convogliate - PLC

Il principio di funzionamento prevede di associare l'onda del segnale/dati ad alta frequenza con l'onda per trasmettere energia a bassa frequenza. Quindi si convogliano segnali a diverse frequenze sullo stesso cavo, che al termine della trasmissione vengono separati con opportuni filtri e dispositivi elettronici.

Tab. 2 - Principio di funzionamento delle onde convogliate.



4.2.2 Accoppiatore di segnale

Il BUS è il canale su cui viaggiano le informazioni sotto forma di segnali elettrici opportunamente modulati. Al BUS sono collegati diversi dispositivi a loro volta alimentati. Come fare per capire quale informazione si riferisce ad un dispositivo e quale ad un altro?

Per "introdurre" e "leggere" le informazioni che transitano nel BUS sono necessari degli accoppiatori in grado appunto di accoppiare un dispositivo (generalmente alimentato dalla rete elettrica) con la rete BUS. Le **BCU (BUS Coupling Unit)** assolvono questa funzione.

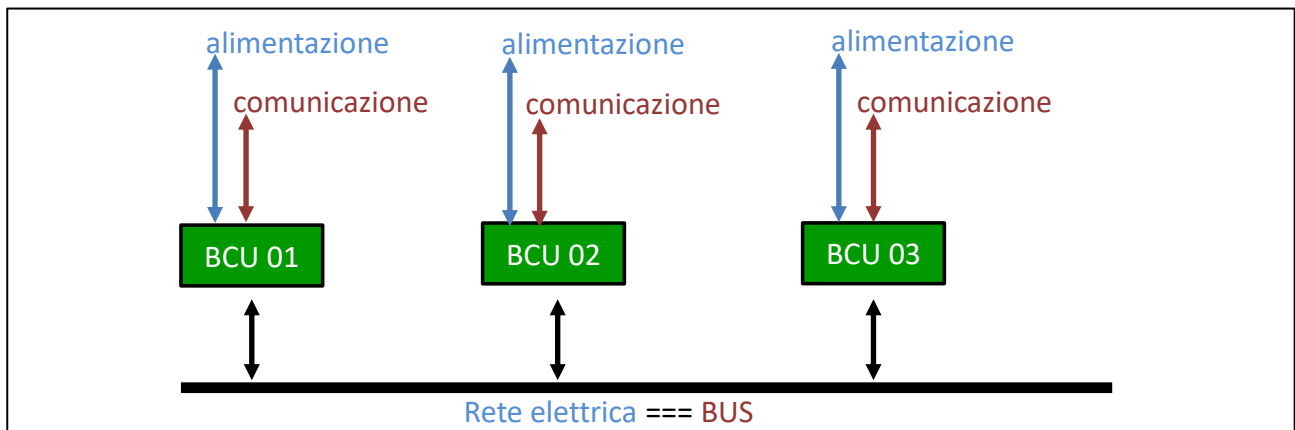


Fig. 12 - Schema di funzionamento di un BUS a onde convogliate (BCU, accoppiatori di segnale).

Da (Bianchi Bandinelli & Miori):

Ogni dispositivo collegato al bus deve contenere l'"intelligenza" necessaria per "capire" l'informazione che transita, ed essere in grado di trasmettere i propri dati quando il bus è libero (idle).

Esistono vari tipi di regole standard per la realizzazione di bus e le tecniche utilizzate possono variare molto, ma in ogni caso ogni dispositivo collegato deve avere una parte dedicata alla ricezione e una alla trasmissione. L'unità che si occupa di questo viene indicata con il nome di "Bus Coupling Unit" (BCU). Quindi ogni dispositivo collegato al bus deve essere interfacciato da un dispositivo elettronico, la BCU, che interpreta i dati presenti nel bus e li traduce in segnali interpretabili dal dispositivo e viceversa.

Onde convogliate - PLC

La trasmissione di un segnale a “onde convogliate” su una linea di potenza richiede che gli elementi del circuito di potenza e di accoppiamento siano attentamente progettati per averne la piena compatibilità.

Essi agiscono su domini completamente differenti infatti i sistemi di potenza operano a basse frequenze ed alti valori di tensione, corrente e potenza mentre, all’opposto, i sistemi di comunicazione lavorano ad alte frequenze con valori limitati delle grandezze elettriche.

Ci sono due modalità di accoppiamento principali:

- modalità differenziale
- modalità comune

L’implementazione avviene fisicamente secondo due metodi: l’accoppiamento capacitivo e quello induttivo

Le onde convogliate **possono essere utilizzate per applicazioni a banda stretta (il caso del progetto di ricerca)** e a banda larga (ad esempio per replicare l’accesso ad Internet in un edificio).

Da appunti domotica(Bianchi Bandinelli & Miori):

Quando si decide di usare un bus PL dovremmo considerare anche che:

- non è garantito che le trasmissioni PL superino il confine del contatore della corrente elettrica (ma potrebbero);
- quando si utilizza energia elettrica con varie fasi (es. Trifase) o si usa una fase per una zona e una diversa per un’altra zona oppure si incontrano problemi che però possono essere risolti con appositi dispositivi (Phase couplers):
- possono transitare disturbi o segnali spuri (meglio mettere un filtro subito dopo il contatore);
- possono attenuarsi su grandi distanze (necessità di un ripetitore).

Riassumendo possiamo concludere che questo tipo di tecnologia permette di:

- evitare cablaggi aggiuntivi (tutte le case posseggono una rete elettrica);
- evitare inquinamento da onde radio;
- raggiungere tutte le parti della casa dove esistono dispositivi elettrici, senza aggiunte di cablaggi o modifiche agli impianti esistenti.

4.2.3 Caratteristiche della trasmissione a “onde convogliate”

- consentono di **utilizzare i cavi esistenti**; questa è una delle motivazioni che rendono interessanti le onde convogliate infatti consentono di evitare cablaggi aggiuntivi (tutti gli edifici posseggono una rete elettrica);
- costi di materiale elettrico aggiuntivi nulli (nel senso che non ci sono nuovi cablaggi);
- evitano inquinamento elettromagnetico: soprattutto per le reti wireless più datate questo aspetto non è trascurabile; utilizzando cavi conduttori le onde convogliate non hanno problemi di inquinamento elettromagnetico;
- per quanto riguarda la trasmissione su lunghe distanze, possono essere utilizzate anche in edifici e strutture isolate, non servite da rete internet ma dotate di impianto elettrico (questo aspetto esula dall’ambito del progetto di ricerca);
- la capacità di trasmissione teorica è elevata: 100-200 Mbps, in alcune configurazioni si può arrivare anche 500 Mbps;

Onde convogliate - PLC

- poiché il segnale viaggia su cavo non progettati per il trasporto di segnale, quest'ultimo spesso non viene comunicato facilmente;
- si attenuano se operano su grandi distanze (necessità di un ripetitore).

Uno degli standard più diffusi basati sulle onde convogliate è l'"X10" diffuso soprattutto negli Stati Uniti. Più diffusa a livello internazionale e anche in Italia è il protocollo *LonWorks* su cui è basato il contatore elettronico dei consumi elettrici italiani.

4.2.4 Vantaggi e svantaggi

In linea teorica la trasmissione dei dati con la tecnologia "a onde convogliate" presenta rispetto ai classici sistemi a BUS o alla soluzione wi-fi le seguenti differenze:

- Si **utilizzano linee già esistenti** con vantaggi innumerevoli (mettere cavi costa, servono lavori invasivi, i cavi modificano l'estetica se non interni ai muri,
- la capacità di trasmissione teorica è tra 100 Mbps e 200 Mbps
- si possono utilizzare per la realizzazione di Local Area Network (LAN)
- niente problemi di interferenze di segnale tipiche della rete wi-fi
- la connessione è stabile (ad esempio la wi-fi può "cadere")
- tempo di latenza corto
- **sistemi economici**
- i cavi presentano due inconvenienti: la costituzione in rame di mediocre qualità non bonificato e la presenza di giunzioni lungo la linea
- l'impianto elettrico non è sempre "fatto bene" si pensi alle case vecchie che usano cavi di materiali scadenti, cavi non isolati, etc.
- sono **suscettibili ad interferenze elettriche**; i carichi pesanti (e soprattutto quelli definiti "rotanti capacitivi/induttivi") attaccati alla rete generano disturbi che influiscono sulla qualità del segnale
- i device da inserire nelle prese a volte sono ingombranti
- anche i device che utilizzano le onde convogliate consumano energia per il proprio funzionamento
- il dispositivo/carico da controllare deve essere necessariamente collegato allo stesso circuito elettrico (oppure aumentano i costi di duplicazione dei segnali)
- se più edifici vicini usano le onde convogliate ci possono essere "fughe" e inquinamento di segnale.

Per l'obiettivo di questa relazione le nozioni prettamente tecniche sulle onde convogliate riportate nel capitolo si ritiene siano sufficienti. Si prosegue ora a descrivere il protocollo di comunicazione adottato e successivamente si affrontano i temi emersi dalla sperimentazione in laboratorio e sul campo.

4.3 Protocollo MODBUS

Modbus è uno dei protocolli di comunicazione più utilizzati in ambito industriale. Si tratta di un **protocollo di comunicazione seriale basato su struttura master-slave**, creato da Modicon nel 1979. I dispositivi utilizzati nel progetto di ricerca funzionano con MODBUS.

Onde convogliate - PLC

La grande diffusione del protocollo rispetto agli altri protocolli di comunicazione è da ricercarsi essenzialmente in queste sue caratteristiche:

- è un protocollo pubblicato apertamente e royalty-free;
- è facilmente implementabile dal punto di vista industriale;
- gestisce raw bits e words senza porre restrizioni ai produttori.

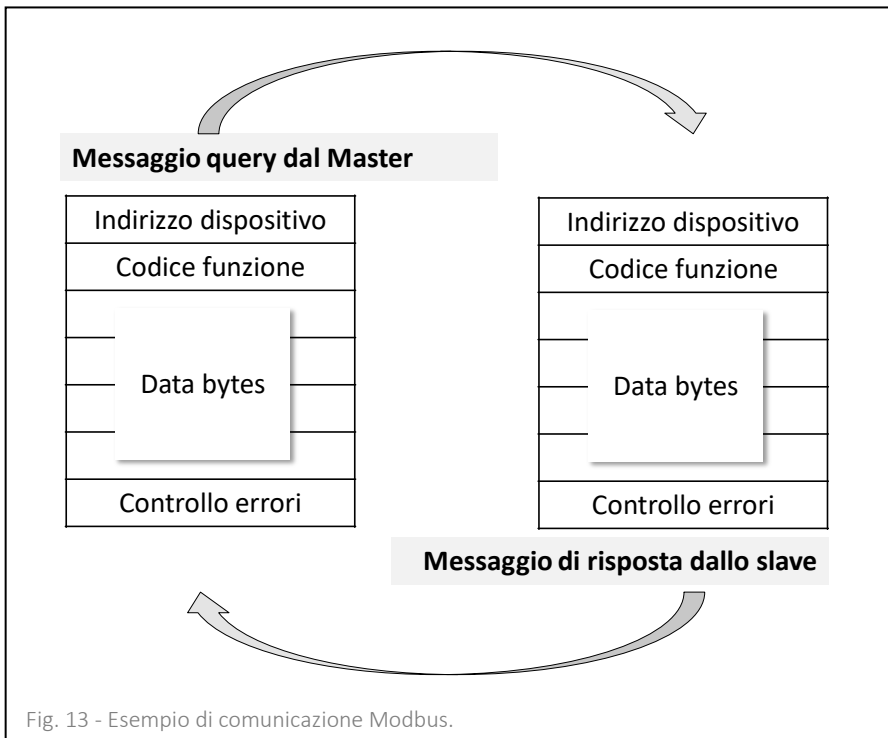


Fig. 13 - Esempio di comunicazione Modbus.

Modbus è una rappresentazione dei dati compatta di tipo esadecimale.

Esistono versioni Modbus sia per porta seriale, per Ethernet e per altre reti che supportano i protocolli Internet.

Nel progetto di ricerca si è utilizzato il modello RTU che per garantire l'affidabilità della trasmissione gestisce i dati con un controllo di ridondanza ciclico (il comando è seguito da un campo checksum).

Operativamente un messaggio Modbus RTU

viene trasmesso in modo continuo senza esitazioni tra caratteri; i messaggi sono separati da brevi istanti di silenzio

Lo sviluppo del protocollo di comunicazione tra i dispositivi è stato affidato al partner tecnico BClever. Per maggiori informazioni sul protocollo Modbus si rimanda a: <http://www.modbus.org/>

Di seguito sono evidenziate alcune caratteristiche del protocollo interessanti per lo sviluppo del progetto.

Il limite logico impone che ci possano essere **un massimo di 247 slave per ogni master**. Il limite fisico riduce il vincolo precedente a 31 slave per linea. Applicando un ripetitore (bridge) è possibile aumentare il vincolo fisico di 31 slave fino a 247.

Solo il master può iniziare una transazione. Una transazione può essere composta da:

- singola domanda / singola risposta;
- singolo messaggio broadcast / nessuna risposta.

La transazione può essere:

- in formato di domanda/risposta per un singolo slave;
- in formato broadcast in cui il messaggio del master viene inviato a tutti i dispositivi.

Le caratteristiche che definiscono una comunicazione MODBUS sono:

- standard di interfaccia;
- parità;

Onde convogliate - PLC

- numero di stop bit;
- formato RTU (binario) (esiste anche il formato ASCII).

4.3.1 Come avviene la comunicazione?

Il messaggio tra i due dispositivi deve **essere posto in un involucro**. Il trasmettitore mette sulla linea di trasmissione l'involucro che contiene il messaggio passando attraverso una porta. L'involucro viene portato verso una analoga porta posta sul ricevitore.

MODBUS stabilisce il formato di questo involucro sia per il master che per lo slave. Il formato comprende:

- l'indirizzo del dispositivo con cui il master ha stabilito la transazione (l'indirizzo 0 corrisponde ad un messaggio broadcast inviato a tutti i dispositivi slave);
- il codice della funzione che deve essere eseguita (o che è stata eseguita);
- i dati che devono essere scambiati;
- il controllo d'errore.

Il formato dei caratteri: normalmente i dispositivi che adottano il protocollo MODBUS utilizzano un *formato 8, N, 1* ovvero: 8 bit di dati, senza alcun controllo di parità e con 1 bit di stop.

Indirizzo - Tranne che nelle trasmissioni broadcast (uno a molti), il master manda una trasmissione per uno slave. Per identificare il destinatario del messaggio viene trasmesso un involucro avente come primo carattere un byte che contiene l'indirizzo numerico del dispositivo slave selezionato. Ciascuno degli slave quindi avrà assegnato un diverso numero di indirizzo che lo identifica univocamente.

Gli indirizzi ammissibili sono quelli da 1 a 247, mentre l'indirizzo 0, che non può essere assegnato ad uno slave, posto in testa al messaggio trasmesso dal master indica che questo è "broadcast", cioè diretto a tutti gli slave contemporaneamente.

Funzione - Il secondo carattere del messaggio identifica la funzione che deve essere eseguita nel messaggio trasmesso dal master. Lo slave risponde a sua volta con lo stesso codice ad indicare che la funzione è stata eseguita.

Normalmente le funzioni più utilizzate sono quelle riportate in Tab. 3:

Tab. 3 - Principali funzioni Modbus.

| Funzione | Descrizione |
|----------|---------------------------|
| 01 | Read Coil Status |
| 02 | Read Input Status |
| 03 | Read Holding Registers |
| 04 | Read Input Registers |
| 05 | Force Single Coil |
| 06 | Preset Single register |
| 07 | Read Status |
| 15 | Force multiple Coils |
| 16 | Preset Multiple Registers |

Esempio di composizione di un messaggio ovvero dell'involucro da trasmettere (Fig. 14).

Onde convogliate - PLC

| ADDR | FUNC | DATA start Addr HI | DATA start Addr LO | DATA bit # HI | DATA bit # LO | CRC HI | CRC LO |
|------|------|-----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|-----------|-----------|
| 11 | 01 | 00 | 03 | 00 | 0C | CE | 9F |

Fig. 14 - Esempio messaggio Modbus (richiesta di lettura dello slave 17 dei bit dal 0004 al 0015).

Esistono anche delle applicazioni a onde convogliate a banda larga. Generalmente sono utilizzate per estendere la rete internet in ambito residenziale o industriale/terziario.

Nell'ambito del progetto di ricerca la gestione della comunicazione ha seguito una duplice strada:

- tramite un software realizzato dall'azienda tecnica fornitrice dei dispositivi;
- tramite software realizzato dall'Azienda su base Python. Operativamente, per gestire la comunicazione sono state utilizzate le librerie:
 - o PyModbus: <http://pymodbus.readthedocs.io/en/latest/>
 - o Minimal Modbus: <http://minimalmodbus.readthedocs.io/en/master/index.html>

Il capitolo seguente descrive il processo di sperimentazione che ha portato il team allo sviluppo di un sistema di misura basato su onde convogliate.

5 Strumento PLC: sistema “0”, “1”, “2”

In questo capitolo si descrive lo sviluppo degli strumenti di misura basati sulla tecnologia a “onde convogliate - PLC”.

I paragrafi descrivono i passaggi che attraverso lo sviluppo di 3 macro configurazioni chiamate “sistema 0”, “sistema 1” e “sistema 2” hanno portato alla realizzazione di una piattaforma di misura basata sulla tecnologia a onde convogliate e di un modulo di raccolta e remotizzazione dei dati presso un web-server. La sperimentazione ha dimostrato che vi sono grandi potenzialità ma tuttavia la tecnologia fornita a Sinergia si è dimostrata non ancora pronta per le reali applicazioni in campo.

5.1 Introduzione

Nel pieno contesto della tanto discussa “*Quarta Rivoluzione Industriale*” anche le aziende di tipo ESCo sono chiamate ad acquisire ed a perfezionare competenze in ambito elettronico ed informatico. La capacità di analizzare i dati “raw” (grezzi) da parte di una ESCo può rappresentare un vantaggio competitivo sensibile a patto che il modello di business ne accolga, integri e sfrutti le potenzialità. Per gli investimenti la cui remunerazione è strettamente legata al risparmio ottenuto, una conoscenza approfondita della situazione “baseline” di partenza è oltremodo importante in quanto permette ai progettisti di ottimizzare l’intervento.

Esistono molteplici **soluzioni commerciali** che permettono di soddisfare il “fabbisogno di misura” di una ESCo. All’indubbio vantaggio di **ottenere una soluzione pronta, già testata e funzionale** si contrappongono gli **svantaggi di avere una modesta flessibilità** e una **quasi nulla possibilità di modificare** agevolmente e profondamente gli strumenti hardware e software offerti.

Rivolgendosi a soluzioni commerciali è necessario accettare un compromesso in termini di flessibilità e scalabilità dei sistemi dovuti alla standardizzazione dei prodotti.

Spesso per le applicazioni tipiche del mercato in cui opera una ESCo, soprattutto per la fase pre-intervento, non ci sono requisiti di affidabilità e precisione particolari però vi è una reale necessità di flessibilità e “agilità”. Spesso poter conoscere in modo snello, veloce e immediato i parametri ambientali che regolano i processi dà ai progettisti delle informazioni efficaci per poter ottimizzare gli interventi e quindi, nel caso di proposta di EPC, ridurre il rischio.

La possibilità di poter disporre nativamente dei dati grezzi ed aver pieno controllo del sistema di misura che li generano apre le porte a molteplici benefici tra i quali:

- **versatilità e scalabilità dei processi di misura:** è la ESCo stessa che stabilisce cosa misurare, come, con che frequenza, con che dettaglio, etc. (si ricordi che mentre è immediato aggregare i dati il processo inverso è impossibile);
- **potenziale integrazione** verticale con altri



Fig. 15 - Hardware dei dispositivi a onde convogliate.

Strumento PLC: sistema “0”, “1”, “2”

sistemi presenti in azienda quali ad esempio il gestionale, etc.

- **possibilità di sperimentare a basso costo** sia nuove soluzioni hardware che nuovi algoritmi di misura, di aggregazione, di elaborazione dati;
- ricadute in termini di conoscenza e approccio.

5.2 Il percorso di sviluppo

Di seguito viene descritto il percorso che ha portato alla realizzazione del sistema di misura basato sulle onde convogliate. Lo sviluppo dei prototipi, la sperimentazione e l’acquisizione di competenze da parte del team è andata di pari passo con lo sviluppo tecnico; i principali passi possono essere descritti considerando **3 configurazioni del sistema**.

La Tab. 4 riassume le caratteristiche delle 3 configurazioni che hanno portato alla realizzazione del sistema di misura “a onde convogliate” utilizzato per le prove in campo descritte nel capitolo 8.

Tab. 4 - Schema sviluppo sistema di misura “a onde convogliate”.

| | hardware | software | funzioni |
|----------------------|--|--|--|
| Sistema 0 | 1+1 dispositivi Porta RS485 - USB | Interrogazione misure tramite software eseguibile standard freeware | Verificare la corretta comunicazione dei nodi Connessione pc – gateway via cavo Lettura misurazioni registrate nel registro “XY” del nodo slave a video |
| Sistema 1 | 1+1 dispositivi Raspberry Pi Porta RS485 - USB | Software in-house (eseguibile sviluppato in Visual C#, python & web app) | Come “Sistema 0” ma l’archiviazione dei dati avviene “localmente” grazie a un dispositivo (Raspberry Pi) che li salva su file .csv in una memoria estraibile |
| Sistema 2 versione 0 | 5+1 dispositivi Porta RS485 - USB Raspberry | Software (eseguibile sviluppato in Visual C#, python & web app) | Come prima più remotizzazione delle misure: dal gateway i dati passeranno al dispositivo data-logger che oltre a salvarli in locale, li “invia” a un server online dotato di database relazionale (MySQL) Individuazione problema “alimentatori notebook” |
| Sistema 2 versione 1 | --- | --- | Alimentazione dei nodi potenziata, firmware modificato → permane il problema del “blocco comunicazione” (congelamento dei valori) |

5.3 Sistema “0”

L’installazione e lo sviluppo di una prima configurazione del sistema di misura è stata guidata da molteplici obiettivi che hanno interessato non solo l’ambito puramente tecnico ma anche quello organizzativo, tra cui:

- “acquisire competenze tecniche” al fine di realizzare un sistema di misura, archiviazione e restituzione dei dati che fosse “completo”;
- allineare le competenze del team e dell’azienda;
- allineare il “linguaggio” del team.

Strumento PLC: sistema "0", "1", "2"

Durante la prima fase di sperimentazione sono stati utilizzati 2 **nodi-dispositivo Power Line Communication** forniti dall'azienda Bclever. La figura Fig. 16 mostra la prima versione dei dispositivi utilizzati nel progetto. Questi nodi sono da considerarsi una configurazione "sperimentale" del prodotto a cui si mira.

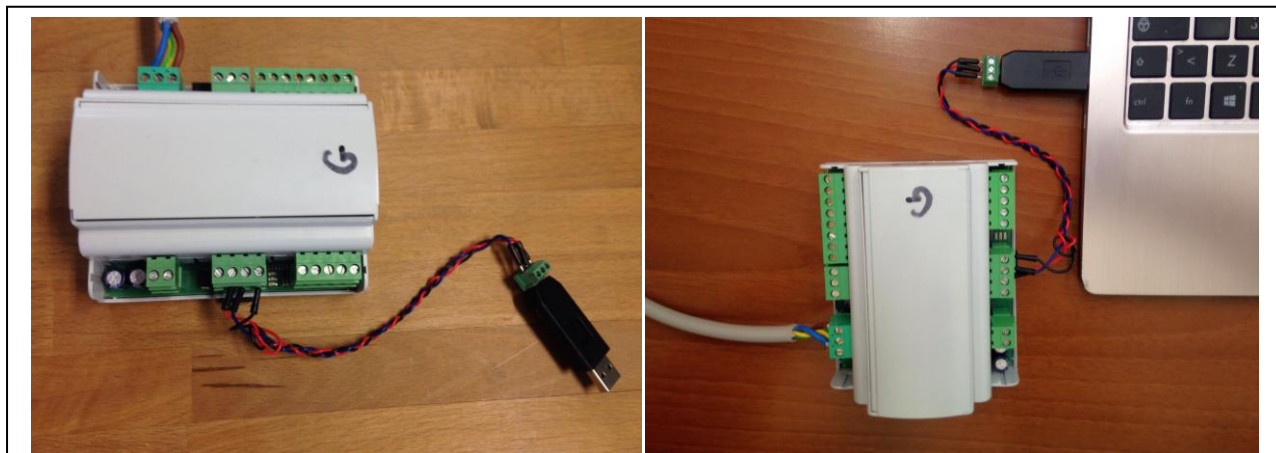


Fig. 16 - Nodo con funzionalità di Gateway.

Un nodo, quello collegato al terminale, è stato configurato in modalità gateway e l'altro impostato con le caratteristiche di nodo slave. Queste regolazioni logiche si fanno modificando fisicamente dei settaggi presenti nel nodo. Nello specifico, il nodo prende la configurazione di "gateway" quando i dip-switch 7 - 8 hanno la configurazione 1 - 0, mentre prende la configurazione "slave" quando i dip-switch sono impostati a 0 - 1.

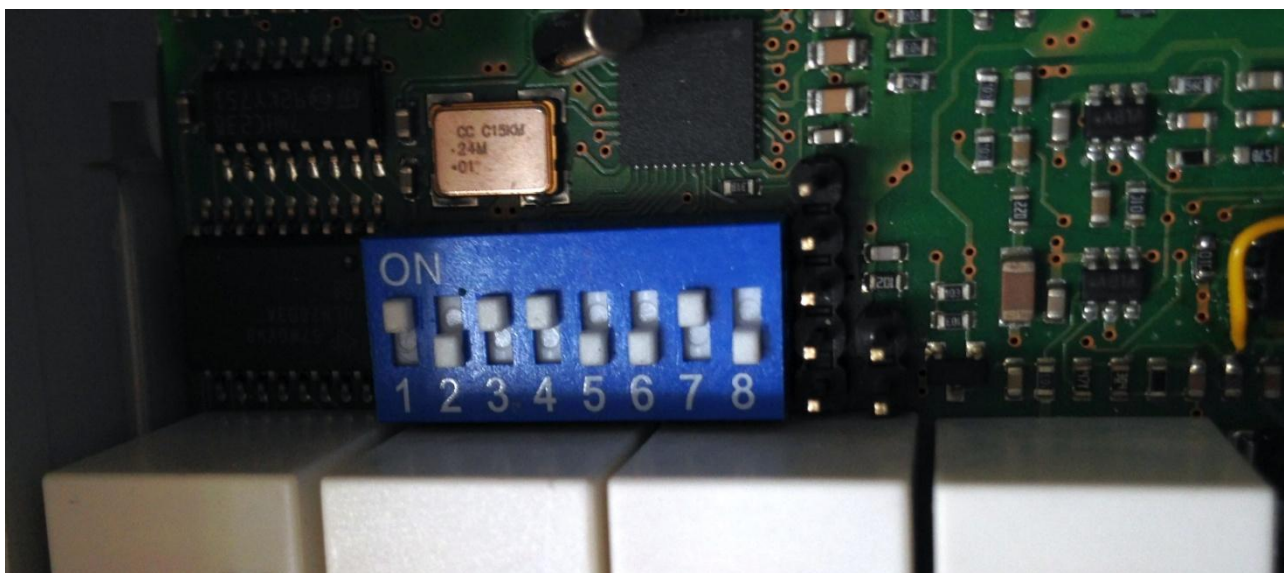


Fig. 17 - Settaggio logico di un nodo mediante dip-switch 7, 8.

Come funziona – I nodi-dispositivo quando collegati ad una stessa rete elettrica e quando almeno uno dei dispositivi è stato configurato come "gateway" ed almeno uno come "slave" **instaurano automaticamente una connessione tra di loro** e fanno **partire una comunicazione**. Le informazioni (sia di misura che di supporto per la trasmissione) viaggiano nello stesso mezzo fisico utilizzato per

Strumento PLC: sistema "0", "1", "2"

portare potenza ed energia ai carichi elettrici. Le informazioni che "viaggiano" nell'impianto elettrico hanno la forma descritta nel capitolo 4.

Il focus della sperimentazione riguarda la trasmissione delle informazioni tramite l'impianto elettrico. Per simulare al meglio questa funzione, i dispositivi forniti da Bclever sono dotati di un **sensore montato "on-board"** capace di misurare 2 parametri ambientali quali la temperatura e l'umidità. Grazie a ciò i dispositivi possono essere considerati come dei veri e propri punti di misura di parametri ambientali.

Il dato generato dal sensore viene trasmesso dallo slave verso il Gateway (chiamato anche Master) attraverso la rete elettrica. Grazie al protocollo di comunicazione adottato nella sperimentazione (Modbus) il gateway riesce a interpretare i dati che transitano sulla rete ottenendo l'informazione della misurazione.

Il Gateway può archiviare la misurazione in locale su una memoria fisica oppure, quando connesso ad un personal computer, può comunicare le misure al terminale che si prende carico della loro elaborazione ed archiviazione, anche in cloud, secondo le esigenze del progettista energetico.

Nel **caso del "sistema 0" le misure sono solamente stampate a video** senza alcuna archiviazione.

In Fig. 18 vi è una schermata del software freeware ModbusMAT 1.1 sviluppato da terzi che il team ha utilizzato per "prender confidenza" con il sistema di misura. Questo software freeware gestisce la comunicazione tra i nodi e stampa a video il valore salvato nei registri di master e slave.

Strumento PLC: sistema "0", "1", "2"

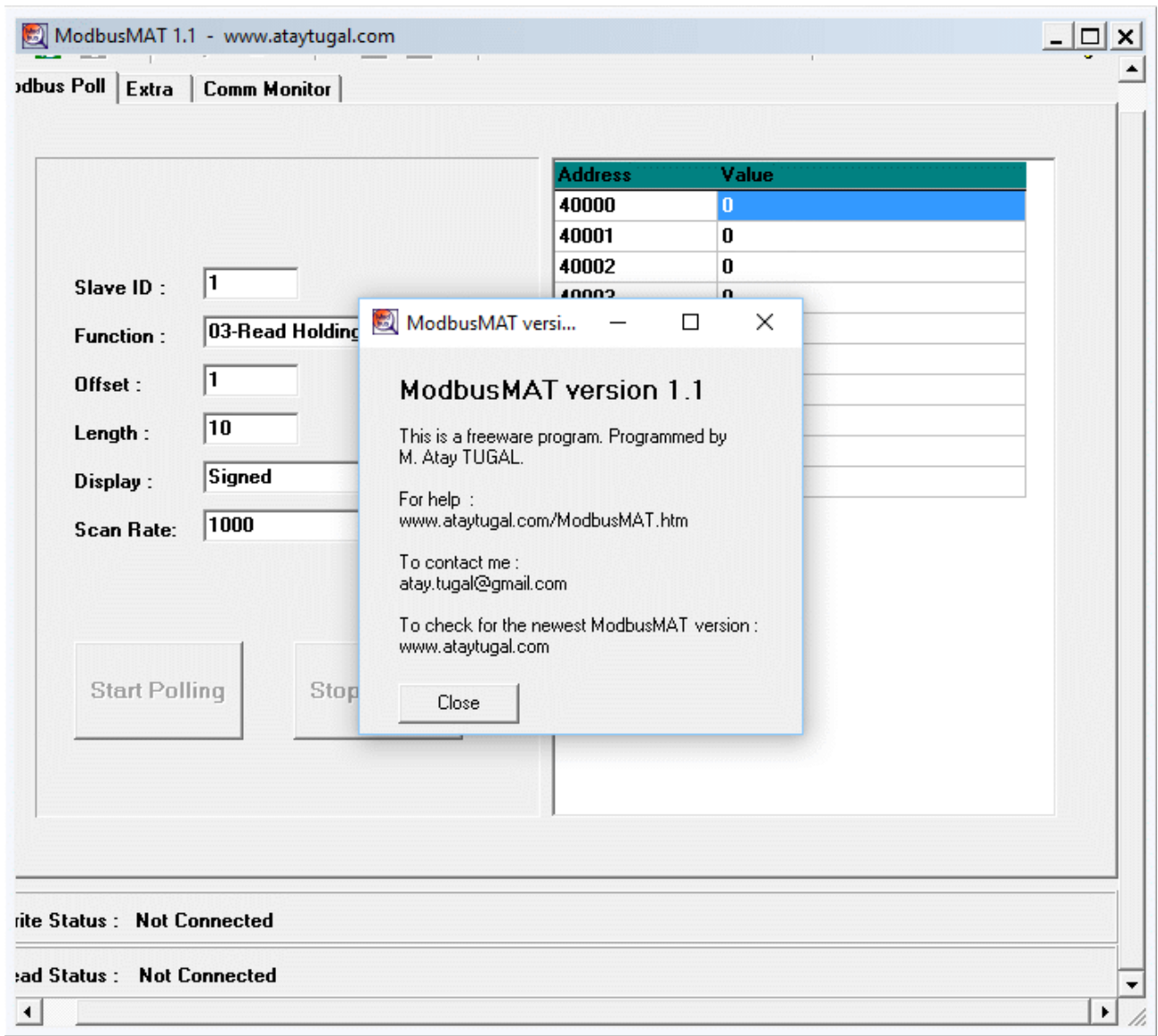


Fig. 18 - Schermata software freeware per interrogare i registri del nodo slave,

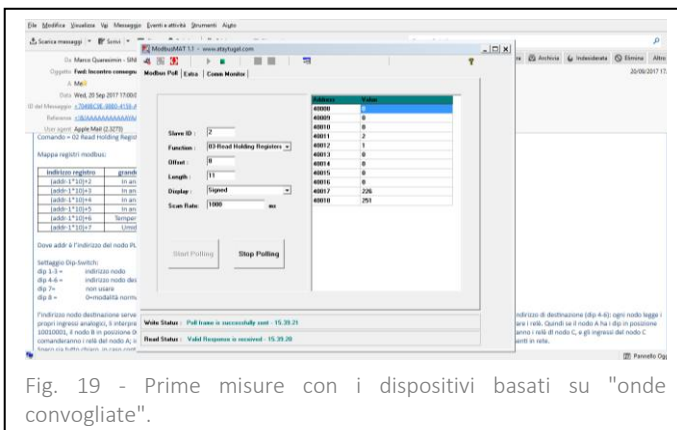


Fig. 19 - Prime misure con i dispositivi basati su "onde convogliate".

Curiosità: la Fig. 19 mostra la "prima volta" che il team è riuscito a far comunicare le letture di temperatura dal nodo slave al nodo master stampando a video il valore (15:37 27 settembre 2017-09-27).

Dopo le prime misure "spot" caratterizzate da un utilizzo di pochi istanti dei nodi, il team ha iniziato a fare delle prove più concrete nelle quali i dispositivi venivano lasciati connessi alla rete per diversi minuti. L'esigenza maggiore in questo caso è stata

quella di poter archiviare le misure, requisito che ha guidato lo sviluppo della configurazione successiva "Sistema 1".

5.4 Sistema "1"



Fig. 20 - Immagine del sistema "1" (2 dispositivi e il modulo di controllo).

Il limite principale del "sistema 0" consiste nel fatto che le misurazioni non sono archiviate e pertanto non si riesce a tener traccia dello "storico misure". Interessante, anzi, tassativo è poter archiviare le misurazioni.

Nello step successivo si è pertanto sviluppato uno strumento in grado di salvare i dati delle misure in un file .csv presente nel modulo di controllo.

Questa soluzione permette di fare una primitiva "remotizzazione" della misura in quanto, in assenza di connessione alla rete, si

riescono a salvare i dati che in presenza di un operatore possono essere scaricati e analizzati.

È durante questa seconda fase della sperimentazione che è stato riscontrato il primo problema tecnico riguardante i nodi PLC: **la comunicazione risultava instabile** ovvero non riusciva mai a stare attiva per più di qualche minuto (a volte anche solo per pochi secondi).

Si è infatti notato che lasciando i nodi ad acquisire dati per generare i .csv, la comunicazione dopo un intervallo di tempo casuale si interrompeva senza ripartire. Sono state fatte diverse prove senza successo per identificare la fonte del problema.

Accertato che il problema non derivasse da una configurazione non corretta dell'installazione o da un uso improprio dei dispositivi, è stato necessario richiedere assistenza al fornitore della tecnologia restituendo loro i nodi.

Durante questo periodo di tempo il team ha proseguito il progetto percorrendo la strada dello sviluppo di strumenti basati su elettronica open-source (vedi capitolo 6).

Dopo qualche mese il fornitore ha identificato un bug nel protocollo di comunicazione che è stato corretto. Il bug riguardava il fatto che nella connessione venivano introdotti errori tali da bloccare la catena delle comunicazioni interrompendo il funzionamento dei nodi.

5.5 Sistema "2"

Soprattutto in fase di analisi pre-intervento è molto comodo per il progettista poter disporre in tempo reale delle misurazioni fatte su edifici che si possono fisicamente trovare anche a grande distanza. La remotizzazione dell'informazione si è visto essere una delle necessità più sentite da parte di una ESCo.



Fig. 21 - Nodo gateway collegato ad un Raspberry, prova in campo.

Al fine di mettere a disposizione dell'analista energetico i dati raccolti dai sensori del sistema di misura in tempo reale è opportuno archiviare gli stessi in un server remoto (singolo server o cloud).

Questo ha indubbi vantaggi:

- dati disponibili nell'immediato
- automazione delle misure (non devo andare a estrarre e scaricare i dati da schede di memoria)
- accessibilità contemporanea da parte di più utenti
- controllo e monitoraggio tempestivo dell'andamento dei parametri
- logiche automatiche: possibilità di implementare notifica di allerta e/o di attuare logiche di controllo automatiche

La remotizzazione dei dati delle misure del "sistema 2" è stata sviluppata secondo due strade diverse che chiameremo:

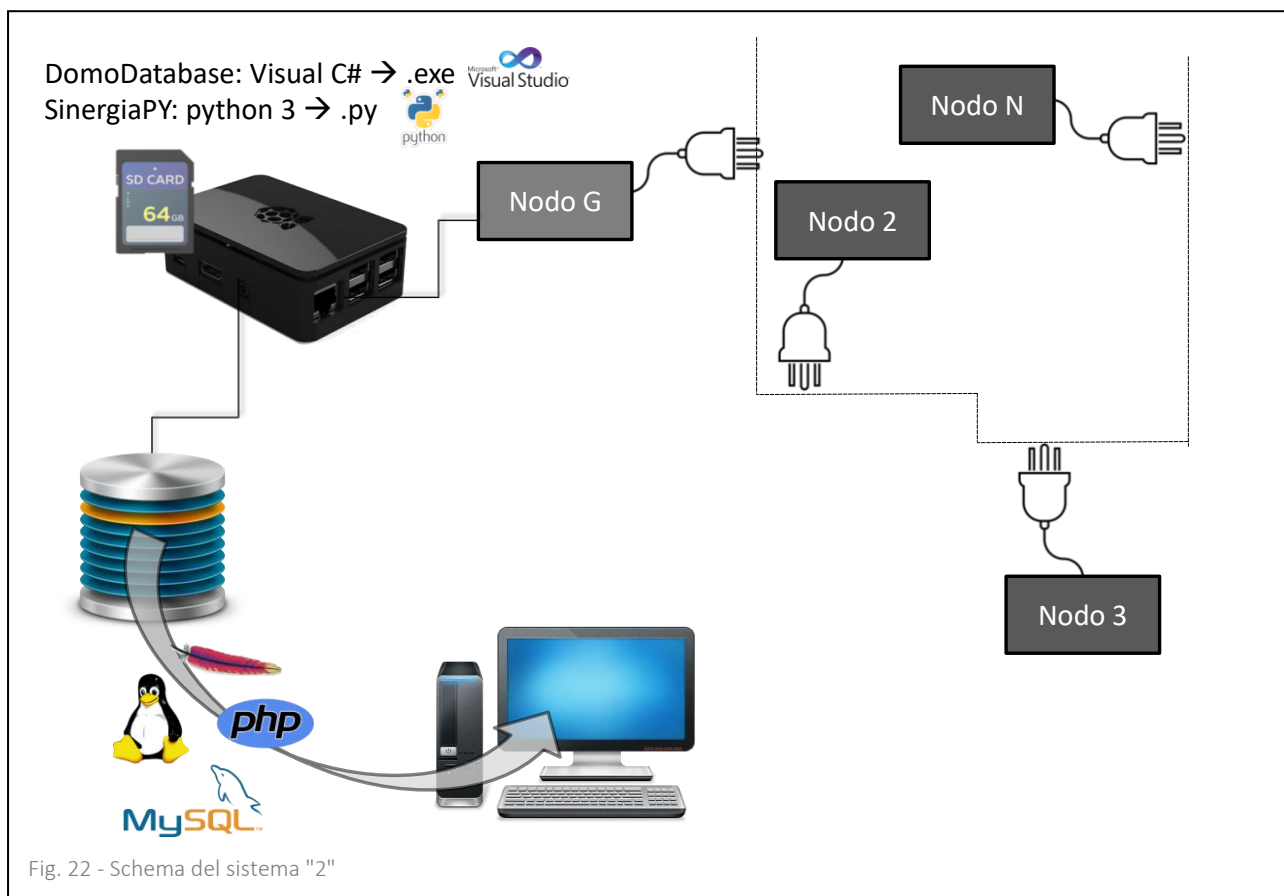
- **file eseguibile BClever:** approccio tradizionale mediante un programma residente in locale su un terminale connesso al nodo-gateway (il modulo di controllo); il programma è disponibile su eseguibile .exe generato da compilazione Visual C#;
- **web-applicazione:** archiviazione delle misure eseguita da uno script Python residente su un terminale collegato al nodo-gateway (modulo di controllo) che richiama una pagina .php; piattaforma di archiviazione sviluppata su server LAMP con linguaggio php.

Il "sistema 2" concettualmente è così composto:

- 1 Raspberry Pi che fa svolgere le funzionalità di modulo di controllo;
- 1 nodo GW: nodo gateway che si occupa di raccogliere le misure di tutti i nodi collegati alla rete elettrica (in questo caso 5, al massimo possono essere 247);
- 5 nodi: svolgono la duplice funzione di dispositivo di comunicazione con il gateway mediante onde convogliate e di sensore di misura dei parametri ambientali (temperatura e umidità);
- cloud/server→DB: i dati delle misure vengono archiviati in un web-server dotato di database relazionale;

La Fig. 22 mostra la configurazione funzionale del "sistema 2".

Strumento PLC: sistema "0", "1", "2"



Software con file eseguibile BClever (approccio "in locale") - La prima versione del cosiddetto "sistema 2" è stata testata tramite un software suggerito e sviluppato dal fornitore dei dispositivi (BClever). Il nome del software è *DomoDatabase*.

Tale software si occupa dell'interrogazione del nodo gateway per raccogliere i dati di tutti i nodi PLC connessi alla rete elettrica e si occupa dell'archiviazione di tali dati in un database remoto.

La Fig. 23 riporta alcune schermate del software *DomoDatabase*.

Le immagini mostrano due finestre del software *DomoDatabase*.

La finestra "NUOVA INSTALLAZIONE" contiene i seguenti campi:

- Nome dell'acquirente: Nuovo acquirente
- Numero di Installazione:
- Data inizio:
- Incremento DATI SIMULATO: Scegliere ID da incrementare: Avanti

La finestra "DATI ACQUIRENTI" contiene i seguenti campi:

- Nome della compagnia:
- Indirizzo:
- Città:
- CAP: Provincia:
- Posizione GPS: /
- Bottoni: Annulla, Conferma

Strumento PLC: sistema "0", "1", "2"

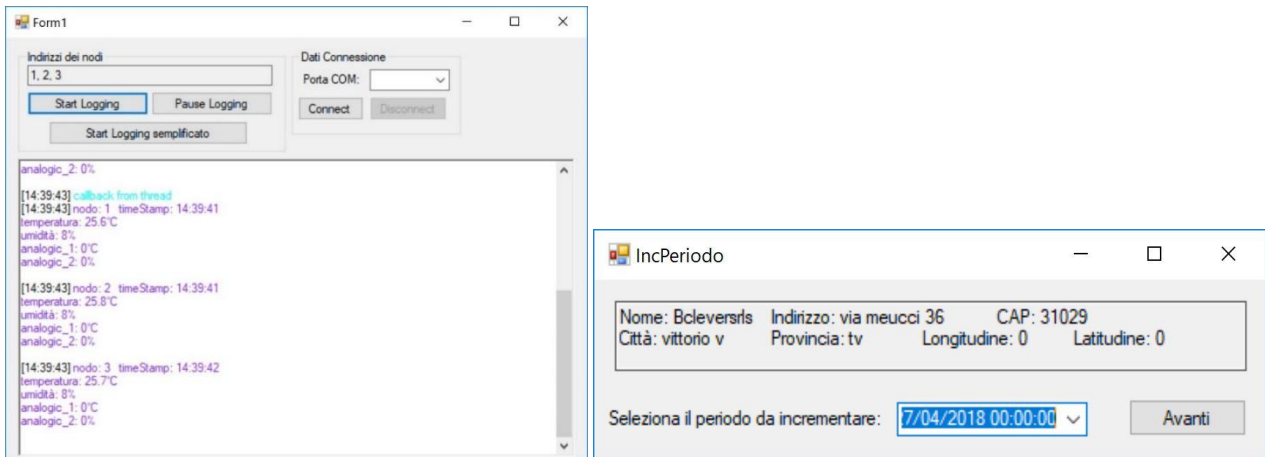


Fig. 23 - Schermate applicazione "DomoDatabase" sviluppata in Visual C#.

Il software fornito è stato scritto in *Visual C#*. Questa scelta presenta il vantaggio di poter generare un programma eseguibile (un classico .exe) il cui funzionamento è indipendente dalla piattaforma software utilizzata. In altre parole quando il codice sorgente viene compilato, il "prodotto software" è utilizzabile sia da PC basati su sistema operativo Windows (dotati di framework .NET) sia da dispositivi ARM equipaggiati con sistema operativo Linux e dotati di framework Mono come ad esempio il Raspberry Pi utilizzato per le prove.

Una funzionalità centrale del software riguarda la gestione delle campagne di misura. Esso opera per certi versi come un semplice gestionale, permettendo di inserire le anagrafiche delle aziende o clienti presso cui si vanno a fare le acquisizioni, permettendo la registrazione dei periodi in cui vengono fatte le acquisizioni ed infine consentendo di configurare i nodi utilizzati nella specifica campagna di misura andando a specificare la loro posizione ed eventualmente ulteriori note.

Dopo aver definito la configurazione della campagna di misura, il software inizia ad interrogare ciclicamente i nodi attraverso il protocollo Modbus con il gateway. I dati raccolti dal gateway, qualora esso sia connesso ad una centralina (per esempio un Raspberry Pi) vengono inviati ad un server remoto ed archiviati in un database di tipo MySQL. Una volta che i dati delle misure sono correttamente registrati sono messi a disposizione di ulteriori moduli software dedicati all'elaborazione ed analisi dei dati.

Pro e contro approccio ".exe" – I vantaggi di questo approccio sono molteplici: in primo luogo essendo sviluppata in C# può funzionare su qualunque dispositivo su cui è installabile il framework ".NET" o il suo equivalente "Mono". Pertanto funziona sia collegando il nodo gateway ad un PC con Sistema Operativo Windows, sia ad un PC con MacOS, sia a un PC o a dispositivi ARM equipaggiati con Linux. Lato server, è sufficiente sia presente un database di tipo MySQL. L'accesso al database è protetto da password e dunque è garantita la riservatezza dei dati.

5.5.1 Software con Web App My sinergia

Questo approccio si basa sull'utilizzo di più linguaggi di programmazione che svolgono funzioni differenti.

La lettura delle informazioni avviene tramite un programma scritto in *python*, uno dei linguaggi di programmazione più promettenti di questi ultimi anni, è residente nella centralina del modulo di controllo (ad esempio un Raspberry Pi) ed interrogando il nodo master legge le informazioni comunicate dagli slave e quindi può raccogliere i dati di tutto il sistema di misura.

Strumento PLC: sistema "0", "1", "2"

Grazie alla ottima disponibilità di librerie, python permette lo sviluppo di script particolarmente efficaci e potenti, capaci di soddisfare una ampia gamma di esigenze.

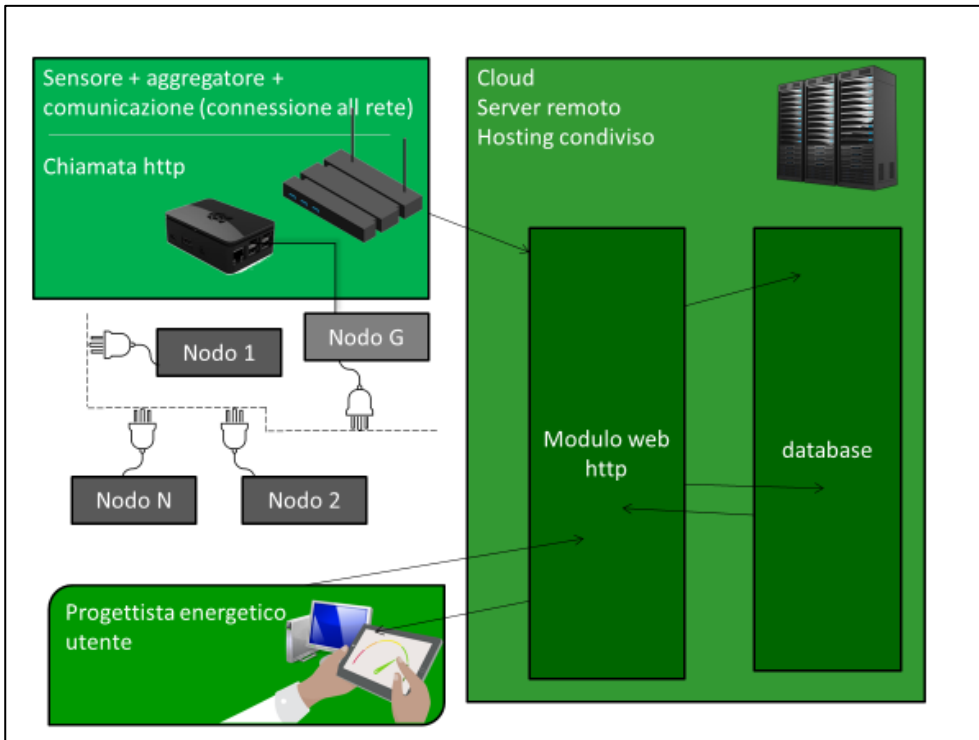


Fig. 24 - Comunicazione dei dati in remoto.

Remotizzazione dati - Per memorizzare i dati in un server remoto ci sono più strade possibili. Se si dispone di un server dedicato (ad esempio con sistema operativo Linux) è possibile accedere via SSH (Secure SHell). Si tratta di un protocollo sicuro per connettersi ai server con cui si desidera scambiare informazioni e fare operazioni.

Nel sistema adottato nella fase sperimentale del progetto, non avendo completo accesso ad un server remoto (hosting condiviso), si è adottata una tecnica che permette di memorizzare i dati generati dai sensori usando il protocollo HTTP, lo stesso adottato dalle pagine dei siti web. L'archiviazione della misura avviene mediante uno script che permette il **passaggio dei valori da registrare via "url + GET"**.

L'accesso diretto via *SSH (Secure SHell)* non è stato disponibile durante il progetto di ricerca poiché non sono stati usati server dedicati ma la scelta dello spazio di archiviazione è ricaduta in uno spazio hosting in condivisione. L'archiviazione dei dati pertanto è avvenuta facendo passare i dati attraverso alcune pagine .php ed una chiamata http. Le parti più interessanti del codice della pagina adottata per archiviare i dati si trovano in capitolo 10.

Come funziona - HTTP (HyperText Transfer Protocol) è un protocollo di comunicazione usato come sistema di trasmissione delle informazioni in ambito web e si basa su una architettura client-server. L'idea alla base dell'approccio adottato è il seguente: al blocco funzionale del dispositivo che fa da gateway e da interfaccia con la rete viene fatta "chiamare una pagina php" come ad esempio potrebbe essere:

```
http://www.site.ext/pagina-salva-dati.php
```

Strumento PLC: sistema "0", "1", "2"

È possibile nella chiamata alla pagina trasmettere delle informazioni dal sistema di misura a un database remoto. Per farlo è sufficiente aggiungere in url (l'indirizzo di una pagina web) la definizione di variabili e specificarne il valore.

Supponendo di voler trasmettere le informazioni che potrebbero rappresentare 3 misure come ad esempio:

```
valore1 = 111;  
valore2 = 222;  
valore3 = 333;
```

sarà sufficiente aggiungere in url le coppie (variabile, valore) nel formato "variabile=valore". La chiamata http avrà la forma:

```
http://www.site.ext/pagina-salva-dati.php?valore1=111&valore2=222&valore3=333
```

La pagina chiamata mediante il metodo GET riesce a ottenere come informazione il valore delle 3 variabili dell'esempio precedente:

```
$varValore1 = $_GET['valore1']  
$varValore1 = $_GET['valore1']  
$varValore1 = $_GET['valore1']
```

A questo punto, implementati i necessari controlli per evitare azioni malevole da parte di male intenzionati, la pagina .php che viene "chiamata" dal dispositivo gateway/comunicatore ha a disposizione le informazioni della misura e può archiviare i dati in un database relazionale.

Salvataggio dati in database remoto - Dapprima si instaura una connessione con il database e successivamente con una query (una serie di istruzioni data al database) come la seguente si esegue il salvataggio del dato una tabella (ad esempio "tabella_test_dati").

```
$queryAdd = "  
        INSERT INTO      tabella_test_dati  
        (  
                tempo,  
                valore1,  
                valore2,  
                valore3,  
                label  
        )  
        VALUES  
        (  
                '$tempo',  
                '$valore1',  
                '$valore2',  
                '$valore3',  
                '$label'  
        )  
";
```

dopo che la query è andata a buon fine si applicano i controlli per verificare se il dato è un duplicato e se è stato salvato correttamente.

Alcune considerazioni su questo approccio - Per quanto riguarda la sperimentazione svolta nell'ambito del progetto di ricerca l'approccio della "chiamata via http" si è dimostrato affidabile e sufficiente a garantire i requisiti dei casi studio.

Strumento PLC: sistema "0", "1", "2"

Per un eventuale utilizzo in ambito industriale questo metodo va approfondito e reso più sicuro.

Alla luce del periodo di sperimentazione effettuato, ci sono delle questioni che vanno messe in luce:

- non sempre i piani di hosting condiviso permettono di archiviare massicce quantità di dati; potrebbero esistere dei limiti alla frequenza con la quale salvo i dati e dei limiti alla quantità dei dati stessi;
- la connessione via SSH sarebbe da preferire ma, generalmente, gli hosting condivisi non lo permettono;
- poiché la chiamata alla pagina non è "protetta" è teoricamente possibile che vi siano chiamate anche da parte di utenti non abilitati; per proteggere la chiamata è possibile aggiungere una variabile di controllo, una sorta di "parola chiave"; la pagina implementerà una verifica del tipo:

```
IF ($parolaChiave == "parolaChiave") {...continua...} ELSE {...impedisci le operazioni}
```

nonostante questo controllo alcuni "bot" potrebbero riuscire ugualmente a salvare dati nel DB; per applicazioni industriali è necessario aumentare i parametri di sicurezza.

5.6 Prove di laboratorio

Nella prima fase il "sistema 2" è stato testato "in laboratorio", cioè in condizioni prevedibili e controllate. Il test è stato effettuato collegando i dispositivi ed il gateway alla linea elettrica tramite l'utilizzo di ciabatte elettriche in una stanza vuota.



Fig. 25 - Immagine dei nodi collegati all'impianto elettrico, prova di laboratorio.

Sono stati poi eseguiti diversi periodi di acquisizione, lasciando che il sistema registrasse dati per diversi giorni.

Strumento PLC: sistema "0", "1", "2"

Da questo test si sono ricavati diversi dati. In primo luogo si è notato che la velocità massima di acquisizione per un singolo nodo non è condizionata dalla numerosità dei nodi presenti sulla rete PLC.

Con 6 nodi, per ogni singolo punto di misura, è possibile acquisire un dato ad una velocità circa pari ad 1 dato al secondo. Tale velocità soddisfa le necessità di Sinergia in quanto le grandezze fisiche misurate (temperatura, umidità) cambiano molto più lentamente.

Si è potuto validare il sistema di trasmissione, in quanto sia tramite l'applicativo .exe che tramite la Web App la banda disponibile per il caricamento dei dati sul database è più che sufficiente anche con una normale connessione ADSL o con una connessione tramite hotspot 4G considerato il numero di nodi e la frequenza di campionamento che si intende utilizzare.

Dal lato della validità delle misure acquisite si è notato come il dato dell'umidità è accurato, mentre il dato della temperatura non è molto preciso: i 5 nodi posti uno accanto all'altro misurano una temperatura differente tra loro, la differenza può arrivare anche a 2 °C.

Da alcuni test effettuati anche dal fornitore dei dispositivi si è arrivati alla conclusione che l'eccessiva vicinanza del sensore di temperatura alla scheda elettrica fa sì che la misura sia falsata dal calore generato dalla scheda elettrica stessa. Si è deciso che il problema verrà risolto utilizzando un sensore di temperatura esterno, da collegarsi ad uno dei due ingressi analogici liberi disponibili sui prototipi.

Questa fase di sperimentazione pertanto ci permette di concludere che **in situazioni ideali** (non rappresentanti i normali casi in cui Sinergia si trova ad operare) il sistema di comunicazione PLC può soddisfare i requisiti per l'acquisizione dei dati.

5.7 Prove in ambiente reale

Dopo le prove avvenute in un ambiente controllato, il progetto ha testato i dispositivi "in campo" ovvero in situazioni reali.

Sono state effettuate due installazioni del sistema:

- negli uffici dell'azienda (ufficio di Vicenza, condizioni controllate, impianto elettrico non connesso a importanti carichi di tipi induttivo o capacitivo);
- in una struttura ricettiva a Bassano del Grappa.

Per quanto riguarda l'ufficio il setup utilizzato è stato il seguente

- Raspberry (centralina) e nodo gateway nella stanza "A" collegati alla medesima presa elettrica tramite una ciabatta
- 1 nodo nella stessa stanza, collegato ad una diversa presa elettrica
- 3 nodi nella stanza B, collegati ad una presa elettrica tramite ciabatta e
- un ultimo nodo in una stanza C.

A titolo esemplificativo in foto di Fig. 26 si vede uno dei setup utilizzati installati presso una struttura ricettiva; si vede il cavo che porta sia alimentazione che informazioni.



Fig. 26 - Setup installato nei pressi dei servizi di una struttura ricettiva.

All'interno del quadro elettrico di figura è presente un mini-computer (Raspberry PI), un microcontrollore Arduino, un sensore di presenza PIR e una termocoppia.

Il microcontrollore ciclicamente interroga il sensore di presenza, il master dei dispositivi PLC e la termocoppia. Tramite una porta seriale queste informazioni sono trasmesse al micro-pc. Residente all'interno del micro-pc vi è uno script che svolge le seguenti funzioni:

- lettura delle informazioni che arrivano via porta seriale;
- archivio delle misure in locale (ogni giorno viene creato un file .csv in cui per ogni riga è presente una misura corredata del tempo)
- archiviazione in remoto della misura

La configurazione descritta è predisposta per salvare sia in locale che in remoto anche le informazioni raccolte e trasmesse via dispositivi PLC.

Durante la sperimentazione sono state predisposte delle acquisizioni di dati con il duplice scopo di testare i nodi in situazioni realistiche e di ottenere dati su cui effettuare gli studi per l'efficientamento delle strutture.

Sono stati riscontrati significativi problemi di comunicazione per quanto riguarda i dispositivi PLC. Dapprima in modo apparentemente del tutto casuale i nodi cessavano di comunicare i dati acquisiti, altre volte riprendendo la trasmissione dopo un certo intervallo di tempo. Pur senza essere riusciti

Strumento PLC: sistema "0", "1", "2"

ad identificare la causa dei problemi di trasmissione si è ipotizzato dipendesse dall'allaccio alla rete elettrica di determinati dispositivi.

I nodi sono quindi stati riportati in sede per procedere ad effettuare dei test per identificare quali possano essere le cause di mancata trasmissione.

5.8 Prove con elementi di disturbo

Accertato che i **dispositivi PLC (versione 0) sono vulnerabili a disturbi di tipo elettromagnetico**, la fase successiva si è orientata sulla loro analisi, focalizzandoci su cosa li originano e su quali possano essere gli effetti in termini di affidabilità e stabilità del segnale trasmesso.

La metodologia adottata è la seguente:

1. condizioni ottimali di partenza: in assenza di carichi non previsti e non "invasivi" si instaura una connessione del sistema e si collegano i nodi periferici alla rete; si collega il nodo gateway ad un calcolatore e si fa partire l'archiviazione dei dati;
2. accertato che il sistema così come impostato nella fase 1. funzioni correttamente, sistematicamente vengono applicati carichi di varia natura (puramente resistivi, resistivo-induttivi, resistivo-capacitivi); molteplici sono stati i dispositivi applicati a titolo di esempio: stufetta elettrica a resistenza; ventilatori, aspirapolveri, caricabatterie;
3. si verifica se le misure rimangono affidabili.

5.8.1 Risultati delle prove

I nodi sono stati ricollegati nel medesimo setup utilizzato per le prove "in laboratorio". In aggiunta a tale configurazione, utilizzando una classica "ciabatta elettrica" sono stati collegati carichi di diversa natura.

I carichi collegati alla rete elettrica si possono classificare in:

- carichi resistivi
- carichi induttivi
- carichi che generano frequenze di disturbi.

La prima categoria, in linea teorica, non dovrebbe avere alcuna influenza sulla qualità della trasmissione. Per testare questa categoria è stata collegata al sistema una stufetta ad irraggiamento (senza ventola) da 1000 W e una stufetta elettrica a ventola da 1400W. Nel primo caso il carico è esclusivamente resistivo, nel secondo vi è una parziale componente induttiva data dal motore elettrico della ventola. In entrambi i casi la comunicazione non ha risentito dell'accensione di detti dispositivi

La seconda categoria è quella dei carichi induttivi, tipicamente rappresentati in ambito industriale da grossi motori elettrici. Per testare questa categoria è stato collegato al sistema un aspiratore di fumi per cappe ed un'aspirapolvere domestico da 1000 W. In entrambi i casi la comunicazione non ha risentito dell'accensione di detti dispositivi.

La terza categoria è una categoria eterogenea, rappresentata da tutti quei dispositivi che generano per diversi motivi frequenze elettriche che si propagano all'interno della rete. In particolare gli **alimentatori switching che trasformano i 220 V della rete elettrica in corrente continua con voltaggio adatto** al dispositivo che vanno ad alimentare. Questo tipo di dispositivi elettronici generano al loro

Strumento PLC: sistema "0", "1", "2"

interno delle alte frequenze, solitamente tra i 10 kHz e i 100 kHz, che potrebbero causare problemi alla connessione e alla comunicazione del sistema a onde convogliante.

Per testare questa categoria di disturbi sono stati collegati al sistema diversi alimentatori di dispositivi elettronici tra i quali PC desktop, notebook portatili, caricabatteria, stampanti, etc.

In questa fase è emerso uno dei problemi rimasti irrisolti. Quando nella stessa ciabatta venivano collegati alimentatori di un certo tipo la comunicazione si interrompeva. Si è visto che la comunicazione si interrompeva per alimentatori da "notebook" nonostante tutti avessero il marchio CE e dunque compatibili con i test di compatibilità elettromagnetica. In alcuni casi non solo vi erano effetti sulla comunicazione ma addirittura si instauravano problemi di alimentazione dei nodi.

È stato necessario valutare se i problemi di comunicazione in presenza di carichi induttivi potessero essere risolti con un "irrobustimento" del protocollo oppure se la soluzione fosse da ricercare nella parte hardware-elettrica deputata alla comunicazione.

Oppure c'è un limite intrinseco insito nella tecnologia tale da limitarne l'utilizzo?

Per rispondere a questi punti, i nodi-dispositivo sono stati riconsegnati al partner tecnico che ha provveduto ad effettuare gli interventi necessari potenziando l'alimentazione dei nodi e la stabilità della comunicazione.

Nel frattempo il progetto è proseguito adottando le soluzioni descritte in capitolo 6.

Dopo un arco temporale di qualche mese i nodi-dispositivo sono tornati presso gli uffici dell'Azienda. Si sono **rifatte le medesime prove** con i dispositivi aventi apparato di alimentazione "potenziato" e protocolli di comunicazione modificati. Il sistema con la nuova versione dei nodi ha continuato a funzionare nelle situazioni e configurazioni non problematiche (quelle che non hanno dato problemi nemmeno nelle sperimentazioni precedenti).

Tuttavia riproducendo le configurazioni "problematiche" si è visto che **le misure ancora non sono affidabili**. Collegando alle "ciabatte elettriche" gli alimentatori che generavano i problemi (tipo switching), si è notato che l'alimentazione è più stabile in quanto non vi è lo spegnimento e riaccensione del nodo ma la lettura delle informazioni presenta ancora problemi di "congelamento".



Fig. 27 - Un esempio di alimentatore che causa il "congelamento" delle misurazioni.

Strumento PLC: sistema "0", "1", "2"

La prova del "sistema 2" con nodi-dispositivo potenziati – La connessione si è dimostrata più stabile rispetto al caso delle prime forniture di nodi in quanto anche in presenza di elementi di disturbo il led che segnala lo stato di alimentazione non presenta più il ciclo di spegnimento/ri-accensione che precedentemente caratterizzava il non corretto funzionamento.

Nonostante il nuovo comportamento elettrico sia risultato più aderente a quanto previsto dalla progettazione, **dal punto di vista della comunicazione delle informazioni il problema persiste.**

Quando gli elementi di disturbo vengono collegati alla rete elettrica, l'informazione che viene archiviata nei registri degli slave ad ogni ciclo, **non segue la variazione della grandezza da misurare ma rimane "congelata" all'ultimo valore registrato.** Il risultato è che a livello di gateway vi è una informazione e questa viene correttamente gestita ma di un dato che non riflette la realtà.

Il problema dello spegnimento temporaneo dei nodi-dispositivi è stato risolto tuttavia il problema della comunicazione interdetta permane anche nell'ultima versione.

La Fig. 28 mostra chiaramente il comportamento del sistema di misura, il diagramma rappresenta le temperature ambientali misurate in laboratorio. L'asse delle ascisse riporta l'orario di esecuzione delle prove. Il nodo 1 che funge da gateway è collegato ad una presa a cui non è connesso nient'altro; tramite una porta USB è collegato ad un personal computer.

I nodi 2 e 6 fungono da "slave" e sono connessi ad una stessa ciabatta elettrica la quale a sua volta è collegata ad una presa elettrica collegata allo stesso impianto elettrico della presa del nodo 1.

Fino alle ore 14.35 circa il sistema di misura funziona correttamente misurando e registrando le 3 temperature ai 3 nodi, si vede come la temperatura cambi ad ogni misurazione.

Alle 14.35 viene connesso un alimentatore da notebook alla ciabatta che alimenta i nodi 2 e 6. Emerge chiaramente **che da quel momento i valori archiviati nei registri degli slave non variano, rimangono "congelati"** e il gateway registra **una informazione che non è rappresentativa della realtà.**

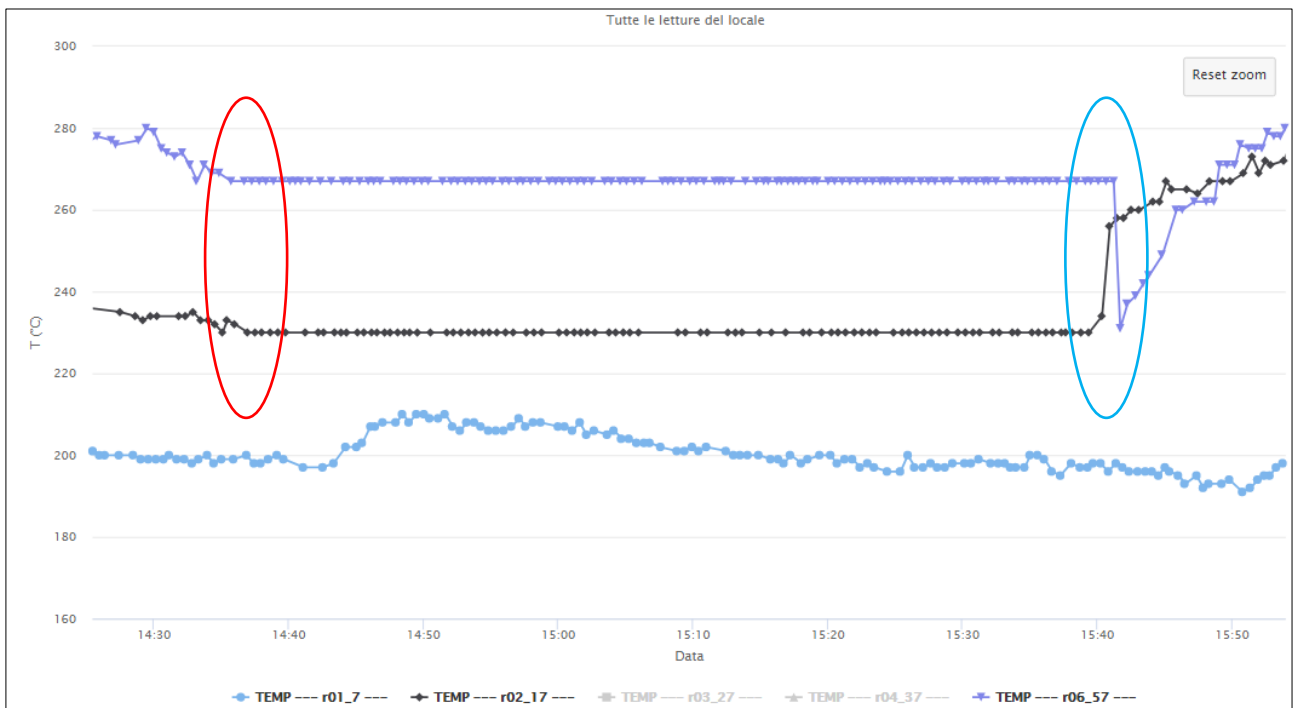


Fig. 28 - Effetto dell'elemento di disturbo sulla raccolta dati (temperatura misurata ai nodi).

Strumento PLC: sistema "0", "1", "2"

Nel caso di più nodi collegati e di più elementi di disturbi collegati "random" nelle ciabatte che alimentano i vari nodi il sistema di misura si come descritto in Fig. 29.

Alle ore 9.30 circa vengono collegati alla rete elettrica i nodi 1, 2, 6 ed essi iniziano a misurare correttamente quanto accade nella stanza (la diminuzione delle temperature è causata dall'apertura delle finestre). I tre nodi sono collegati a 3 prese elettriche differenti facenti parte però dello stesso impianto elettrico. Poco dopo le ore 10, ad un'ulteriore presa elettrica viene collegato il nodo 4. Pochi istanti dopo un elemento di disturbo (l'alimentatore switching) viene connesso alla stessa ciabatta del nodo 2 il quale da quel momento "congela" le misure ed il master registra dei valori che sono poco rappresentative della realtà. Il nodo 2 torna ad essere "operativo" e quindi affidabile cambiando la misurazione alle ore 13.30 quando l'elemento di disturbo viene scollegato dalla ciabatta.

La stessa problematica si ripete anche per altri nodi come evidenzia la Fig. 29. Questo pregiudica l'utilizzo dello strumento di misura in situazioni reali. L'azienda ha bisogno di ottenere informazioni affidabili soprattutto in fase pre-intervento.

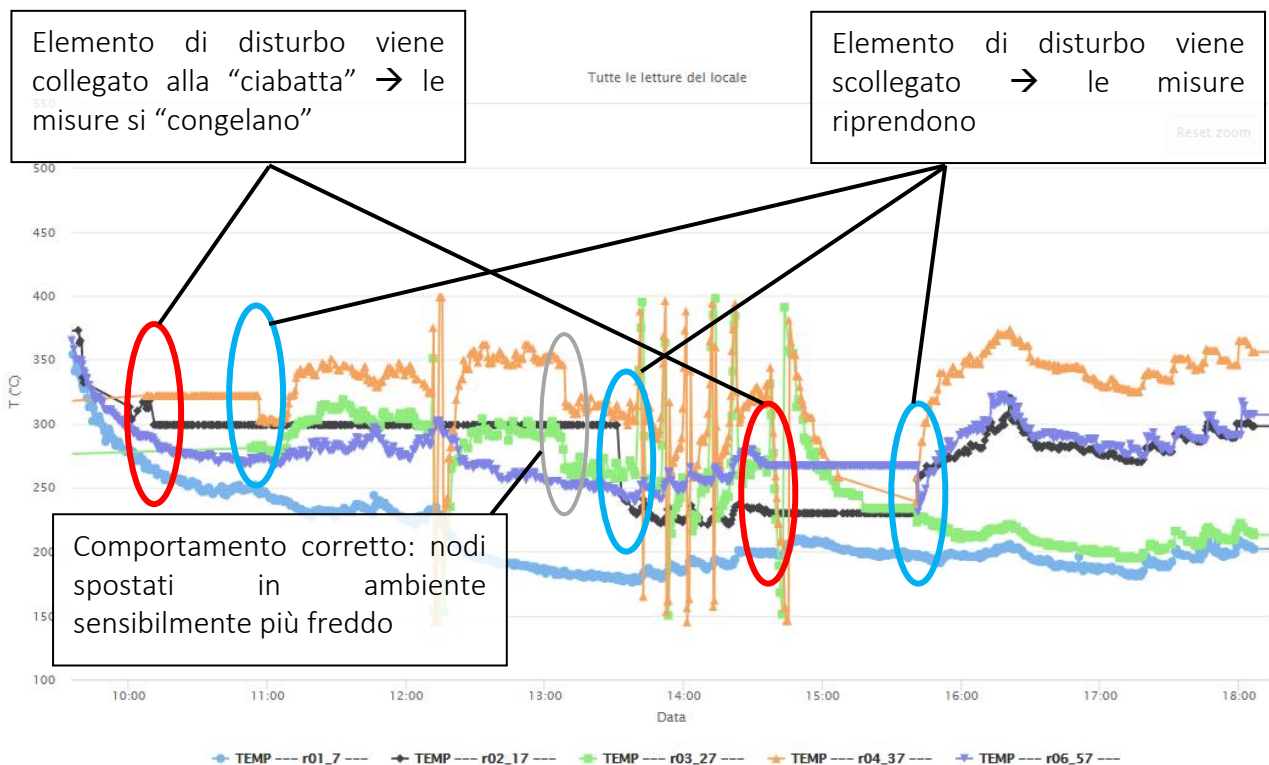


Fig. 29 - Congelamento delle misure quando si usano alimentatori elettronici.

Altre prove hanno portato a diagrammi di misure come quello di Fig. 30. Nella pratica essi non rappresentativi della reale situazione fisica: gran parte dell'informazione necessaria per la progettazione tecnico-energetica rischiano di non essere registrate.

Strumento PLC: sistema "0", "1", "2"

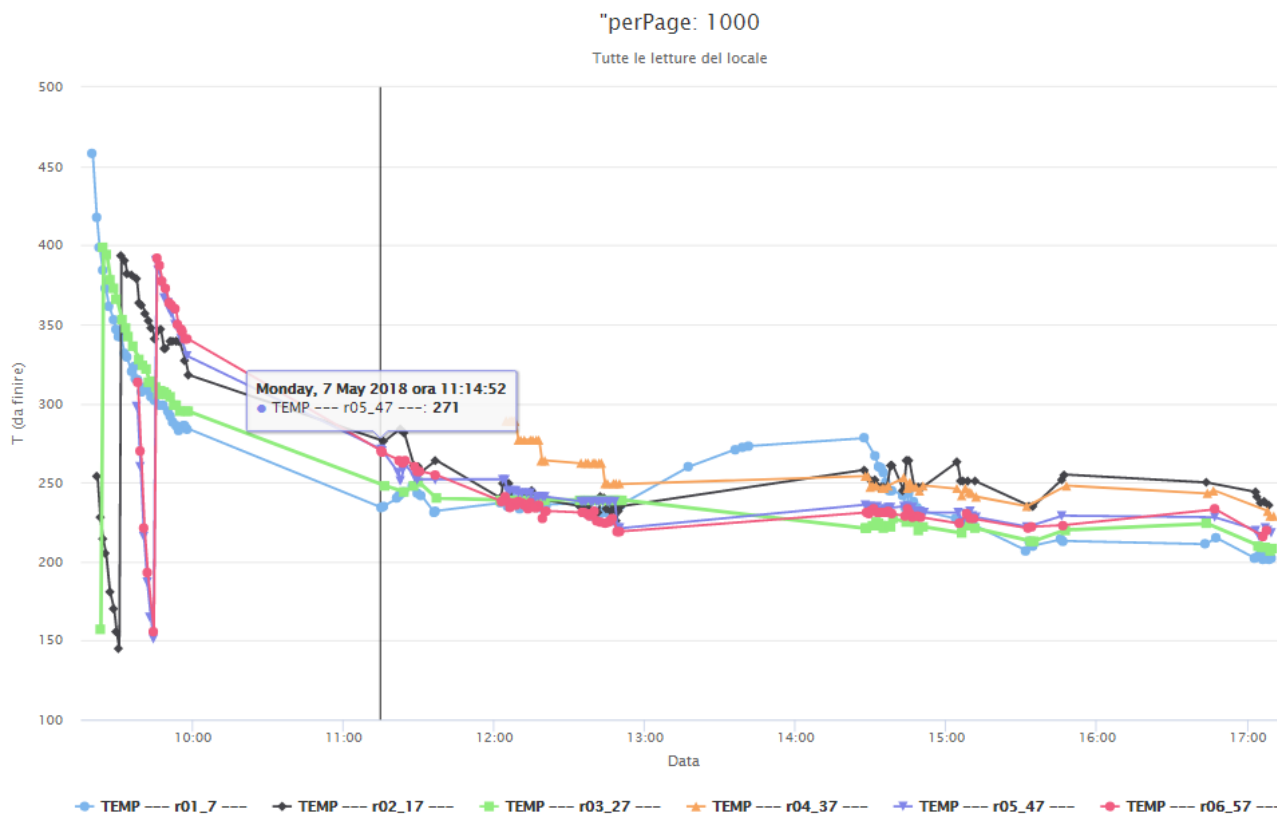


Fig. 30 - Grafico delle misure registrate applicando alimentatori elettronici.

5.9 Conclusioni test del "sistema 2"

Allo stato attuale, i partner tecnici non sono riusciti a fornire dei dispositivi compatibili con l'utilizzo in ambienti dove si installano gli impianti energetici.

Alla luce dei problemi di comunicazione alla presenza di determinati carichi non è ancora praticabile l'utilizzo in ambiente reale di questa tecnologia.

5.9.1 Indagine tecnica sulla comunicazione dei nodi PLC

Il fornitore dei dispositivi ha testato in situazioni "canoniche" i nodi PLC tramite l'utilizzo di un impianto di test (schematizzato nell'immagine Fig. 31). I test non hanno evidenziato particolari criticità, sebbene vi fosse nelle condizioni più critiche (disturbi generati da un inverter) un error rate inferiore al 5% dei pacchetti trasmessi.

Il banco di test utilizzato, però, tiene conto più dell'intensità dei possibili disturbi (l'inverter genera disturbi di notevole intensità) che delle frequenze generate dai carichi di disturbo: posto in ambiente reale il dispositivo ha evidenziato di soffrire di una scarsa robustezza ai disturbi generati da un particolare tipo di dispositivo, e cioè gli alimentatori switching.

Tali alimentatori si sono dimostrati in grado di introdurre disturbi attorno alla frequenza di 125KHz, che è la frequenza della portante generata per la comunicazione su onde convogliate.

Strumento PLC: sistema "0", "1", "2"

La presenza di questo tipo di disturbi provoca un *error rate* tale da non rendere utilizzabile il dispositivo in alcuni contesti reali.

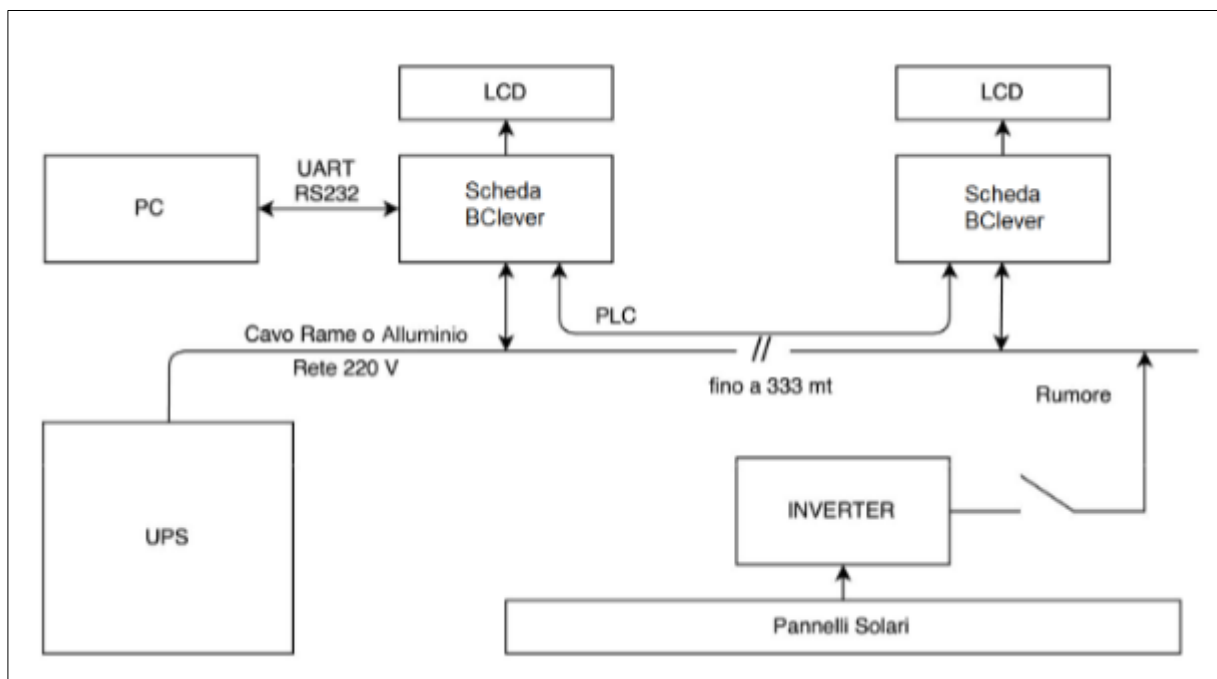


Fig. 31 - Schema circuito di test.

Per capire la fonte del problema è occorso un tempo lungo in quanto il difetto non si presenta in ogni condizione e con ogni alimentatore switching. Nella sede del fornitore, ad esempio, per riprodurre il difetto è stato necessario utilizzare una combinazione di diversi alimentatori pesantemente caricati e posti a distanza ravvicinata ai nodi. Al contrario, nella sede di Sinergia, il problema si presentava in maniera praticamente costante quando un alimentatore switching veniva collegato a ad una presa sulla medesima ciabatta elettrica di un nodo o su una presa elettrica nelle immediate vicinanze.

Dalle analisi effettuate risulta che **il problema è insito nella tecnologia**, cioè che utilizzando come mezzo di comunicazione le onde convogliate su portante a 125kHz non è possibile garantire la robustezza della comunicazione in tutte le situazioni, in particolare per motivi di normativa: i dispositivi **non possono introdurre nella rete elettrica segnali con intensità superiori a certi limiti**, mentre per avere una comunicazione robusta che sia performante anche in presenza di disturbi su frequenze simili **sarebbe necessario aumentare la potenza di trasmissione** per innalzare l'SNR (Signal-to-Noise Ratio, cioè rapporto segnale-rumore).

Si ritiene inoltre che i dispositivi che riescono a disturbare la connessione creino dei disturbi superiori alla norma.

L'unica maniera di aggirare questo problema sarebbe impiegare la tecnologia di trasmissione che viene impiegata (ad esempio) dai dispositivi "Powerline Eth" cioè da quei dispositivi che replicano il segnale cablato di una rete ethernet sulla linea 220V. Concettualmente hanno lo stesso funzionamento dei nodi PLC ma utilizzano il protocollo "homeplug" che trasmette su una gamma molto ampia e molto alta di frequenze: tra 2 ai 28 MHz.

Essendo una frequenza molto alta, sarà più difficile vi siano dispositivi che generino disturbi sulla frequenza della portante (e tali frequenze sono di sicuro al di fuori di quelle generate dagli alimentatori switching, molto più basse).

Strumento PLC: sistema "0", "1", "2"

Purtroppo passare a tali dispositivi richiederebbe una completa riprogettazione del nodo e richiederebbe hardware più performante e costoso che sarebbe meno adatto allo scopo rispetto alla soluzione WiFi ricreata da Sinergia.

In sintesi i nodi in questione hanno un campo applicativo limitato ai luoghi ove non siano presenti nelle immediate vicinanze dispositivi che creino disturbi su frequenze prossime ai 125kHz (come ad esempio dove sono stati effettuati i test nella sede del fornitore). Per l'utilizzo in tali luoghi sarà più adatto impiegare altre tecnologie di trasmissione.

6 Strumenti “elettronica open-source” DIY

Nel capitolo sono descritti gli strumenti di misura realizzati adottando componenti di elettronica e linguaggi di programmazione open-source.

Lo sviluppo si è concentrato sulla realizzazione di uno strumento composto da hardware (sensore, micro-controllore e schede elettroniche) capace di integrarsi con una piattaforma software (piattaforma web-based) in grado di archiviare, elaborare e presentare informazioni inerenti le misure eseguite.

6.1 Perché una strada parallela?

Negli ultimi decenni abbiamo vissuto, e stiamo ancora vivendo, un’accelerazione senza precedenti nello sviluppo dei componenti elettronici. Questo ha portato a due grandi benefici: **miglioramento esponenziale dell’hardware** (prestazioni, miniaturizzazione, standardizzazione, etc.) accompagnato da un **generale abbassamento dei costi**.

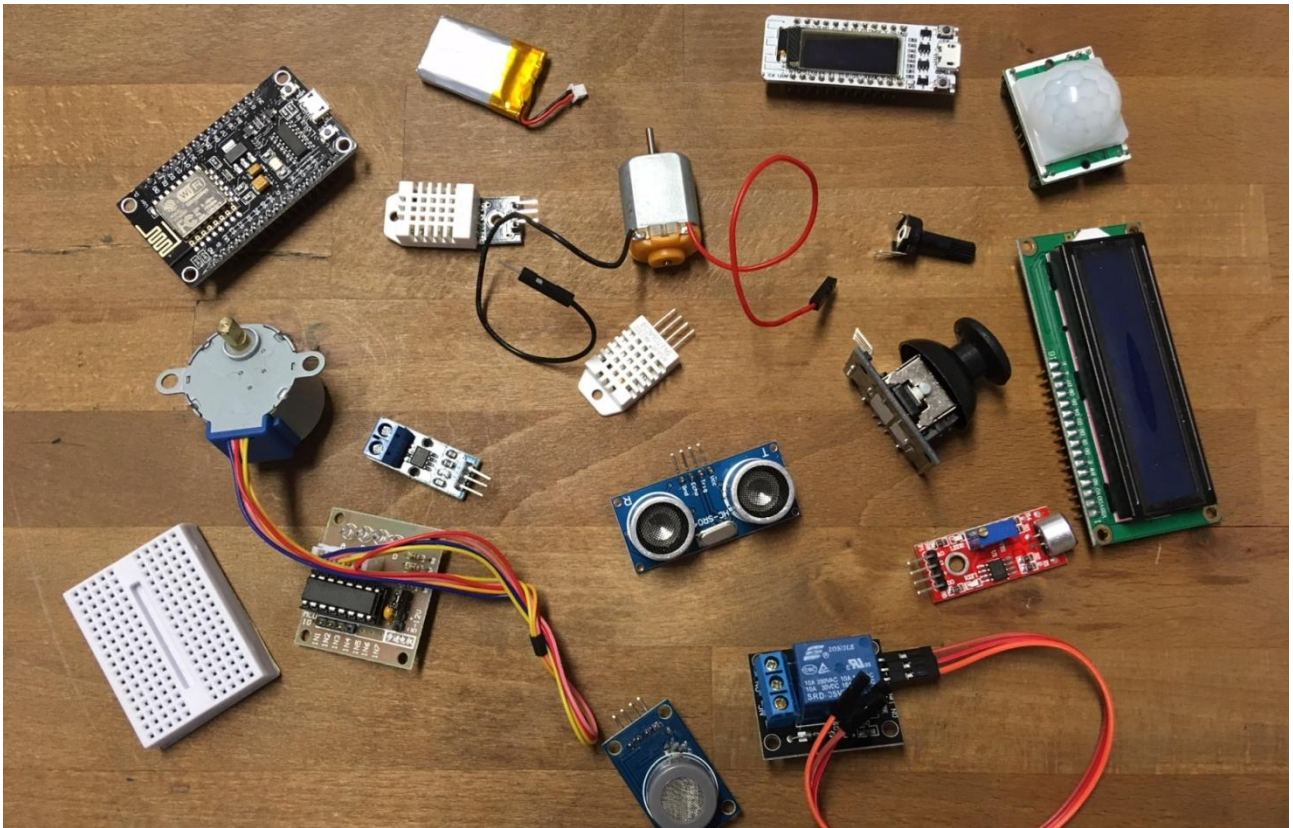
Inoltre *l’approccio “digitale”* si sta sempre più affermando nei percorsi formativi con il risultato che nel tessuto culturale le competenze digitali e informatiche sono sempre più presenti e spesso di buon livello.

Hardware diffuso, efficiente ed economico unito a competenze informatiche diffuse stanno portando a un terreno estremamente fertile, base della quarta rivoluzione industriale.

Gli effetti concreti di questa *“digital - trasformazione”* si vedono in tutti i settori economici e si presentano in declinazioni che vanno dall’automazione di semplici sistemi domestici, alla robotica industriale più spinta passando per tutte quelle applicazioni riguardanti sia l’ambito professionale che amatoriale: stampa 3d, IoT, industry 4.0, RFID, wireless communication, power management, guida autonoma, dispositivi wearable e così via. Culturalmente molto stanno facendo i cosiddetti makers.

Come visto nel capitolo 5 i sistemi di misura basati su dispositivi PLC (Power Line Communication) hanno dimostrato fin dalle prime fasi del progetto alcuni limiti che avrebbero minacciato la possibilità di svolgere la seconda parte delle attività prevista nel programma.

Pertanto, **parallelamente allo sviluppo delle soluzioni hardware basate su onde convogliate**, supportati nella fase iniziale dalla StartUp Innovativa “Creta Plus”, si è deciso di sviluppare una seconda classe di strumenti di misura. Grazie alla diffusione della cosiddetta **elettronica open-source** sono stati realizzati dei dispositivi particolarmente economici e funzionali che hanno permesso di fare lunghe campagne di misura raccogliendo notevoli quantità di dati.



Di seguito sono presentate le realizzazioni e gli strumenti più interessanti.

6.2 TUPWA

Il nome **TUPWA** è un acronimo che sta a ricordare le principali caratteristiche dello strumento ovvero: che misura **Temperatura, Umidità, Presenza, che comunica con wi-fi e che è basato sulla piattaforma Amica nodeMCU**.

Al fine di controllare al meglio le misurazioni “su campo” sono stati realizzati dei prototipi di misura composti da componenti di elettronica open-source presenti sul mercato a prezzi particolarmente competitivi. Per i componenti “accessori” dello strumento quali cablaggi, basette elettroniche e contenitori il team si è rivolto ai prodotti utilizzati negli impianti elettrici adattandoli alle esigenze.

La Fig. 32 mostra lo schema funzionale dello strumento TUPWA.

Per ridurre le dimensioni, l’ingombro e quindi l’invasività delle misurazioni si è scelto di utilizzare la piattaforma *nodeMCU AMICA* che ha le seguenti caratteristiche:

- modulo wi-fi integrato;
- dimensioni ridottissime (30 x 57 x 10 mm), inferiori alla piattaforma Arduino;
- linguaggio di programmazione intuitivo (stesso usato per Arduino);

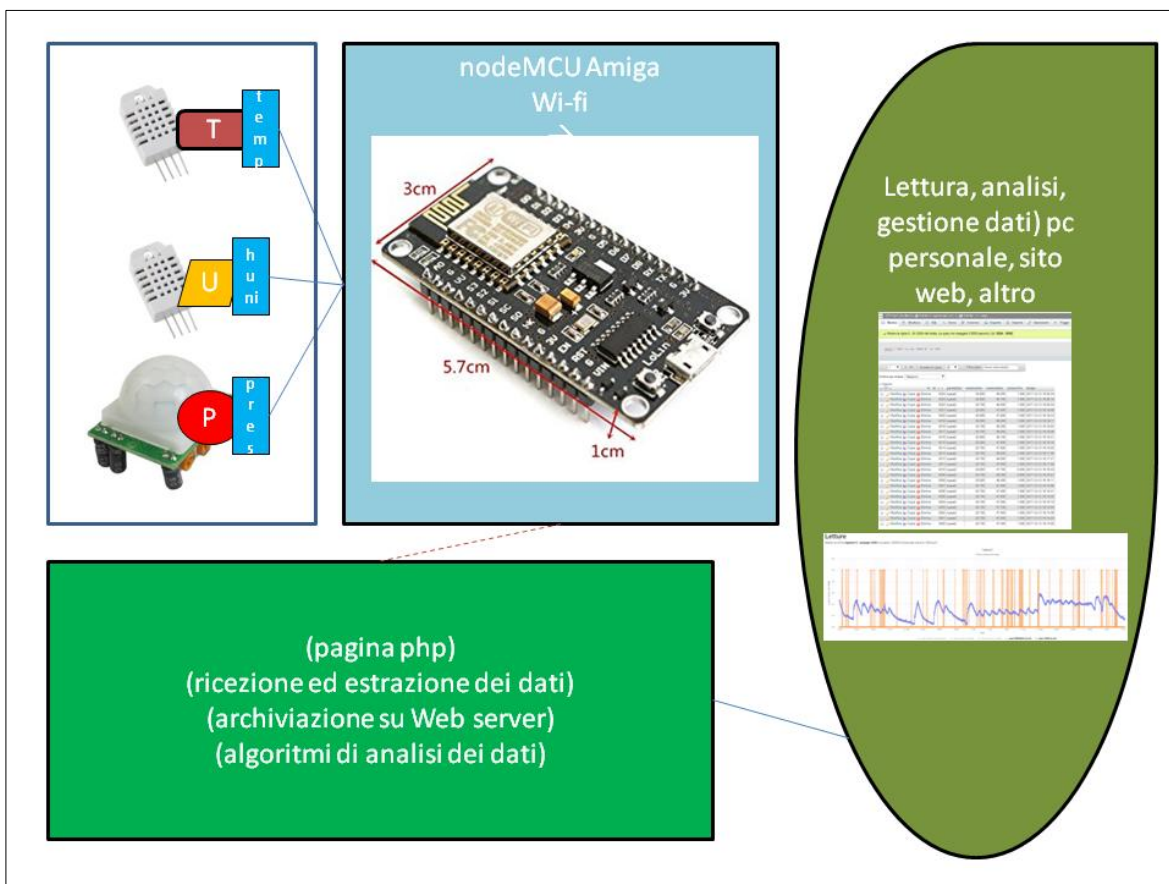


Fig. 32 - Schema funzionale del prototipo per sistema di misura TUPWA.

Lo strumento "TUPWA" è visibile della foto di Fig. 33.



Fig. 33 - Foto di un "TUPWA": si vedono la sonda di presenza e quella di temperatura e umidità.

6.2.1 Archiviare i dati in remoto

La piattaforma di TUPWA ha un modulo wi-fi che consente allo strumento di connettersi ad una rete e quindi a mandare informazioni in rete. L'archiviazione dei dati su uno spazio hosting dedicato al progetto avviene tramite una chiamata ad una pagina web. Operativamente lo strumento simula la visita a specifiche pagine web mediante le quali si salvano le informazioni in un database.

La chiamata alla pagina .php che archivia i dati è corredata di una serie di parametri che rappresentano le informazioni che si desiderano archiviare: temperatura, umidità relativa e presenza. Il metodo utilizzato nel software realizzato a supporto del "TUPWA" è di tipo "GET" che assieme al metodo "POST" rappresentano i modi più comuni per scambiare informazioni tramite HTTP.

Nel metodo GET si utilizza una stringa che solitamente è visibile nella barra degli indirizzi anche durante la normale navigazione da parte di un utente. Nella esperienza comune è il nostro browser che crea la stringa e la invia ad un webserver. Quest'ultimo la interpreta ed esegue delle operazioni che preparano una serie di informazioni che vengono restituite al browser (ad esempio una pagina html, una immagine, un file pdf oppure ogni altro elemento tipico del web).

Nel presente caso studio si è adottato questo approccio. È la piattaforma NodeMCU che, connessa ad una rete internet via wi-fi, **attua le chiamate http generando url aventi dei parametri ben precisi**. Parametri che potranno essere interpretati dal webserver a cui la chiamata è indirizzata.

Una chiama con metodo GET ha questa forma (*indirizzo.ext* rappresenta il dominio in cui risiede la pagina, oppure l'indirizzo ip del webserver):

```
indirizzo.ext?parametro01=abcd&parametro02=xyz
```

Il server che riceve questa chiamata può estrarre le informazioni dalla stringa con le funzioni:

```
$informazione01 = $_GET['parametro01'];  
$informazione02 = $_GET['parametro02'];
```

6.2.2 Struttura database

Isolate le informazioni raccolte dalla chiamata GET alla pagina è possibile archiviare le informazioni su un database.

Per quanto riguarda il prototipo TUPWA, il database previsto per accogliere i dati è strutturato come descritto in Tab. 5.

Tab. 5 - Struttura del database per lo strumento "TUPWA".

| campo | tipo | descrizione |
|--------------|------------|---|
| id | int 8 | Identificatore per il dato salvato |
| label | varchar 16 | Etichetta per identificare il punto di misura o la campagna |
| temp | double 7,3 | Temperatura: numero con virgola a 3 decimali |
| humi | double 7,3 | Umidità relativa: numero con virgola a 3 decimali |
| pres | int 1 | Presenza |
| tempo | datetime | Momento delle misure |

La pagina .php esegue delle istruzioni che archiviano in un database le informazioni passate dalla piattaforma nodeMCU tramite chiamata http e recuperate con metodo GET. Di seguito le parti principali della pagina add-data.php.

La chiamata http, generata in seno alla piattaforma nodeMCU ha la forma:

```
/add-data.php?temp=23.40&humi=49.67&pres=1&label=testUff
```

Codice principale della pagina:

```
// ricavo informazioni da url
$label = $_GET[label];
$temp  = $_GET['temp'];
$humi  = $_GET['humi'];
$pres  = $_GET['pres'];
```

Il valore dopo *?temp=*, ovvero 23.40 è un esempio di valore di temperatura, analogamente il valore dopo *&humi=* ovvero 49.67 è un esempio di valore di umidità mentre per la variabile *&pres=*, 1 riguarda l'informazione sulla presenza e significa che in quel momento il sensore stava registrando uno stato di occupazione. Il parametro *&label=* serve per indicare quale campagna di misura è in corso.

La query di inserimento dei dati nel database (nome tabella "*zzz_mqm*") è la seguente:

```
// salvo i dati nel database
$queryInsert = "
    INSERT INTO    zzz_mqm
    ( label,      temp,      humi,      pres,      tempo)
    VALUES
    ('$label', '$temp', '$humi', '$pres', '$tempo')";
IF ( mysqli_query($db, $queryInsert) ) {
    // azioni in caso di inserimento corretto
} ELSE {
    // azioni per il caso di errori
}
```

6.3 Visualizzazione dei dati

L'adozione di tecnologie orientate alla pubblicazione di informazioni sul web ha permesso di implementare fin dall'inizio del progetto una serie di "feature" dedicate alla elaborazione e visualizzazione dei dati via web.

La web-app realizzata soddisfa queste funzioni:

- organizzare le campagne di misura
- visualizzare le misure di una campagna
- restituire i dati archiviati in formato "grafico" permettendo all'analista semplici funzioni di scelta del periodo di visualizzazione, dello zoom, di poter confrontare dataset diversi, etc.
- restituire i dati in un formato "raw" ovvero grezzo sotto forma di file .csv o equiparabile.

La Fig. 34 mostra un esempio di visualizzazione dei dati di una campagna di misure. Si vede l'andamento puntuale delle temperature, dell'umidità relativa, informazioni sulla presenza, il calcolo del valore medio di temperatura.

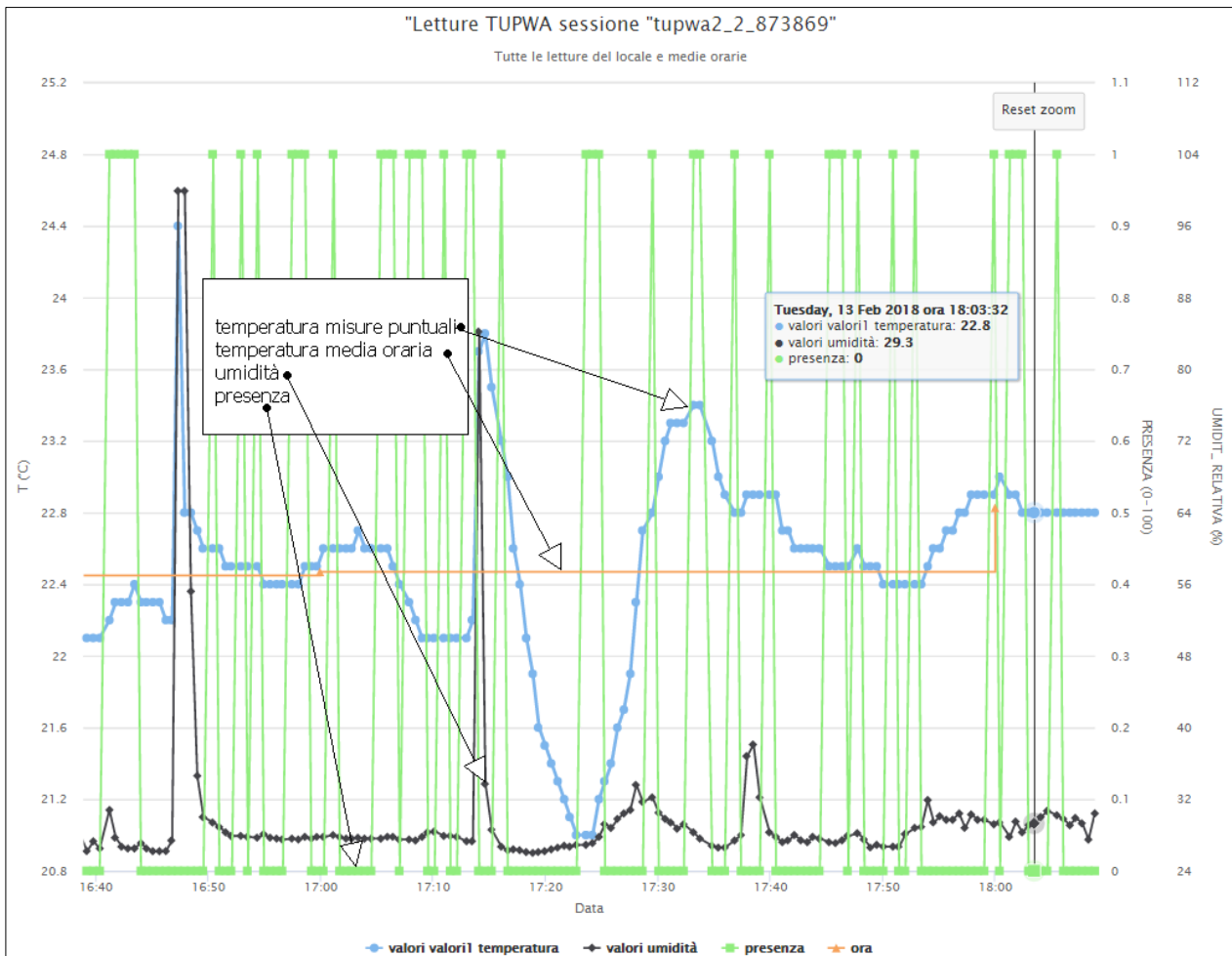


Fig. 34 - Esempio di visualizzazione dei dati per 3 ore di campagna di misura con TUPWA.

6.4 Funzione genera csv

L'esperto energetico molto spesso ha costruito gli algoritmi di analisi e le procedure adottando strumenti informatici tradizionali quali i fogli di calcolo. È necessario realizzare una sorta di "traduttore automatico" che permetta di sfruttare le innovazioni espresse dagli strumenti realizzati nel progetto di ricerca **anche con le procedure attualmente presenti in azienda**. Il processo di "automazione" va accompagnato ed è molto complesso.

Per utilizzare i dati archiviati nella piattaforma con i tradizionali fogli di calcolo è necessario "tradurli" in un formato compatibile con quello generalmente accettato ed elaborato dai più comuni fogli di calcolo.

Ci sono diversi formati di "interscambio" delle informazioni. I più comuni sono .xml, .json e il .csv. Quest'ultimo particolare risulta essere la scelta naturale per il contesto del progetto di ricerca.

Grazie uno script di programmazione, la piattaforma riesce a leggere i dati selezionati dal progettista nel database, ad organizzarli in una specifica sequenza **ed a restituirli in un file .csv**.

Usando particolari delimitatori ed opzioni è possibile far generare file .csv che sia MS Excel che Open Office Calc riescono a interpretare nativamente nel comune formato generale.

Il progettista in questo modo può selezionare i dati di interesse dalla piattaforma, generare “on-fly” il file .csv ed immediatamente analizzarli con le procedure ed algoritmi già disponibili nella cultura aziendale.

6.4.1 Listato TUPWA

Il codice usato per programmare la piattaforma Amica nodeMCU si può trovare integralmente al paragrafo 10.2.

6.4.2 Capacità di effettuare logiche di controllo

Controllando interamente tutti i passaggi del processo di raccolta, gestione ed archiviazione del dato, è stato possibile **aggiungere delle logiche di monitoraggio dei parametri ambientali**. Ad esempio, a livello della pagina .php che si occupa di inserire una misura in un database è stata implementata un’azione che in seguito ad un evento (esempio sopra o sotto temperatura) manda in automatico una email ad un responsabile.

```
IF ($temp > 24) {  
mail( // invia email per sopra-temperatura  
} ELSEIF ($temp < 16) { // invia email di sotto temperatura  
}
```

Poiché il controllo sulla temperatura è richiamato ad ogni misura, per evitare che vengano inviate decine di email è necessario introdurre un algoritmo che registra il momento di invio della email e per un certo numero di ore blocca altri invii. La strategia adottata è la seguente: in seguito all’accadimento che fa scattare l’allarme, si registra l’evento in un database relazionale.

Quest’ultima informazione permette di gestire la logica di invio delle email:

```
$queryLastAlert = "  
SELECT *  
FROM zzz_test_invioalert  
WHERE motivo = '1'  
AND quando > '$quandoControllo'  
";
```

ma ha una duplice utilità, infatti può essere utile anche per tenere traccia degli eventi che hanno causato gli allarmi.

6.5 TUPWA multiNode

Il passo successivo è stato quello di realizzare più dispositivi TUPWA e di predisporre una nuova sezione del software adibito alla raccolta ed archiviazione dei dati. Questo ha permesso di testare le problematiche, criticità ma anche i vantaggi che si possono esplorare quando si raccolgono più misure contemporaneamente. Una reale applicazione sul campo è descritta nel paragrafo 8.2.

Ogni nodo è composto da una piattaforma dotata di un microchip controllore e di un microchip wi-fi come descritto nel paragrafo di presentazione dello strumento TUPWA (paragrafo 6.2). I nodi sono composti dai seguenti elementi:

- case;
- piattaforma microcontrollore e chip wi-fi;
- sensore digitale di umidità e temperatura;
- sensore di presenza;
- alimentatore.

7 Remotizzazione conta-impulsi

In questo capitolo viene fornita una panoramica degli strumenti realizzati per remotizzare, automatizzare e rendere più versatile la fruizione dei dati forniti da contatori dotati di “conta-impulsi”.

Grazie ad elettronica open-source di largo consumo è stato realizzato un modulo capace di interpretare il “segnale impulso”, di elaborarlo ed infine di registrarlo in un database remoto.

Gli esperti energetici grazie alla remotizzazione degli impulsi hanno a disposizione una informazione più “granulare” che sebbene possa essere soggetta a errori è potenzialmente di grande utilità.

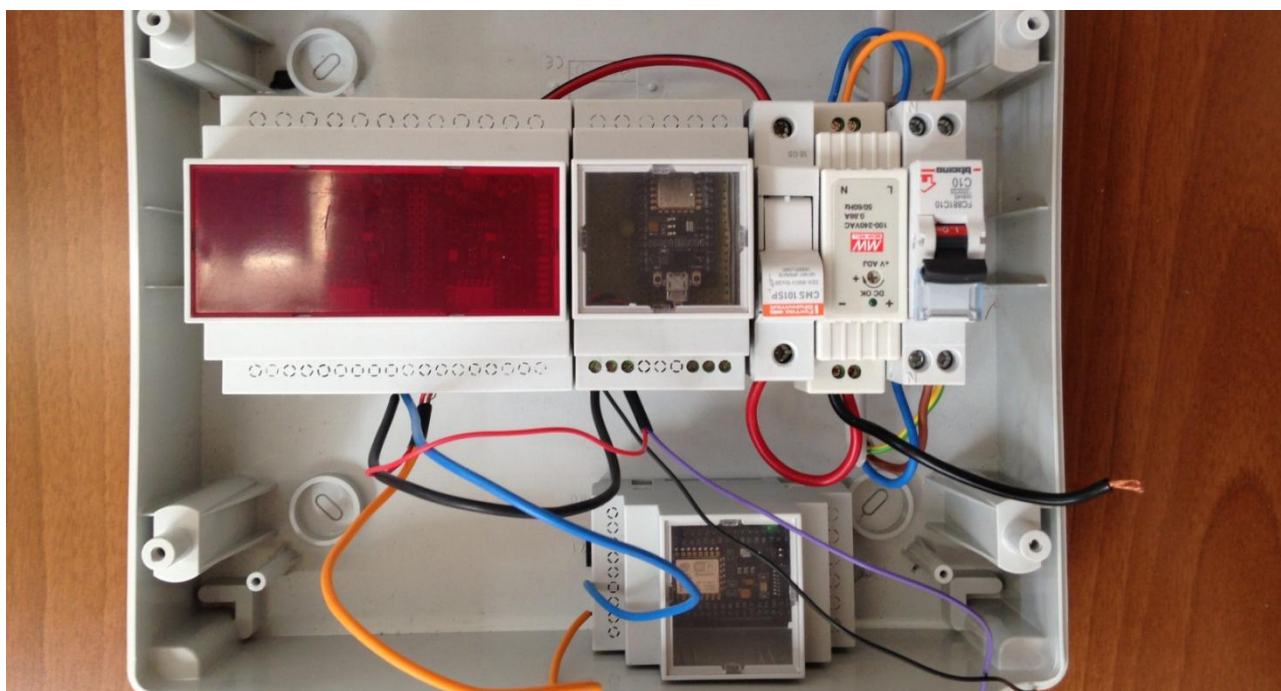


Fig. 35 - Strumento con 4 dispositivi per "remotizzare" gli impulsi.

7.1 Introduzione

Molte grandezze fisiche e parametri ambientali sono attualmente misurati con contatori che restituiscono l'informazione attraverso più forme e canali. Ad esempio nel caso della misura del flusso di acqua esistono contatori che oltre a mostrare il valore cumulativo dei consumi attraverso il classico contatore analogico forniscono anche una informazione di tipo impulsivo **che può interfacciarsi con dispositivi elettronici**.

Generalmente i contatori adibiti alla registrazione dei consumi elettrici, o di un fluido, o di energia consumata, etc. oltre a mostrare il cumulato nello “spazio analogico” o attraverso uno schermo digitale sono dotati di un'interfaccia elettrica che, quando adeguatamente condizionata, **genera un impulso proporzionale alla grandezza da misurare**, ad esempio 0.1 kWh/impulso o 0.1 m³/impulso.

Nel caso elettrico significa che ogni qualvolta i carichi posti a valle del contatore arrivano a richiedere 0.1 kWh di energia il contatore rilascia un segnale sotto forma di impulso elettrico. Molto

comune è attuare questa logica: al raggiungimento della quantità che fa scattare l'impulso viene chiuso un circuito elettrico, spesso per un tempo pre-definito; nel caso dei contatori ad esempio di fluidi il circuito viene chiuso per un tempo elevato proporzionale al consumo che si sta misurando.

Se opportunamente trattato questo impulso costituisce una informazione particolarmente interessante per lo studio dei consumi. Infatti si può, registrando il momento nel quale viene generato l'impulso, **ottenere una sorta di serie storica** degli stessi. Avendo a disposizione l'informazione relativa al tempo è possibile osservare con maggior dettaglio come si comporta la grandezza oggetto della misura.

Considerando l'energia elettrica, la remotizzazione degli impulsi ad esempio presso un web-server, consente di tracciare in modo automatico le curve dei consumi storici. La qualità dell'informazione che si può estrarre è sicuramente maggiore rispetto al caso di letture "spot" e come si può intuire dalla Fig. 36 si vede chiaramente la differenza di livello informativo tra i due approcci.

Senza la remotizzazione degli impulsi, durante i 4 mesi della campagna di misura, il progettista dispone solamente di 5 dati e nulla sa di come abbia funzionato l'impianto o il processo tra una misura e la successiva (per semplicità si può ipotizzare un andamento lineare tra le 2 misure). Viceversa, se il contatore è dotato di conta-impulsi e di questi se ne registra il momento di "scatto" è possibile osservare il reale andamento dei consumi individuando i periodi di maggior o minore domanda.

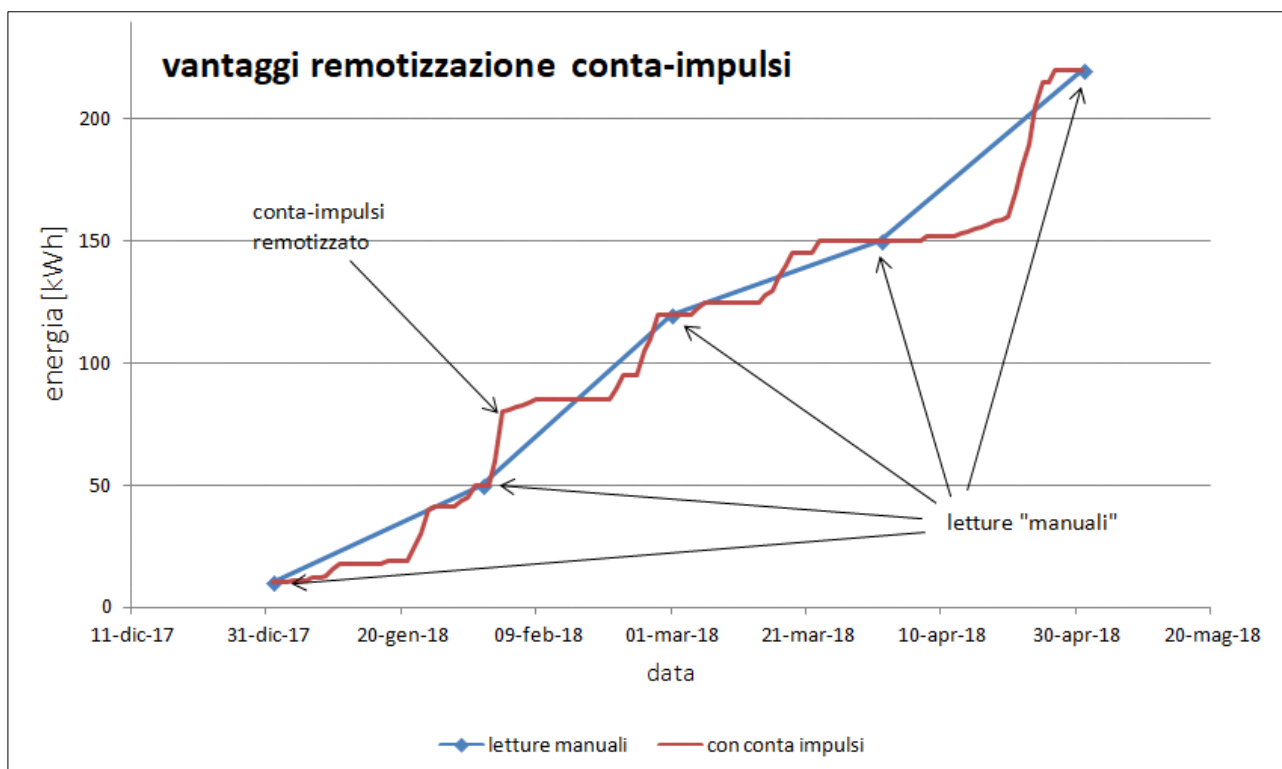


Fig. 36 - Differenza del livello informativo tra letture "spot" e letture con "conta-impulsi".

Di particolare importanza per le aziende di tipo ESCo sono **le misurazioni di energia elettrica**.

Durante il progetto di ricerca, grazie alle competenze acquisite durante lo sviluppo dei dispositivi open-source, è stato possibile realizzare un dispositivo in grado di remotizzare gli impulsi in un database remoto.

7.2 Remotizzare il conteggio impulsi

Obiettivo dello strumento: fornire al gestore dei processi energetici informazioni in tempo reale sull'andamento di grandezze fisiche misurate tramite contatori dotati di conta-impulsi. Le informazioni sono rese disponibili su piattaforme web-based interrogabili in remoto.

ATTENZIONE: gli strumenti realizzati in seno al progetto di ricerca non sono strumenti adatti a misurazioni con scopi economico/fiscali poiché non possono garantire livelli di affidabilità adeguati.

Mediante elettronica di consumo lo strumento riesce a interpretare il segnale impulsivo memorizzando l'informazione in un database remoto.

7.2.1 Impulso meccanico VS impulso elettronico

La figura Fig. 37 mostra 3 esempi di contatori dotati di uscita "lancia impulsi": l'informazione generata nei due casi è differente.

Nel caso del contatore di energia elettrica, l'interfaccia genera un impulso di durata pre-definita: sostanzialmente si attua la chiusura elettronica di un interruttore. Predisponendo un circuito adeguatamente alimentato è possibile trasformare l'informazione impulsiva in una forma compatibile con la catena di elaborazione del segnale registrando il dato in un database remoto.

Differentemente, nel caso dei contatori del flusso di acqua, l'informazione non è un vero e proprio impulso ma piuttosto riguarda il cambio di stato di un parametro elettrico ogni qualvolta il contatore misura il passaggio una certa quantità di fluido. L'impulso in questi casi è azionato meccanicamente ed ha una durata non prevedibile.

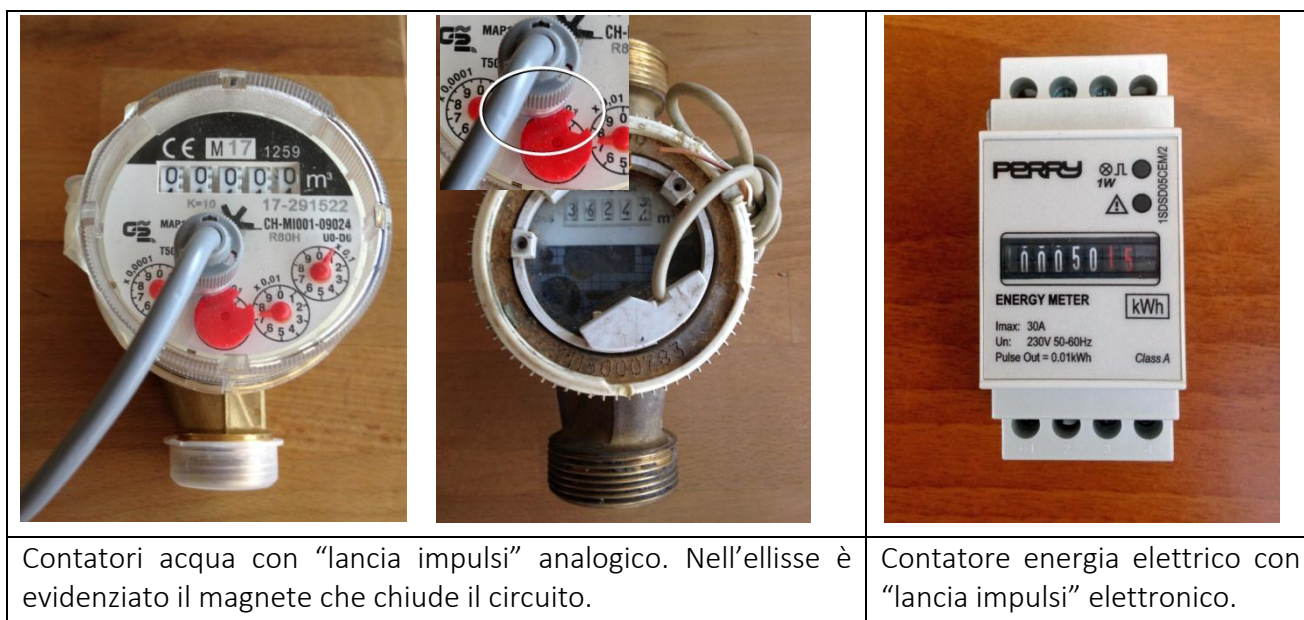


Fig. 37 - Esempi di contatori dotati di interfaccia per conta-impulsi.

7.3 Misura energia elettrica

Il vantaggio di "remotizzare" il conteggio degli impulsi per una azienda EScO è molteplice. L'approccio "tradizionale" prevede che un operatore a intervalli di tempo predefiniti si rechi

fisicamente presso la struttura che consuma energia elettrica e si annoti il valore riportato sul contatore. Oltre ad essere un'operazione onerosa che richiede molto tempo, restituisce anche una informazione troppo "aggregata" dei consumi: la ESCo arriva a conoscere la quantità di energia consumata tra 2 letture ma nulla più. Non ho alcuna informazione sul "come e quando" tale energia sia stata consumata e utilizzata.

Grazie alla misura del campo magnetico generato dal passaggio di una corrente è possibile risalire alla quantità di corrente transitata in un cavo ad una certa tensione. Il misuratore generalmente fornisce già l'integrazione della misura, ovvero la somma dell'energia elettrica transitata attraverso il cavo di riferimento. L'informazione utile per una ESCo è l'impulso rilasciato ogni volta che i consumi raggiungono un incremento di valore pre-definito.

7.3.1 L'informazione impulso

Alcuni contatori sono dotati di un generatore di impulsi ovvero di una interfaccia che elettricamente può essere utilizzata per fornire informazioni. L'impulso di questo tipo di contatori è elettronico caratterizzato da una durata predefinita e dal fatto che è il contatore stesso a garantire che l'impulso non sia duplicato o errato.

Il listato del codice "Arduino" è disponibile in appendice alla sezione 10.3. Una sperimentazione è stata applicata ad una centrale termica di una struttura ricettiva remotizzando un contatore elettrico e due contatori energetici. La sperimentazione è descritta nel paragrafo 8.6.

7.4 Misura consumi acqua

Il contatore generalmente è fornito di più quadranti a lancette (generalmente di colore rosso) ognuno dei quali misura una quantità che è un ordine di grandezza superiore alla precedente. Ad esempio un quadrante misura $1/1000$ di m^3 , il quadrante successivo $1/100$ m^3 , il seguente $1/10$ m^3 e così via. Il cumulativo viene registrato o attraverso altre lancette (di colore nero) o in caselle numerate che registrano il passaggio di una quantità standard di fluido, per esempio per le normali applicazioni residenziali o industriali può essere di 1 m^3 o con una risoluzione maggiore per esempio il decimo di m^3 o il centesimo di m^3 .

Il conta-impulsi viene posto nei pressi dei quadranti che forniscono informazioni pari a una frazione (solitamente decimale) della quantità misurata (a esempio $1/10$ di m^3 , $1/100$ di m^3 , $1/1000$ di m^3 , etc.).

Con riferimento alla Fig. 37 le immagini relative ai contatori di acqua (le due di sinistra) mostrano l'applicazione dell'uscita "impulsiva". In particolare la foto di sinistra mostra il conta-impulsi applicato ad uno dei 4 quadranti con lancette. Il lettore di impulsi è applicato al quadrante che misura i millesimi di m^3 ovvero i litri.

Ogni qualvolta nel contatore passano 10 litri di fluido il quadrante compie un giro completo. Quando la lancetta è in prossimità dello "0", varia la configurazione elettro-magnetica del sistema "leggi impulsi" e se opportunamente alimentato il meccanismo permette di ottenere un'informazione proporzionale.

A differenza dell'impulso elettronico generato contatore elettrico, **per il modo in cui il segnale stesso viene generato la sua durata non è pre-definita** ma è dipendente dalla portata del fluido. Per esempio, in caso di alta portata, il segnale "alto" permarrà per un tempo inferiore rispetto al caso di

bassa portata. In queste situazioni è importante che l'impulso non venga memorizzato più volte in caso di anomalie (per esempio quando ci sono stacchi dell'energia elettrica).

Il caso del contatore acqua richiede una logica di controllo lato software più raffinata rispetto al caso elettrico, infatti in questo caso il "lancio dell'impulso" non è elettronico ma bensì elettromeccanico: quando il contatore si avvicina ad una posizione (che incontra ciclicamente) permette la chiusura di un circuito. Quindi la condizione di "impulso" può rimanere "attiva" per un tempo la cui durata non è prevedibile.

Al fine di rendere la remotizzazione del conta-impulsi il più affidabile possibile sono state analizzate le combinazioni di queste situazioni:

- stacco non programmato (viene a mancare l'alimentazione);
- dispositivo per "lancio impulso" in posizione "alta";
- impulso già memorizzato (l'interrogazione è ciclica).

Per **evitare il doppio conteggio** dell'impulso in caso di stacco/attacco dell'energia elettrica si può realizzare un controllo software **mediante la gestione di 3 variabili**:

- *varPosso*: questa variabile imposta il controllo sulla possibilità di memorizzare l'impulso;
- *varImpulso*: questa variabile misura il momento in cui il contatore mette a 1 l'impulso
- *varIsRead*: serve per evitare che ci siano molteplici registrazioni dello stesso impulso;

La variabile *varPosso* ha il compito di gestire l'inizializzazione della misura ed evitare il conteggio del doppio impulso. Quando viene acceso lo strumento si controlla dapprima lo stato della variabile *varImpulso*: se è 0 allora metto a 1 la variabile *varPosso*. Se la *varImpulso* è 1 significa che la riaccensione dello strumento è avvenuta mentre il "lancia impulsi" è in posizione "alta". In questa situazione tengo la *varPosso* a zero finché non vi è un primo cambio di stato della variabile *varImpulso*; in questo modo si sta evitando la registrazione del conteggio nei casi in cui, ad esempio, ci sono i black-out). Una volta "partito" il sistema la variabile *varPosso* rimane fissa a 1.

È presumibile che la condizione della riaccensione sia la medesima di quando allo strumento è stata tolta energia quindi l'impulso precedente è già stato conteggiato. Questo è il ragionamento che giustifica la presenza della variabile *varPosso*.

Poiché il micro-controllore interroga la posizione dell'impulso numerose volte al secondo, per evitare di conteggiare migliaia e migliaia di volte lo stesso dato è introdotta la variabile *varIsRead*. Essa cambia di stato solamente nelle condizioni ai margini di "entrata" e di uscita dell'impulso".

La variabile *varIsRead* evita la registrazione dell'impulso ad ogni ciclo.

7.4.1 Use cases

Entrata dell'impulso: *varIsRead* è zero ed è il primo ciclo per cui *varImpulso* è alta:

```
IF (varPosso == 1 AND varIsRead == 0 AND varImpulso == 1) {  
  //Cambio stato di varIsRead  
  //Registro l'impulso
```

Altro caso: momenti interni all'impulso: *varIsRead* è alta, quindi ho già registrato l'impulso, non faccio nulla:

```
IF (varPosso == 1 AND varIsRead == 1 AND varImpulso == 1) {  
  // Non faccio nulla poiché il segnale di impulso è già stato registrato
```

Con la variabile `varIsRead` alta, l'impulso esce e trovo per la prima volta `varImpulso = 0`; cambio stato alla variabile `varIsRead` e predispongo lo strumento a registrare il prossimo impulso. Lascio alto `varPosso`.

```
IF (varPosso == 1 AND varIsRead == 1 AND varImpulso == 0) {  
  //c'è l'uscita dell'impulso  
  //cambio stato a varIsRead
```

Il codice completo è disponibile al paragrafo 10.4.

8 La sperimentazione in campo

Il capitolo presenta le esperienze che l'azienda ha realizzato sul campo con gli strumenti di misura. I casi studio riguardano:

- struttura ricettiva: anello di ricircolo → analisi della temperatura e presenza di una stanza con docce e servizi igienici;
- struttura ricettiva: multiNode e multi piano + stanza → analisi delle differenze "a piano" di temperature;
- Struttura poliambulatoriale → ritardo partenza impianto con verifica certa che la temperatura si raggiunge ugualmente;
- struttura ricettiva: locale caldaia → conta-impulsi per pompa di ricircolo (di cui si misura il consumo di energia elettrica) e per due accumuli di cui si misura l'energia termica immessa nell'impianto; conta impulso per consumi di acqua calda sanitaria;

La fase di analisi energetica ha l'obiettivo di fornire al progettista quante più informazioni possibili al fine di progettare un intervento in grado di risparmiare la maggior quota di energia possibile a parità di servizio e con il minor costo possibile.

Per non rischiare di vanificare gli sforzi fatti con gli investimenti in efficienza energetica è essenziale poter controllare in modo permanente e continuo gli impianti per assicurarsi che i processi rispettino le condizioni previste dai progetti.

In questo capitolo sono riportati dei **casi concreti sviluppati in seno al progetto** che mostrano come gli strumenti di misura realizzati (hardware e piattaforma software) abbiano generato informazioni di valore.

8.1 Analisi di temperatura e occupazione

Il comfort è una condizione imprescindibile per una struttura ricettiva. Il caso esposto in questo paragrafo riguarda un locale presente in una struttura turistica in cui sono presenti 3 docce ed un servizio igienico. Oltre ad essere pulita, accogliente e con una temperatura dell'ambiente adeguata alla stagione, **per una doccia è fondamentale che l'acqua calda sanitaria arrivi ai diffusori in poco tempo**. Il disagio di dover aspettare qualche istante è accettabile per le strutture di modesto livello ma anche in questo caso ritardi eccessivi rischiano di far percepire al visitatore una qualità della struttura minore dell'effettiva.

Negli edifici più grandi composti da molte camere, lunghi corridoi, aree business, aree meeting e aree comuni, etc. per massimizzare il rendimento degli impianti di riscaldamento e quindi massimizzare la sostenibilità energetica, **il calore viene generato da impianti centralizzati di grande taglia e stoccato in appositi accumulatori** che lo forniscono alle utenze seguendo nel tempo la "domanda". In questo modo la generazione di energia (offerta) viene disaccoppiata dalla domanda e si possono attivare strategie di risparmio energetico particolarmente interessanti dal punto di vista sia tecnologico (impianti fatti funzionare al regime che assicura un alto rendimento) che

economico-organizzativo (ad esempio, selezione orari di funzionamento ottimizzati in funzione dei costi energetici). Analoga strategia è perseguita per la climatizzazione estiva.

8.1.1 Anello di ricircolo: comfort vs spreco energetico?

Può accadere che la **distanza tra gli accumuli termici ed il luogo in cui è necessario fornire calore** (sia esso un termosifone per il riscaldamento o una doccia) sia notevole. Al fine di garantire che il servizio abbia una certa “prontezza” **l’impianto viene dotato di un anello di ricircolo** ovvero di una serie di tubazioni nelle quali si fa appunto ricircolare continuamente del fluido ad alta temperatura. Questo fa in modo che nei pressi delle utenze vi sia continuamente la disponibilità, qualora ve ne fosse necessità, di fluido ad alta temperatura.

Quando un’utenza, ad esempio una doccia posta a centinaia di metri dal generatore di calore, richiede fluido ad alta temperatura sarà l’anello di ricircolo che passa a poche decine di centimetri a fornirlo: una valvola mette in comunicazione l’anello di ricircolo con l’utenza e la domanda energetica viene soddisfatta pressoché istantaneamente.

Tuttavia l’anello di ricircolo disperde continuamente energia verso l’ambiente, sia quando viene “usato” che quando per molte ore rimane inutilizzato. Installare e gestire uno o più anelli di ricircolo può in alcuni casi generare delle perdite energetiche non trascurabili che se ridotte potrebbero migliorare sia l’impatto ambientale che il conto economico di chi gestisce i servizi energetici. Questo è l’ambito nel quale la sperimentazione descritta in questo paragrafo va ad indagare.

8.1.2 Come funziona

Il trasporto di energia avviene usando delle pompe meccaniche che tramite tubazioni trasportano l’acqua ad alta temperatura dall’accumulo all’utenza. Questo offre lo spunto per alcune riflessioni:

- il tempo necessario affinché l’unità di fluido caldo raggiunga l’utenza può essere elevato; si pensi ad esempio a quando il fluido deve percorrere centinaia di metri;
- il fluido nella tubazione scambia calore con l’esterno causando perdite energetiche. Isolare perfettamente lunghi tratti di tubazione è inoltre piuttosto costoso;
- la pompa per funzionare consuma energia elettrica.

La Fig. 38 mostra schematicamente due soluzioni impiantistiche adottate per trasportare calore dal luogo di produzione e accumulo all’utenza che lo richiede (calore per gli ambienti oppure acqua calda sanitaria).

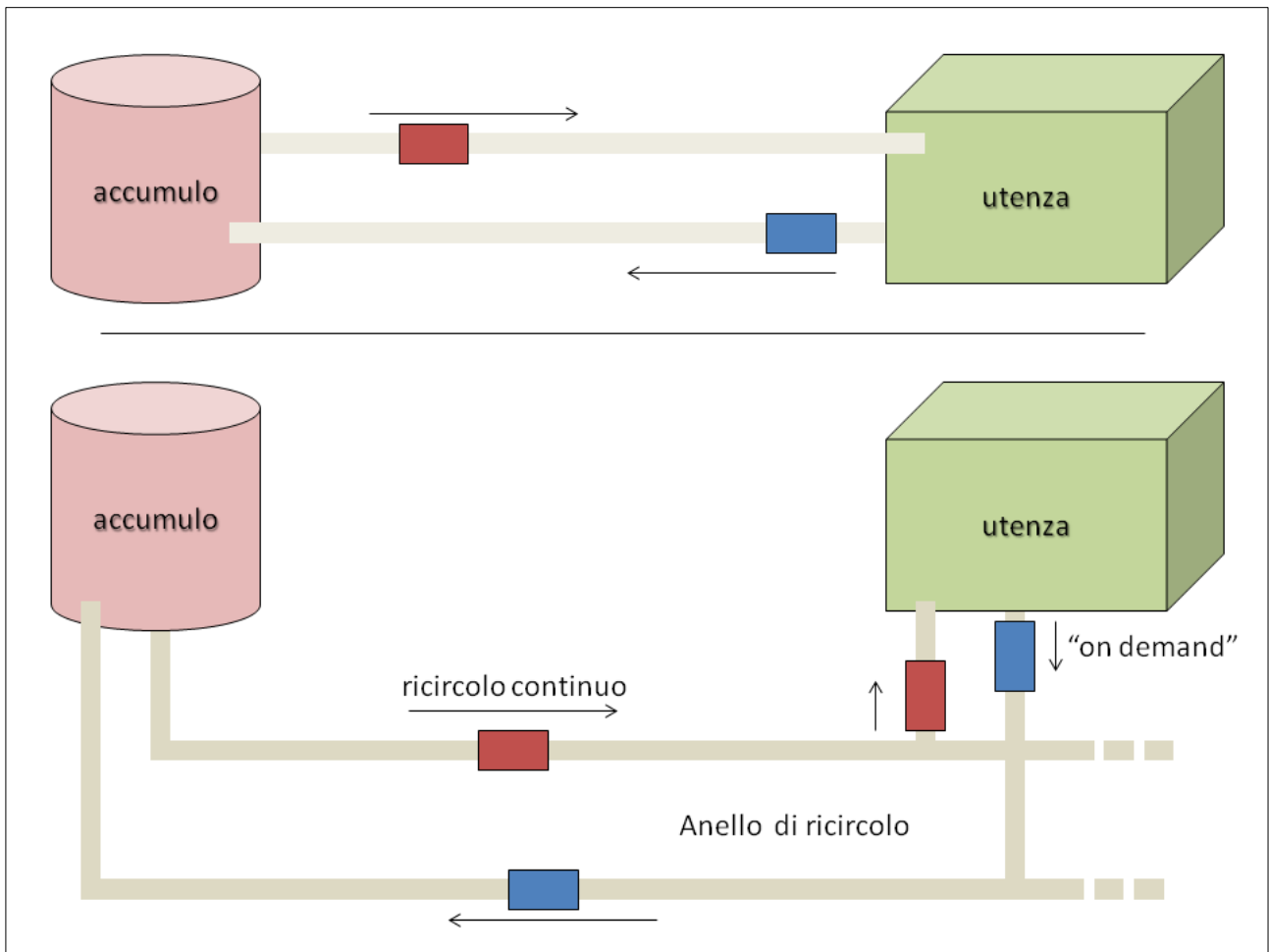


Fig. 38 - Schemi impiantistici con e senza anello di ricircolo.

La prima soluzione è adatta per quelle configurazioni nelle quali l'utenza è "vicina" al luogo di generazione del calore e dell'ACS. Dal momento di apertura di un rubinetto al momento in cui arriva l'acqua calda passa un tempo accettabile che si amplifica al crescere della distanza tra generatore di calore ed utenza.

Nel caso della sperimentazione, ovvero una struttura ricettiva i cui servizi energetici sono in gestiti dall'azienda, **le distanze tra alcuni locali dotati di servizi igienici con docce e la centrale termica sono notevoli** (centinaia di metri). Senza particolari accorgimenti, dall'apertura del rubinetto dell'ACS al momento in cui arriva l'acqua alla giusta temperatura possono trascorrere molti secondi se non minuti: per una struttura turistica questo non è accettabile. È pertanto **presente un anello di ricircolo** che garantisce un buon livello di comfort anche ad utenze poste lontane fisicamente dalla centrale termica.

La soluzione tuttavia comporta la generazione di alcune perdite energetiche. All'interno dell'impianto vi è una serie di tubazioni nelle quali viene fatta scorrere continuamente dell'acqua ad alta temperatura. I consumi energetici riguardano principalmente 2 aspetti:

- energia elettrica: essenzialmente dovuta alle pompe meccaniche che senza soluzione di continuità fanno circolare l'acqua 24 ore al giorno;
- dispersioni termiche: il fluido nelle tubazioni essendo di temperatura maggiore rispetto all'ambiente comporta dispersioni termiche che possono essere particolarmente importanti in caso di tratti di tubazione poco isolati.

Mentre per le strutture di piccole dimensioni composte da poche stanze il mantenimento in temperatura dell'anello non è fonte di grandi perdite di energia, diversamente capita per quegli alberghi, ostelli o residence nei quali il locale caldaia dove viene generata e accumulata l'acqua calda dista anche centinaia di metri dai servizi e dalle docce da servire. In questo caso gli anelli di ricircolo possono essere lunghi diverse centinaia di metri, possono passare per ambienti non protetti, possono essere poco isolati, etc. con dispersioni energetiche sensibili. È compito di una ESCo innovativa ed attenta all'ambiente indagare ogni strategia atta a ridurle.

Queste sono le premesse che hanno portato a pianificare la prima campagna di misura nei quali sono stati concretamente sperimentati i dispositivi di misura sviluppati nel capitolo 6.

La Fig. 39 mostra i momenti dell'installazione degli strumenti nel locale con le 3 docce edil bagno. Questa stanza si trova in uno dei punti più lontani da caldaia ed accumulatori ed è servita da un anello di ricircolo tenuto attivo, quindi ad alta temperatura, 24/7.

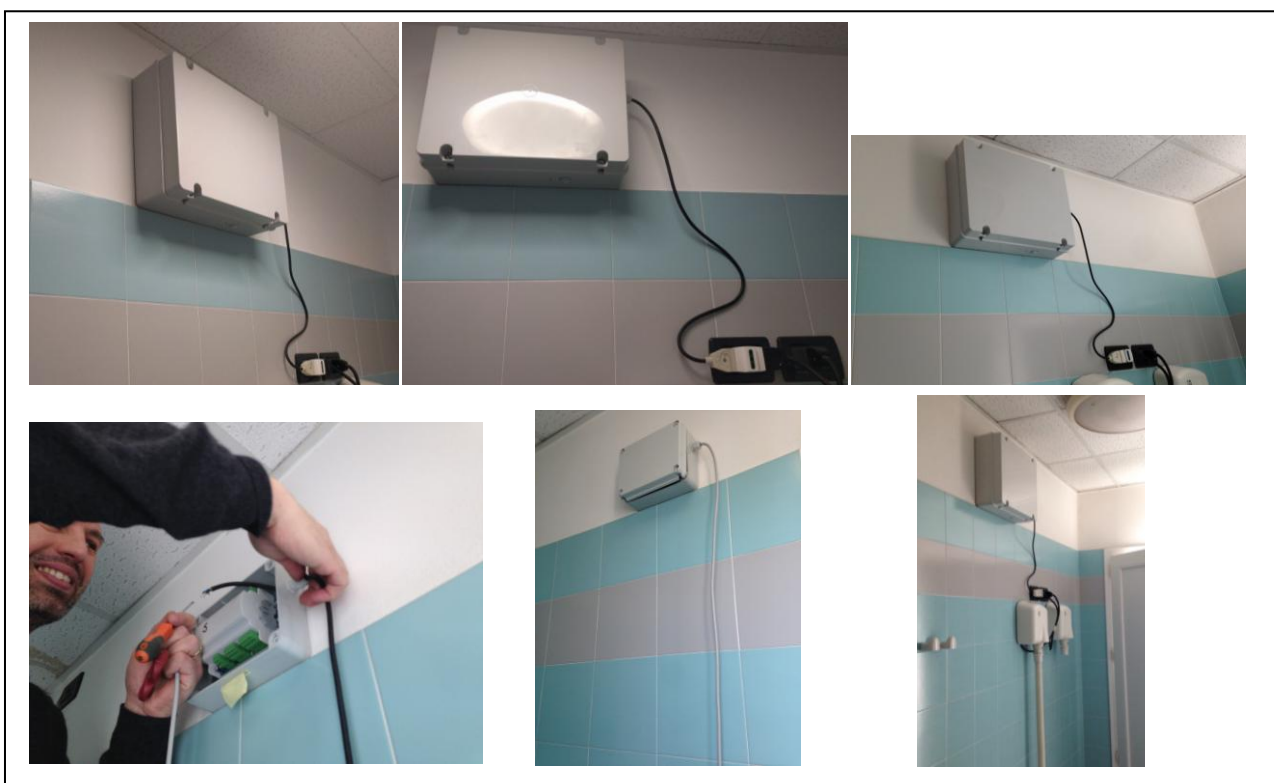


Fig. 39 - Modulo di controllo installato nello spazio comune.

Possiamo **ridurre la spesa energetica causando il minor impatto possibile sul livello di comfort**? Questo è il punto di partenza del ragionamento che ha guidato la sperimentazione e che si può tradurre in questa serie di domande:

- è possibile tenere "fermo" l'anello di ricircolo in precisi momenti della giornata, magari durante la notte, senza causare dis-comfort o con una probabilità di non avere il "servizio ACS pronto" piuttosto limitata?
- intuitivamente durante le ore notturne il locale dovrebbe essere poco utilizzato. Se così fosse si potrebbero ipotizzare dei periodi ben precisi in cui l'anello di ricircolo viene fermato. Possiamo misurare se l'intuizione è valida? Come fornire maggior chiarezza su come viene utilizzato il locale?

Per fornire un supporto alle decisioni dei progettisti energetici è possibile utilizzare i sistemi di misura sviluppati nel progetto.

8.1.3 Come viene utilizzato il locale?

Come **validare con una “evidenza numerica” l’ipotesi che la notte il locale sia scarsamente utilizzato?** L’idea della sperimentazione è la seguente: se l’azienda misura le condizioni di temperatura, umidità e presenza del locale per un periodo di tempo “rilevante” può capire se la strada del “fermo anello” in determinate ore è una strada sensata e percorribile senza compromettere in modo sostanziale il comfort.

La sperimentazione quindi è partita installando nel locale docce + bagno un sistema di misura composto da:

- misura di temperatura nello spazio comune (termistore)
- misura di umidità nel bagno (sensore montato nel dispositivo PLC)
- misura di temperatura nel bagno (sensore montato nel PLC)
- misura di occupazione/presenza nello spazio comune (sensore PIR)

La campagna di misure è iniziata in pieno inverno, il giorno 24 novembre 2017. Il modulo di controllo e la lettura di presenza e temperatura hanno funzionato per mesi senza alcun problema. Purtroppo i dispositivi PLC (versione iniziale) hanno dato smesso di comunicare le loro misure fin da subito (senza compromettere la misura della presenza).

La Fig. 40 mostra il livello di temperatura misurato a circa 3 m di altezza nell’anticamera delle docce. Sull’asse orizzontale è presente il “tempo” mentre sull’asse verticale sinistro la temperatura. Per quanto riguarda la informazione sulla presenza è necessario osservare i punti e le linee arancioni.

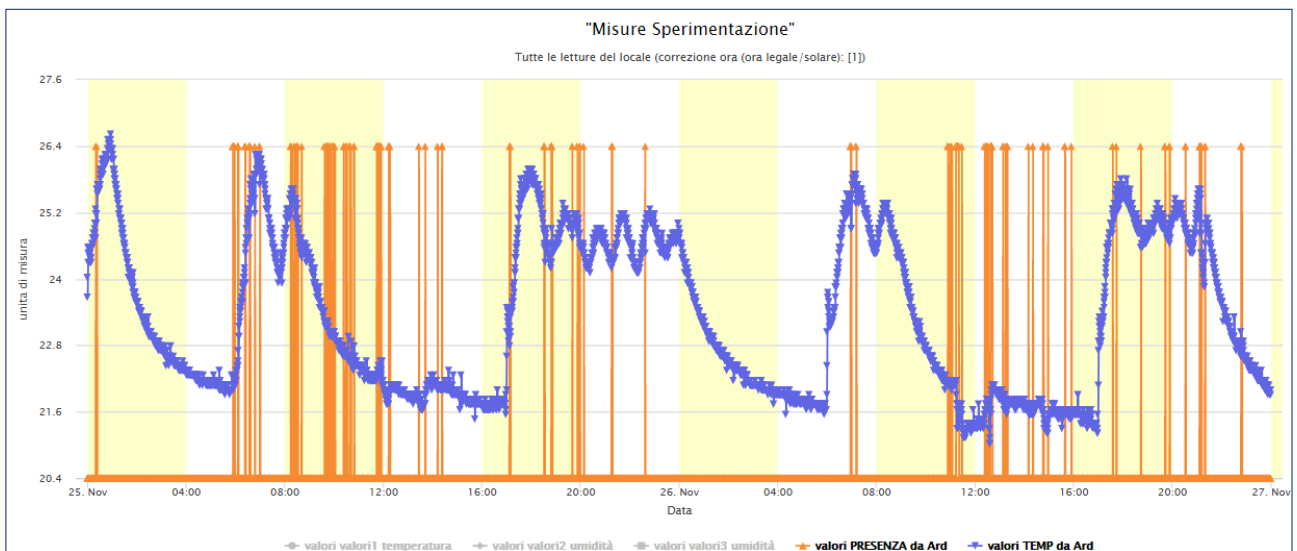


Fig. 40 - Misure di temperatura e presenza presso anticamera docce.

Come si “legge, registra e interpreta” la presenza?

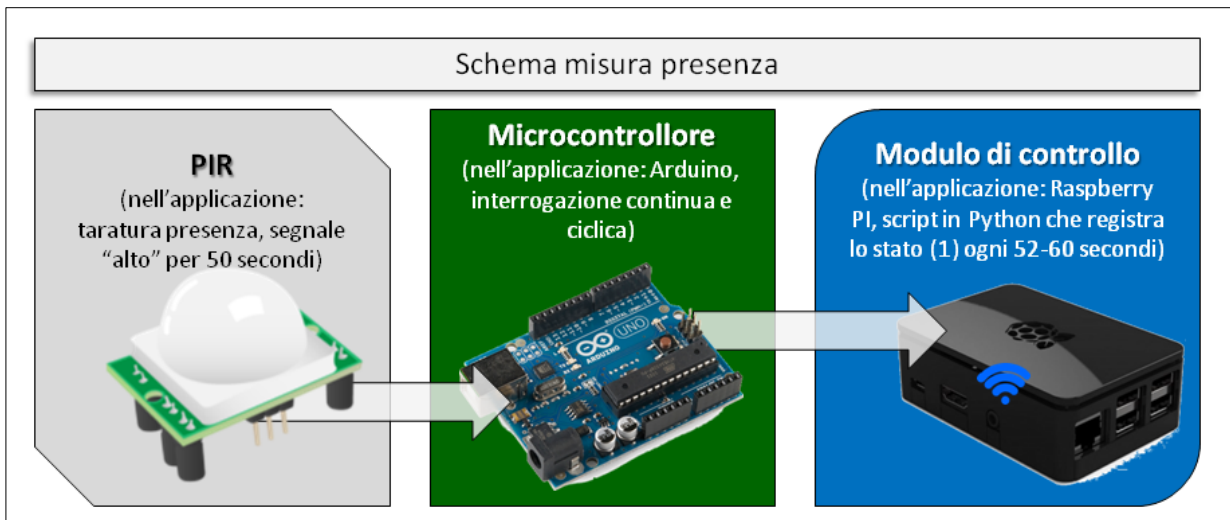


Fig. 41 - Flusso della informazione "presenza" (sperimentazione misura presenza).

Il sensore PIR di presenza quando “nota” una presenza pone mette a “livello alto” uno stato, ovvero un parametro interno al misuratore stesso. Tale parametro è ciclicamente letto da un microcontrollore Arduino-like. La durata per cui questo stato rimane “alto” è regolabile agendo su una vite presente sulla scheda del sensore PIR. Nel caso della sperimentazione la durata per la quale il segnale di presenza “rimane alto” è di circa 50 secondi: significa che nel momento in cui il sensore PIR nota una presenza, esso rimane eccitato per circa 50 secondi.

Il modulo di controllo, ovvero lo script python residente in un Raspberry PI, quando interroga l’Arduino che a sua volta interroga ciclicamente lo stato del PIR, registra uno “0” se l’ultima presenza che ha fatto “scattare” il PIR è avvenuta oltre 50 secondi fa, altrimenti viene registrato un valore “1”. Questa operazione si ripete per un tempo variabile regolabile da software.

8.1.4 Dalla sperimentazione all’informazione

L’idea alla base della sperimentazione è questa: “si riesce a capire quanto effettivamente utilizzato è il locale servizi + docce con un misuratore non invasivo ed economico?”.

La Fig. 42 mostra in un diagramma avente sull’asse delle ascisse il tempo l’andamento della temperatura e la registrazione dei “punti presenza”. Le linee verticali di colore arancio, rappresentano le informazioni relative alla registrazione dello stato “presenza” così come registrato dal sensore PIR installato nei pressi della porta di ingresso del locale.

Dove le linee si presentano con una notevole densità o dove permane lo stato di “alto” significa che il locale è stato utilizzato da una o da più persone in modo continuativo ovvero che il sensore ha registrato presenza per più step di interrogazione. Le zone nelle quali le linee sono meno “concentrate” rappresentano i momenti della giornata in cui il locale è stato utilizzato con minor intensità.

Già visivamente, rappresentando i dati con la web application mySinergia si notano delle “finestre, delle zone vuote” piuttosto ampie che si ripetono con cadenza giornaliera. Entrando nel dettaglio si scopre una certa ripetitività degli orari in cui vi è scarsa presenza (da mezzanotte alle 4 del mattino, come tra l’altro prevedibile anche se non certo poiché si tratta di una struttura turistica).



Fig. 42 - Misura dell'occupazione del locale servizi + docce.

Ne deriva che la raccolta per un lungo periodo di tempo di questo tipo di informazione concorre alla **definizione del reale “tasso di utilizzo” del locale “docce + bagno” durante tutte le 24 ore**, sia durante i giorni feriali che festivi.

Il paragrafo seguente mostra il risultato di un algoritmo che prendendo i dati grezzi generati dai misuratori li elabora e raggruppa presentandoli in un formato capace di fornire ai progettisti informazioni di sicuro interesse.

8.1.5 Analisi “raggruppamento per ore”

Quante volte l’ospite della struttura turistica accede al locale servizi e docce e “come usa il locale”? Sono frequenti le docce in orari notturni?

Grazie ai dati del misuratore la risposta a questa domanda, che non può avere contorni precisi e deterministici, si può sintetizzare in un diagramma come quello di Fig. 43. Essa fornisce indicazioni sull’utilizzo del locale. **Il valore e la valenza delle informazioni fornite dal diagramma si irrobustiscono con il tempo** in quanto più dati raccolgo migliore sarà l’interpretazione della funzione d’uso e avrà un supporto statistico più solido.

La piattaforma “MySinergia” consente di attivare/disattivare le informazioni che si desiderano osservare con un click.

Un algoritmo si occupa di aggregare “per ora del giorno” e “per giorno della settimana” i punti misura composti da temperatura, umidità e presenza.

Quindi per ogni ora del giorno si hanno alcune informazioni. Le più interessanti secondo l’obiettivo della sperimentazione sono:

- Il numero di misurazioni totali per quell’ora: questo valore serve per normalizzare l’analisi in quanto la frequenza di campionamento dello strumento non è uniforme;
- Il numero di misurazioni nelle quali il sensore di presenza ha fatto registrare una presenza, ovvero le volte che durante l’interrogazione il sensore PIR segnava valore “alto”;
- Il loro rapporto: serve per visualizzare il rapporto tra “punti con presenza su punti misura complessivamente registrati” per una determinata ora del giorno;

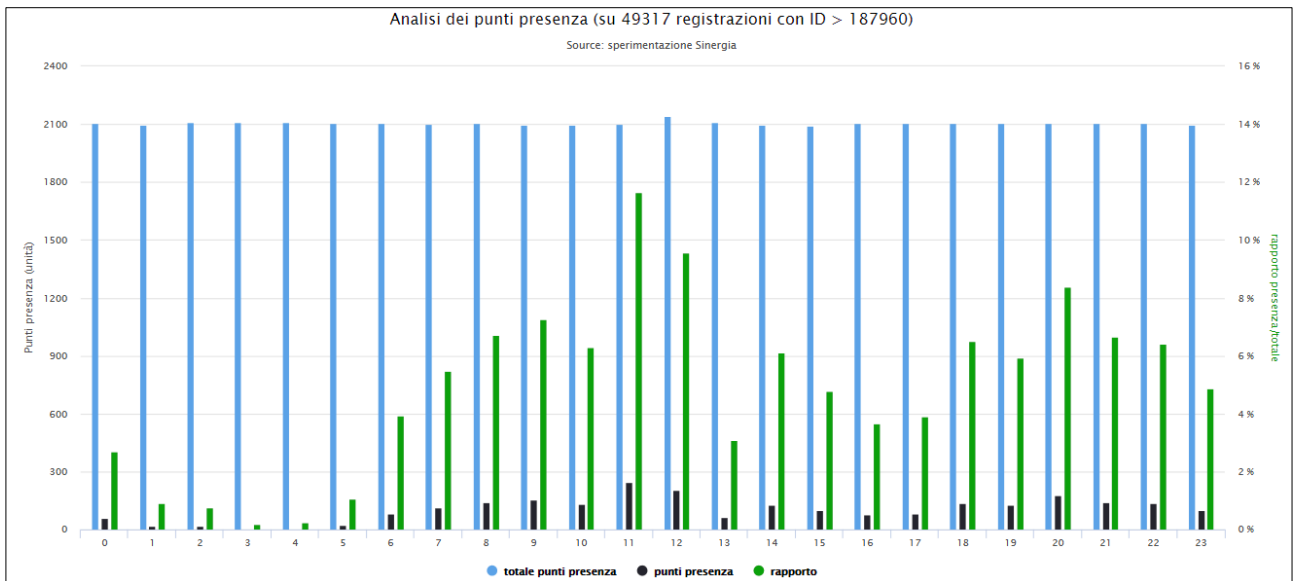


Fig. 43 - Analisi h24 presenze in locali docce.

La figura permette di osservare per ognuna delle 24 ore quante presenze ci sono state nel periodo di riferimento dell'analisi. L'algoritmo permette di targetizzare l'analisi anche per sotto-periodi come per esempio: solamente i lunedì, oppure i fine-settimana, dal giorno – al giorno, dal giorno – al giorno, e così via.

8.1.6 Considerazioni

Le misurazioni hanno portato a capire con chiarezza e con certezza le modalità d'uso del locale docce + bagno. In questi mesi di sperimentazione si è visto che dalle ore 1 alle 4 il locale è poco frequentato. Ipotizzando che il "pattern" di registrazione dell'occupazione in caso di doccia sia composto da una successione di punti presenza (1 quando entra nel locale, 1 mentre si prepara, un ulteriore punto presenza qualche minuto dopo quando esce dalla doccia), nel periodo delle misurazioni non si è misurata alcuna doccia. Ne deriva che in questo periodo sarebbe stato possibile limitare il funzionamento dell'anello di ricircolo, adottando strategie di controllo caratterizzate da un funzionamento intermittente o da un funzionamento pilotato da particolari algoritmi.

La sperimentazione ha fornito una base conoscitiva che ha portato l'azienda a modificare un investimento già previsto in quell'area della struttura.

8.2 Termostato in un piano

Soprattutto per le costruzioni meno recenti, la regolazione degli impianti di riscaldamento è basata su apparati e strategie piuttosto approssimative. Per edifici multi-piano, spesso la scelta di riscaldare o meno un piano dipende dalle temperature **misurate in un unico punto di misura** a volte posto in un piano diverso ed in posizioni poco rappresentative della reale dinamica termica dell'edificio.

Durante il progetto si è avuta la possibilità di testare concretamente un "kit" di strumenti di misura presso una struttura ricettiva che nel breve periodo sarà sottoposta a una modifica del sistema di regolazione.

Si tratta di un edificio di pregio storico datato 1868 recentemente sottoposto a un intervento di efficientamento energetico. Il complesso presenta una zona adibita alla ricezione dei turisti, presenta ampi spazi comuni, più di 20 stanze ed un porticato.

L'edificio si sviluppa in verticale per 3 piani: piano terra, in cui ci sono la reception e gli spazi comuni, piano 1 e piano 2 in cui ci sono le camere e camerate. L'attuale situazione è composta da un termostato posto al piano terra in un vano adiacente ad uno spazio comune, al vano scale, alla zona cucina e sala colazione. Questo termostato è adibito al controllo dell'intero impianto, ovvero comanda l'azionamento del riscaldamento sia per il piano in cui si trova che per gli altri.

La campagna di misura ha visto l'utilizzo dei dispositivi TUPWA descritti nel capitolo 6. Sono stati predisposti 4 misuratori aventi le stesse caratteristiche e gli stessi sensori di temperatura e umidità.

Il primo (denominato MN1) è stato posizionato nelle immediate vicinanze del termostato che regola l'impianto di riscaldamento. Un secondo dispositivo (MN2) è stato posto al piano 2 nei pressi del locale bagni (docce e servizi igienici). Un terzo TUPWA (MN3) è stato posto nella camera di un inserviente della struttura ricettiva.

Il quarto dispositivo (MN4) è stato posizionato al piano terra, fisicamente a pochi metri dal dispositivo MN1 ma in una stanza frequentata, ampia, usata inoltre come "sala colazione" ogni mattina.

La campagna di misura ha avuto come obiettivo da un lato quello di testare su medio periodo l'affidabilità degli strumenti, dall'altro quello di raccogliere i dati dei reali profili di temperatura dei 3 piani. La campagna è stata di supporto per un investimento già previsto dall'azienda, un progetto che desidera rendere indipendente la gestione della climatizzazione dei 3 piani. L'intervento prevede l'installazione di un termostato per ogni piano con la possibilità di modificare i profili di riscaldamento localmente in modo indipendente uno dall'altro.

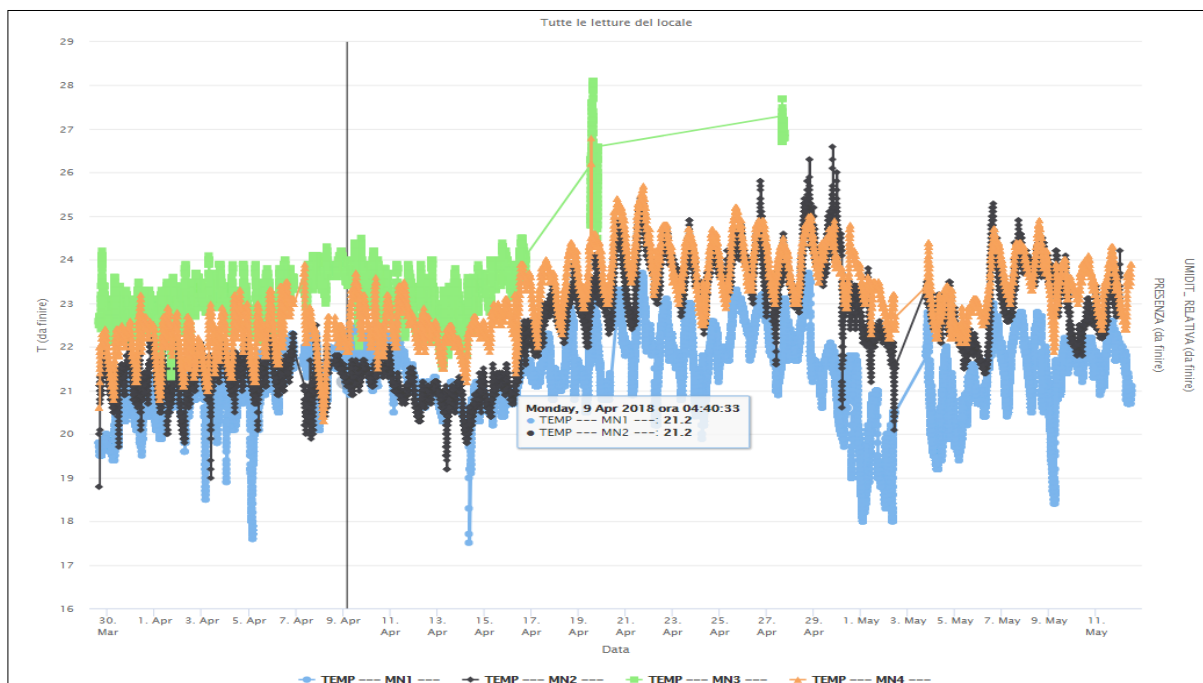


Fig. 44 - Tracciato delle misure di temperatura dei 4 TUPWA installati (29 marzo - 12 maggio 2018).

La Fig. 44 mostra la rappresentazione dei dati come proposta dalla piattaforma *MySinergia* per un periodo di misura di diverse settimane. Si nota chiaramente come il termostato (MN1), posto in un

vano piuttosto riparato nel quale c'è poco movimento d'aria sia inadatto per garantire una gestione efficiente dell'impianto per tutto l'edificio. Le differenze di temperatura sono sostanziali.

“Zoomando” la rappresentazione per una finestra temporale con un orizzonte di qualche decina di ore (Fig. 45), all'esperto energetico salta subito all'occhio che la regolazione della temperatura così come impostata attualmente non è efficiente.

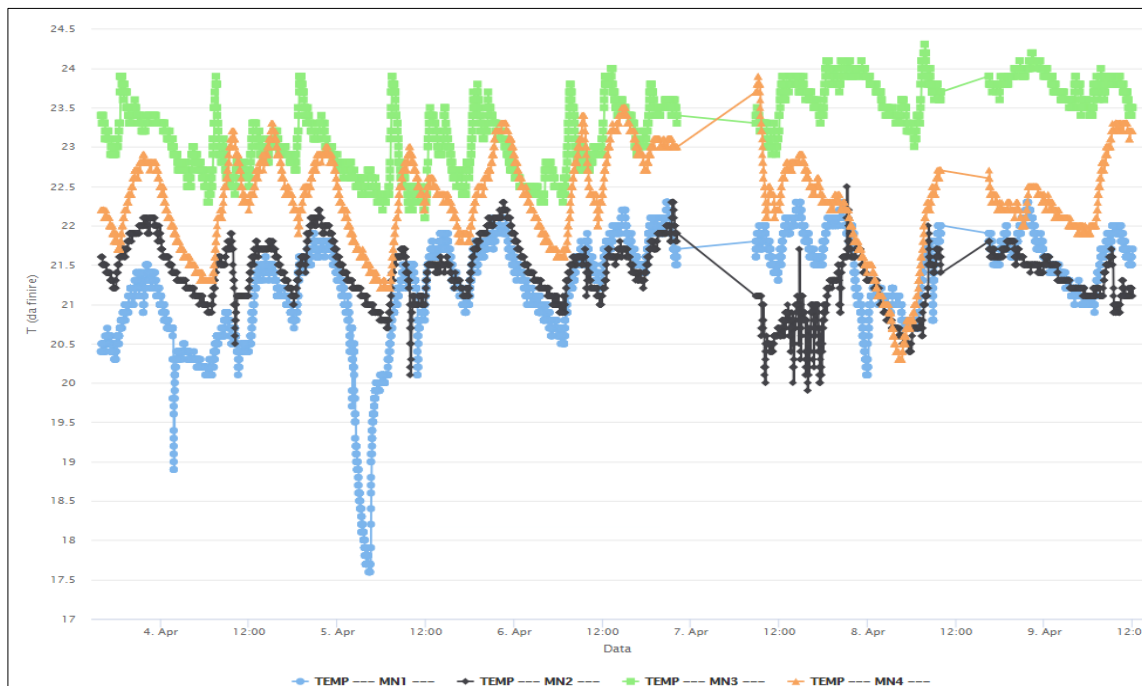


Fig. 45 – Differenza tra la temperatura del vano termostato (azzurra) e quella di una stanza (verde)

Emerge chiaramente come vi sia una marcata differenza tra la linea che rappresenta le temperature misurate nel vano termostato e quella di una delle stanze degli ospiti, differenza che in certi periodi può toccare i 3,5 – 4 gradi centigradi.

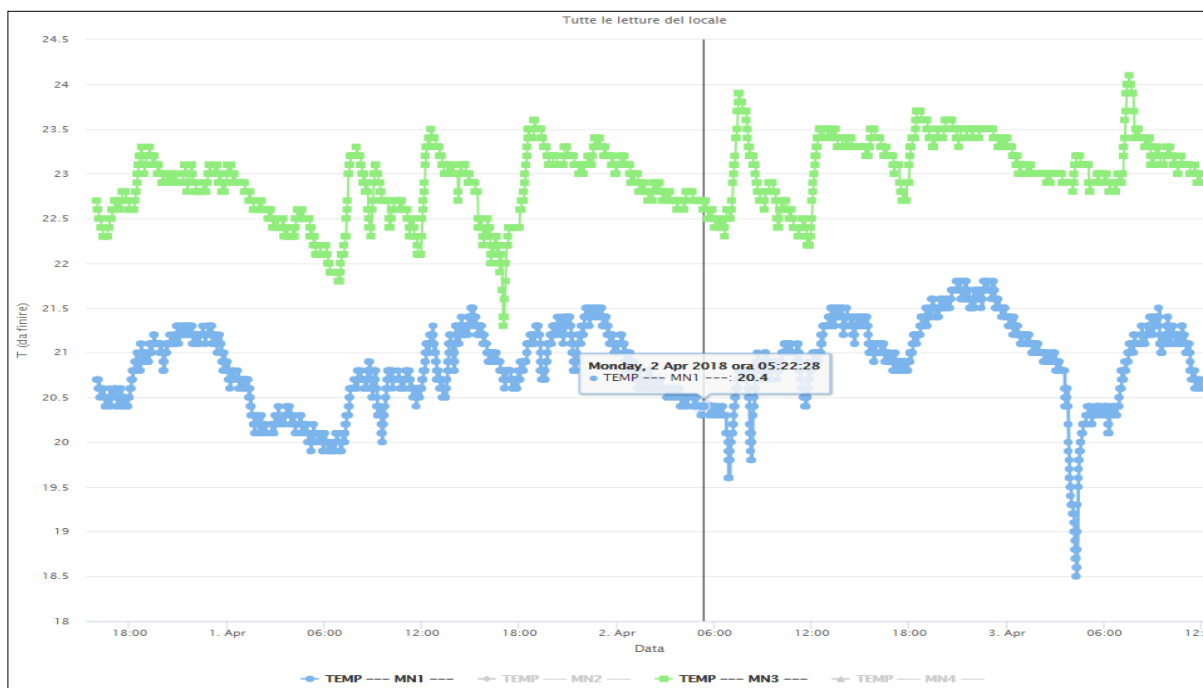


Fig. 46 - Zoom differenza temperatura vano termostato e camera al secondo piano.

Vi sono altri aspetti che la campagna di misura ha evidenziato (Fig. 46). Una differente “inerzia”: le curve del termostato sono più “lente e dolci” mentre quelle della piccola stanza del secondo piano sono più “ripide e con più variazioni”. Si vede anche che eventi che accadono nella zona termostato (esempio pulizie mattino del 3 aprile) potrebbero, se di durata prolungata, causare effetti che si ripercuotono su tutto l’edificio.

8.3 Modifica gestione riscaldamento / raffrescamento

Un test concreto degli strumenti assemblati da componenti open-source è stato eseguito in una struttura civile composta da una serie di ambulatori medici e clinici nei quali dal lunedì al venerdì vengono effettuate visite mediche di controllo, terapie e piccole operazioni chirurgiche. La struttura poliambulatoriale opera generalmente dalle ore 9 alle ore 18 mentre durante la notte e durante i finesettimana e festivi non viene utilizzato.

La temperatura dei locali deve essere mantenuta ad una temperatura adeguata alla funzione d’uso che, poiché si tratta di ambulatori medici, prevede che i pazienti si possano spogliare per le visite mediche. È necessario pertanto garantire con certezza condizioni di comfort ideali per lo meno durante le ore centrali del giorno mentre durante la notte non vi sono requisiti particolari.

L’azienda ha gestito un intervento di efficienza energetica che ha visto oltre che al miglioramento delle prestazioni energetiche dell’involucro anche la sostituzione e gestione degli impianti di riscaldamento e climatizzazione estiva.

La sperimentazione riguarda la stagione invernale. La strategia inizialmente utilizzata prevedeva di **accendere gli impianti di riscaldamento con un largo anticipo rispetto l’orario di apertura al pubblico** in modo tale da garantire che ogni stanza sia accogliente fin dalla prima visita ambulatoriale della giornata.

Questa strategia rischia di essere “non-ottimizzata”: c’è la probabilità **che la stanza venga riscaldata più del necessario**. Gli strumenti e l’approccio sviluppato durante il progetto di ricerca possono venire incontro a questa esigenza? La risposta è positiva e di seguito viene descritto come sia stato possibile attivare un risparmio energetico a seguito di una “agile e veloce” campagna di misura.

8.3.1 Dalla campagna di misura alla regolazione

Vien naturale pensare che al fine di risparmiare energia lo spegnimento degli impianti di climatizzazione (riscaldamento in inverno e raffrescamento in estate) sia una delle soluzioni più immediate ed efficaci. Ma è altrettanto immediato capire che quando gli impianti sono fermi viene a mancare il loro “effetto utile” (riscaldamento, raffrescamento, acqua calda, etc.). Inoltre quando sono ri-accesi **il raggiungimento delle condizioni di servizio ottimali non è immediato**: ci sono delle inerzie del sistema energetico (impianto + edificio) che vanno tenute in considerazione.

Entrando nel merito della sperimentazione, vi sono delle esigenze particolari soprattutto nelle prime ore del mattino. Già dalle ore 8 (o 9 per alcuni ambulatori), le stanze devono essere già perfettamente alla temperatura necessaria a garantire il perfetto comfort del paziente.

Considerando l’inerzia del sistema impianto-edificio per soddisfare il requisito la prima scelta del progettista è quella di impostare l’accensione dell’impianto con un largo anticipo rispetto al momento in cui iniziano le visite. Questo è il contesto di partenza nel quale sono stati sperimentati i dispositivi sviluppati secondo quanto descritto nel capitolo 6.

I dispositivi “sviluppati in casa” accoppiati alla piattaforma MySinergia hanno avuto il vantaggio di **poter misurare i “tempi di reazione dell’edificio e delle stanze”** ovvero di aver potuto conoscere il comportamento energetico ambulatorio per ambulatorio, in modo pressoché immediato, e con strumenti economici e flessibili. I dati che si sono ricavati già dopo pochi giorni hanno fornito importanti informazioni per tarare i settaggi degli impianti in modo estremamente preciso e “custom”.

8.3.2 La situazione di partenza

I valori riportati in questo paragrafo si riferiscono ad una sperimentazione effettuata in un edificio del settore terziario. Recentemente l’azienda ha fatto un investimento di efficienza energetica su una struttura poliambulatoriale. Durante la prima stagione termica post-intervento le informazioni storiche sul funzionamento e sulla risposta del sistema impianti-edificio non sono disponibili.

Pertanto, per essere certi di garantire la giusta temperatura delle stanze degli ambulatori fin dalla prima visita medica, cautelativamente l’impianto di riscaldamento era stato impostato per azionarsi con un certo anticipo (già dalle ore 3 a.m.).

Le campagne di misura pre-regolazione – La prima campagna di misura (nel portale mySinergia avente etichetta SET_741452) è partita il giorno lunedì 19 febbraio 2018 ed è terminata il lunedì successivo 26 febbraio 2018.

In questa fase un misuratore TUPWA (vedi paragrafo 6.2) è stato posto in uno degli ambulatori che ospitano le visite mediche.

Il misuratore ha eseguito per un lungo periodo di tempo, ininterrottamente, una misura ogni 50 secondi consentendo da remoto di controllare in tempo reale le temperature della stanza. Grazie alle decine di migliaia di misurazioni è stato possibile tracciare curve sull’andamento della temperatura piuttosto dettagliate.

La figura Fig. 47 mostra l’andamento della temperatura di una stanza nella situazione che si può chiamare “pre-intervento di regolazione”. La figura mostra i dati delle medie orarie.

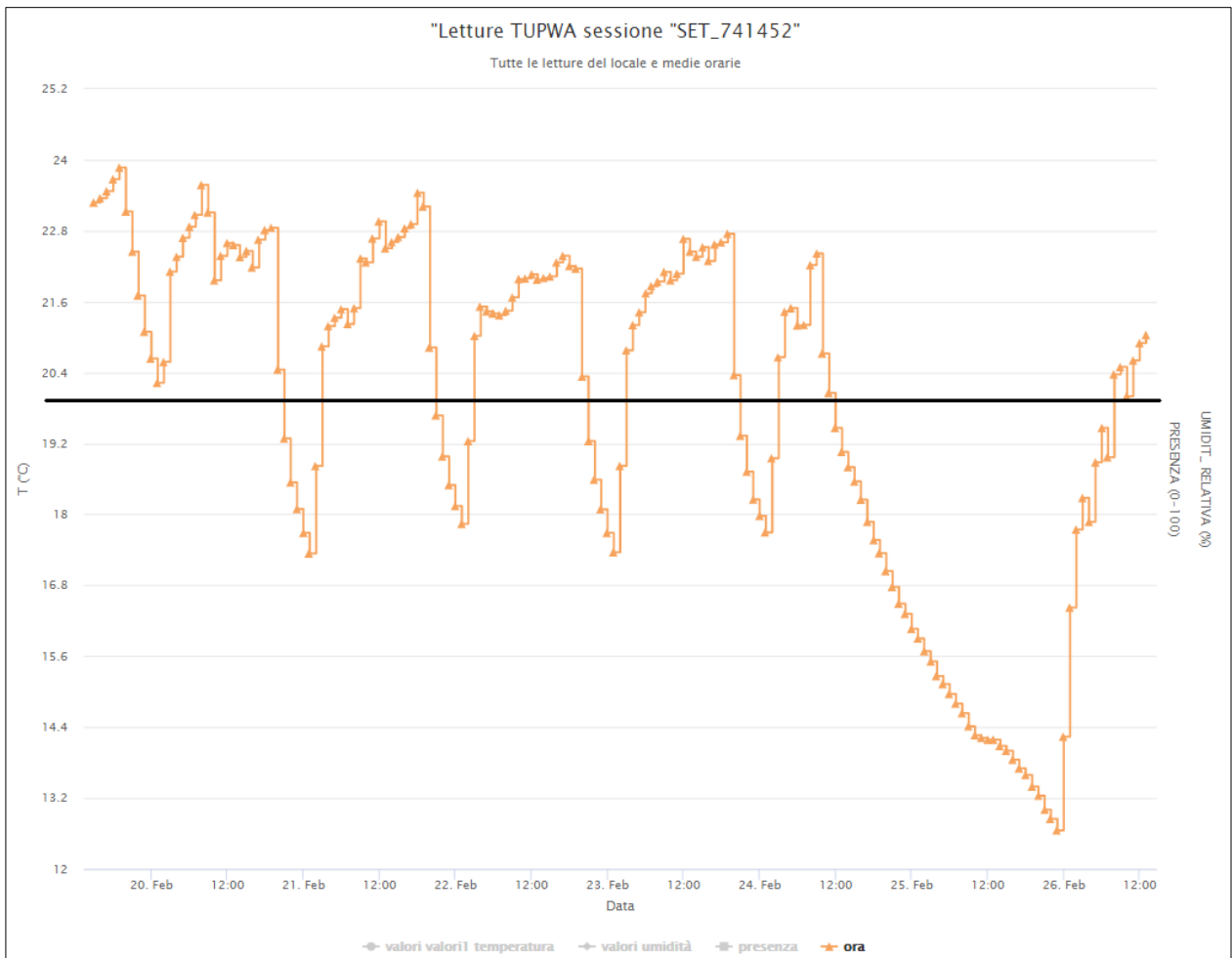


Fig. 47 - Temperatura media oraria di una delle stanze della struttura poli-ambulatoriale.

Sostanzialmente il comportamento dell'edificio presenta dei pattern di temperatura che si ripetono dal lunedì al venerdì composti da queste fasi.

- durante le ore centrali della giornata le stanze sono utilizzate e la temperatura si mantiene entro una forchetta di "comfort".
- dopo le ore 18 circa, l'impianto viene spento e si nota chiaramente come le temperature scendano piuttosto velocemente.
- la regolazione degli impianti prevedeva che il riscaldamento ri-partisse tra le ore 01 e 02 a.m. facendo modo così che la stanza molte volte superasse i 22 °C in molti casi già alle ore 03 a.m. Questo comporta una di spreco energetico in quanto fino alle ore 8 la stanza è sicuramente non utilizzata, talvolta fino alle ore 9 a.m.

Tenere "pronta" la stanza già dalle ore notturne è uno spreco energetico: questo è la prima osservazione che emerge dall'analisi delle misure. La seconda informazione di valore riguarda la "velocità" con cui la stanza varia la propria temperatura. Si è potuto osservare la velocità con cui la temperatura scende una volta spento il riscaldamento. Più interessante per l'obiettivo di una ESCo, risulta essere l'analisi della velocità con cui la temperatura torna a crescere ed il valore a cui essa tende.

Azione intrapresa: diversa regolazione degli impianti - L'azione di intervento proposta è stata a "costo zero" ed ha riguardato esclusivamente la **regolazione e la gestione dell'impianto**: l'accensione è stata ritardata di un paio d'ore.

Dovendo garantire un adeguato comfort dell'edificio la domanda che l'azienda si è posta subito dopo aver modificato la regolazione è stata la seguente: "la modifica della programmazione delle accensioni ha un impatto negativo sul comfort delle stanze? Si è introdotto il rischio di avere una stanza fredda e poco accogliente durante le visite del mattino?".

Grazie agli strumenti di misura si è visto che il "rischio dis-comfort" non si presenta. Con riferimento alla Fig. 48 si vede che anche posticipando la messa in funzione dell'impianto, alle ore 08 a.m. le temperature misurate sono sempre vicine ai 22 °C più che sufficienti per garantire il perfetto comfort agli ambulatori.

Graficamente, quello che si è modificato è il tempo di permanenza della stanza a temperature inferiori ai 20 °C, le aree del grafico che stanno sotto la linea dei 20 °C sono maggiori.

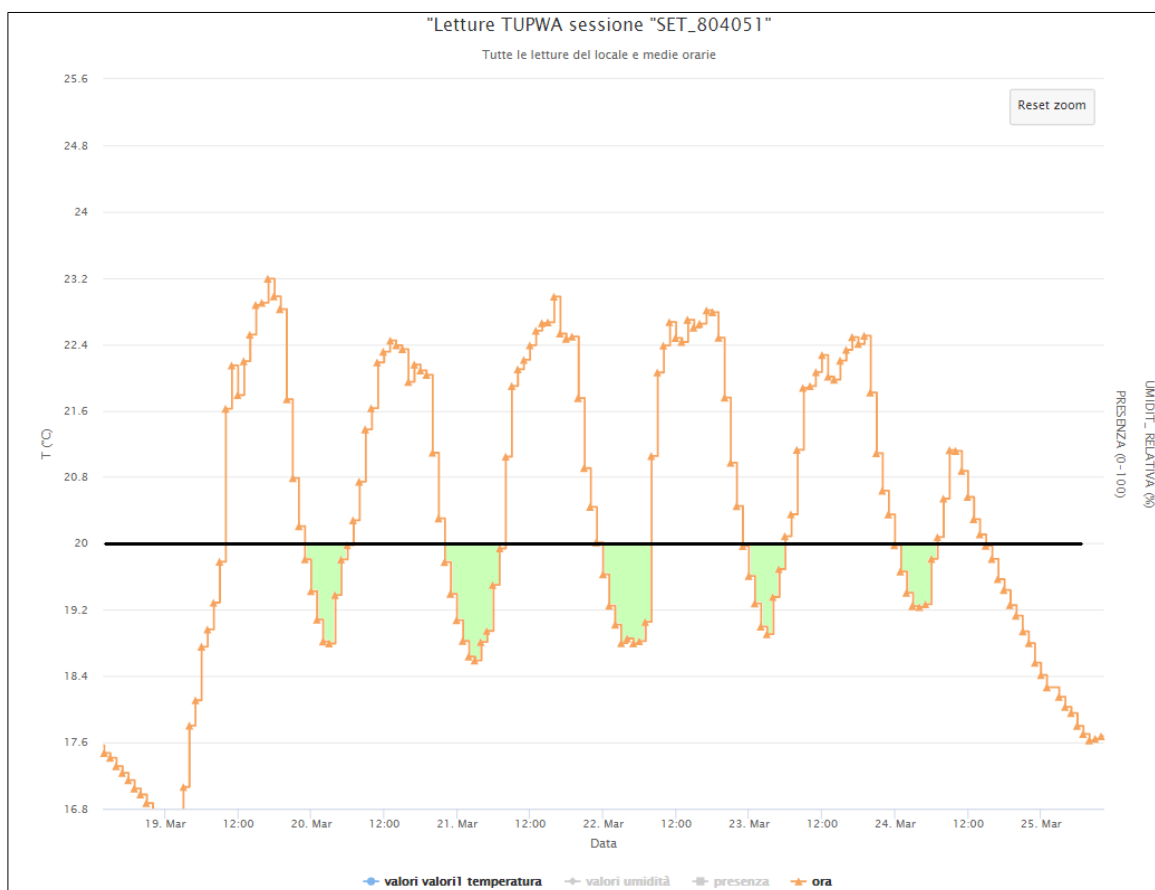


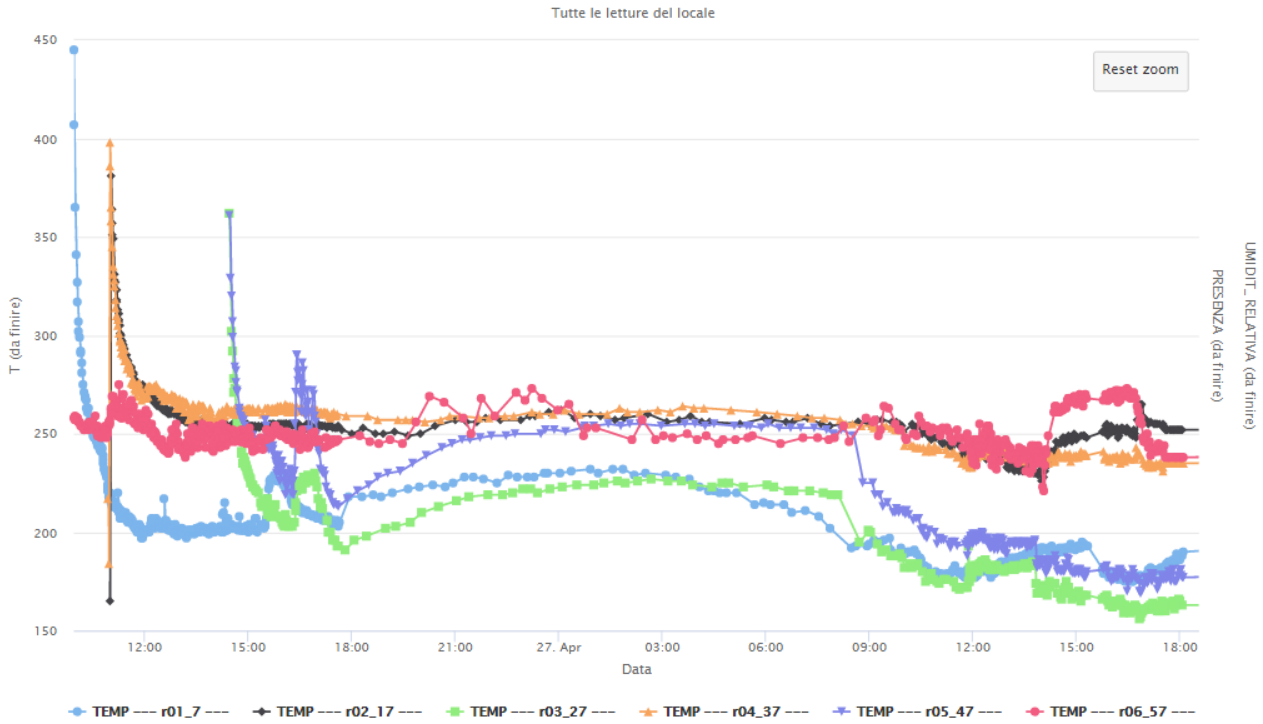
Fig. 48 - Andamento temperature nel periodo post-intervento.

Il **monitoraggio delle temperature** e quindi la verifica che non si presentino mai situazioni di dis-comfort è proseguito fino ad aprile inoltrato. Sono state implementate delle logiche di controllo che in caso la temperatura media registrata alle ore 08 a.m. non avesse raggiunto un certo livello sarebbero partite delle email di "avviso" verso chi si occupa di gestire l'impianto. Tale evenienza non si è mai verificata.

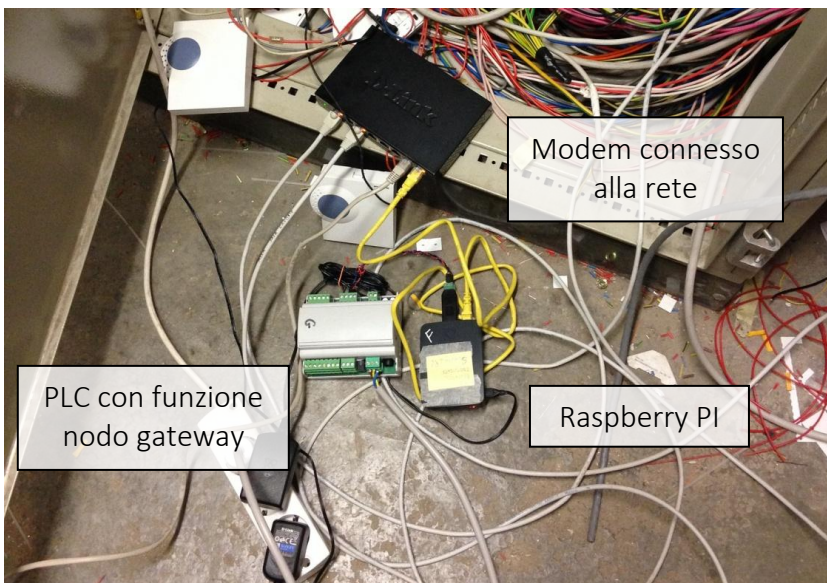
In prospettiva: grazie all'economicità degli strumenti di misura sviluppati nel progetto è possibile abilitare la raccolta ed archiviazione dei dati lungo un arco temporale molto ampio (per esempio un anno), metterli a confronto con altri parametri (ad esempio la reale occupazione dell'ambulatorio, la situazione meteorologica, etc.) e, valutandone i costi/benefici, predisporre regolazioni specifiche per ogni mese dell'anno sia in termini di orari che di set-point delle temperature.

8.4 Test in campo dei nodi PLC (ufficio)

Un primo test dei nodi-dispositivi PLC si è svolto presso gli uffici dell'azienda. Il test è avvenuto senza applicare al circuito elettrico alcun alimentatore elettronico per evitare che la comunicazione si “congelasse” come visto nel paragrafo 5.5.



8.5 Test in campo dei nodi PLC (locale caldaia)



Dopo le prove di comunicazione svolte presso gli uffici dell'azienda a Vicenza si è voluto fare una sperimentazione installando i dispositivi in un locale caldaia di una struttura ricettiva in provincia di Vicenza.

Uno dei dispositivi è stato configurato con la funzione di gateway. Esso è stato collegato ad un Raspberry PI mediante un convertitore “porta RS285 – USB”. Il Raspberry PI era dotato di scheda wi-fi e connesso alla rete.

Gli altri 5 nodi sono stati configurati con la modalità “slave” e sono stati disposti in diverse stanze:

- una sala riunioni molto ampia con un'ampia vetrata, la più lontana dal gateway dal punto di vista della rete elettrica;
- l'ufficio principale in cui è stato posizionato il nodo con le funzioni di gateway;
- in un ufficio secondario.

Si è voluto testare la comunicazione dei dati generati presso i nodi slave dotati di un sensore di temperatura e umidità.

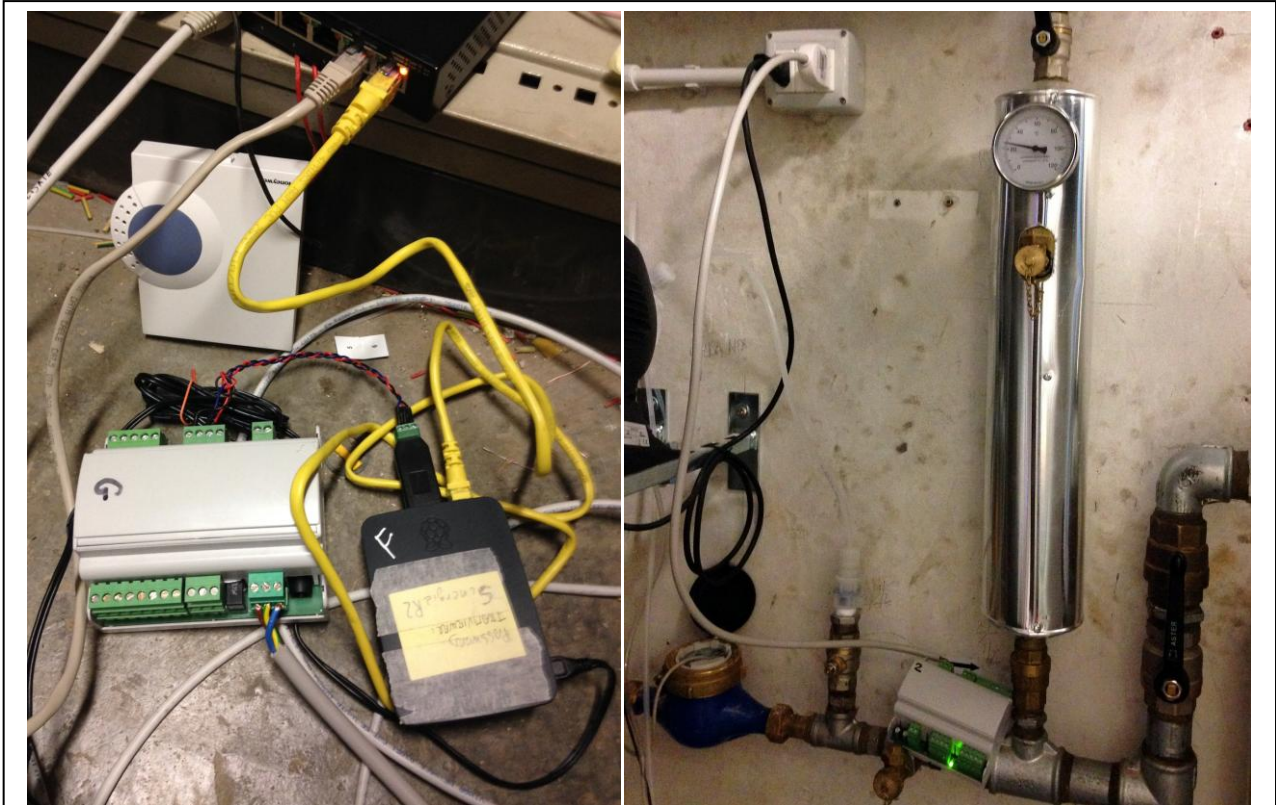


Fig. 49 - Sperimentazione PLC nel locale caldaia.

La configurazione ha visto:

- l'utilizzo di un nodo con funzione di "gateway" connesso a un Raspberry. Il Raspberry corredato da uno script Python interroga il gateway raccogliendo le misure di tutti i nodi connessi alla rete elettrica posti in modalità "slave";

Non si è approfondito la sperimentazione in campo per via del problema del congelamento delle misure come visto nel paragrafo 5.8.

8.6 Remotizzazione conta impulsi

La foto Fig. 50 mostra il momento in cui i moduli di remotizzazione delle misure impulsive vengono ri-programmate con i dati della connessione wi-fi presente nel "locale caldaia".

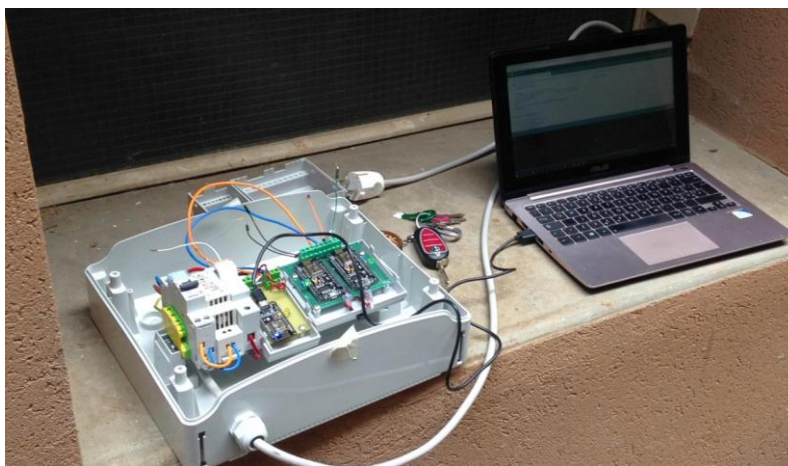


Fig. 50 - Riprogrammazione moduli "strumento remotizzazione impulsi".

La Fig. 50 remotizzazione degli impulsi consente di avere una informazione granulare sulla potenza con cui un macchinario di un impianto funziona. Nell'esempio di figura Fig. 51 è riportato il funzionamento di una pompa centrifuga a servizio di una pompa di calore.

La figura mostra come i dati relativi agli impulsi sono stati archiviati in un web server remoto. I punti neri segnano gli impulsi. Si nota chiaramente il

funzionamento a potenza circa costante per alcune ore della giornata seguito da dei momenti in cui le macchine non richiedono energia.

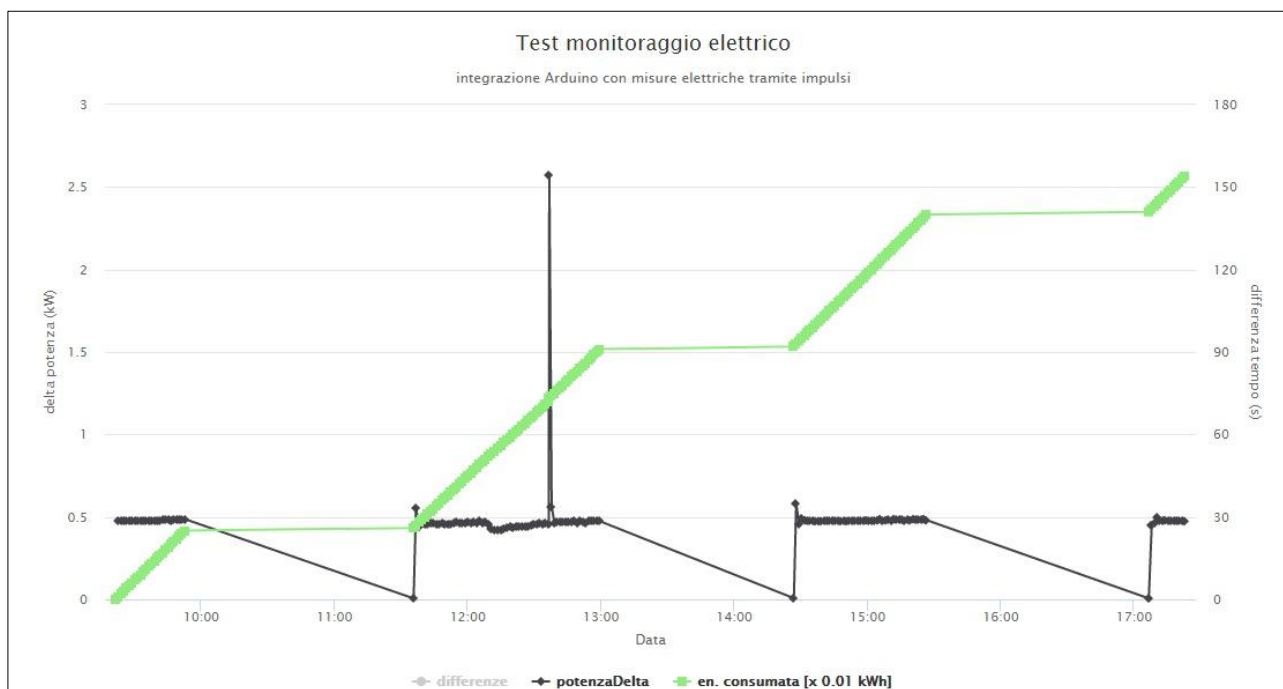


Fig. 51 - Visualizzazione degli impulsi di un contatore energia elettrica applicato a una pompa di calore.

8.6.1 Informazioni sul reale utilizzo degli accumuli

I moduli dello strumento "remotizzatore" erano collegati ad un contatore di energia elettrica che misura il consumo elettrico di una pompa centrifuga connessa ad una pompa di calore.

Altri 2 moduli remotizzatori sono stati connessi ai contatori di energia termica che sono richiesti ai 2 accumulatori di energia termica presenti in centrale termica. La remotizzazione degli impulsi di questi 2 ultimi contatori ha fornito le informazioni più interessanti, si tratta infatti dell'energia che viene fornita per tenere alla giusta temperatura i 2 accumuli di acqua calda sanitaria. Per come è stato configurato l'impianto, senza poter scendere nei dettagli tecnici, le misure hanno fornito ai progettisti indicazioni su come l'edificio utilizza l'acqua calda sanitaria.

Zoommando su una delle serie di “impulsi” si ricavano le informazioni di Fig. 52.

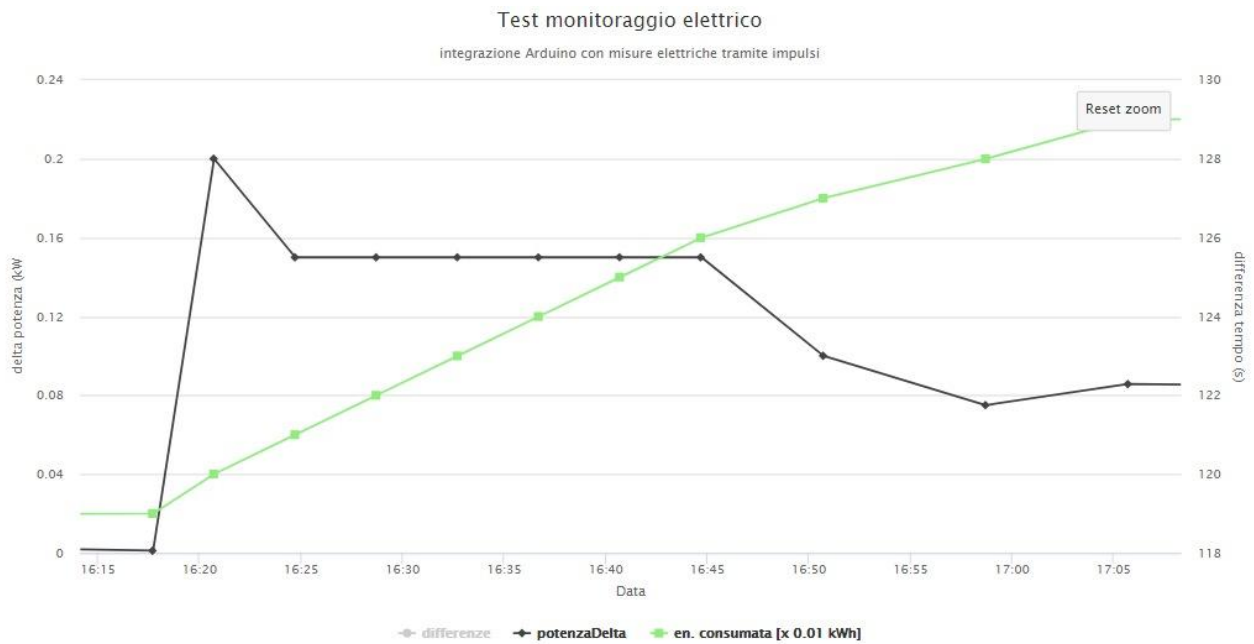


Fig. 52 - Zoom su grafico impulsi per la sperimentazione su accumuli termici.

L’analisi può essere approfondita andando ad osservare quanti impulsi vi sono per ora (dalle 0 alle 24) oppure per giorno (ad esempio nei lunedì, oppure nei fine settimana) comparando le informazioni. La figura Fig. 53 mostra un esempio delle analisi di distribuzione per ora degli impulsi registrati.

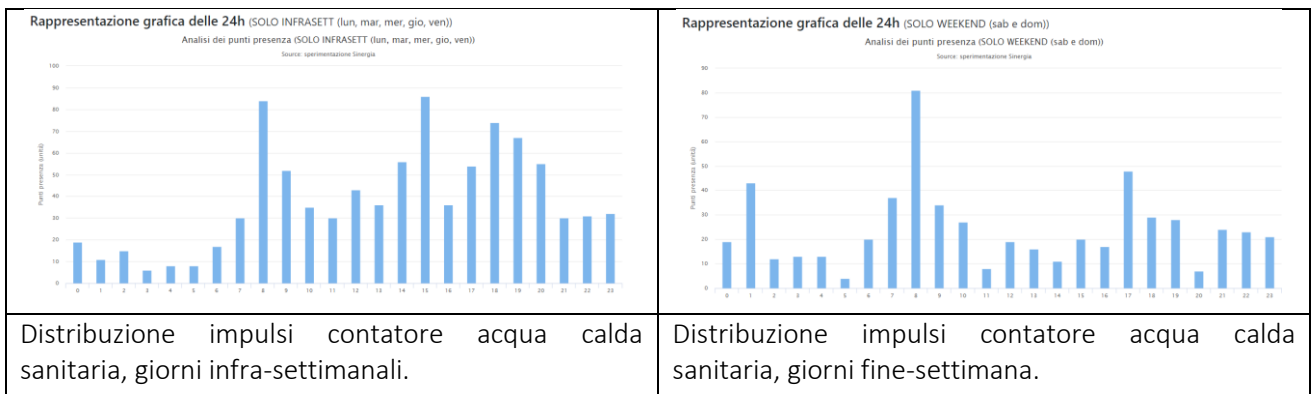


Fig. 53 - Distribuzione impulsi contatore acqua calda sanitaria (1 mese di misure, periodo estivo).

9 Considerazioni

L'economia sta cambiando: internet, sensori, dispositivi interconnessi, device tecnologici, l'incombente 5G generano una enorme quantità di dati, quantità destinata a crescere e che sta rivoluzionando le regole del gioco anche in un settore tradizionale come quello termotecnico ed energetico. **I dati stanno diventando una piattaforma con la quale e soprattutto, sulla quale, ogni business deve porre le proprie radici.** Stanno diventando l'aspetto chiave per dare competitività alle aziende.

Tuttavia l'approccio data-driven ed i suoi vantaggi non si acquisiscono e non si sfruttano appieno acquistando semplicemente un prodotto informatico o frequentando un corso di formazione: si tratta di una rivoluzione soprattutto culturale che investe tutte le unità organizzative di un'azienda. Un approccio digitale pervasivo ed invasivo all'interno dei processi aziendali non è più una strada appannaggio esclusivo delle grandi imprese ma, grazie a costi sempre più ridotti, cultura sempre più diffusa, diventa percorribile anche dalle piccole aziende. La capacità di raccogliere, analizzare e restituire i dati è uno degli aspetti centrali di questo approccio ed è stato il germe che ha guidato lo sviluppo di questo progetto di ricerca.

I dati consentono di migliorare la progettazione e le tecniche di monitoraggio – Questo è quanto emerge dal progetto di ricerca il quale, per la natura stessa dell'azienda promotore si è concentrato sui dati di natura energetico – ambientale.

Strumenti fatti "quasi su misura" per ogni applicazione, non invasivi, flessibili e scalabili, dotati di grande versatilità, generando grandi quantità di dati hanno permesso di all'azienda di abbracciare la rivoluzione in corso facendo un primo passo in avanti verso i processi tipici della "data-driven" economy.

Quanto sviluppato e realizzato durante il progetto consente una raccolta costante e continua di misure riguardanti i parametri che più influiscono sui consumi e sulle prestazioni energetiche di un edificio.

L'esperto energetico diventa (anche) un *energy-data analyst* - La capacità di accedere direttamente ai dati originali e "grezzi", che non sono stati manipolati da alcun software "di terze parti" mette a disposizione dell'esperto energetico una quantità **ed una qualità** di informazioni potenzialmente molto alta. Si sottolinea il "potenzialmente" poiché l'estrazione di informazioni di qualità partendo dai dati grezzi non è un processo standard, lineare ed immediato ma richiede una notevole competenza, fantasia e un lungo lavoro di scambio di opinioni tra gli sviluppatori del sistema di misura (hardware e software) e l'esperto energetico.

Teoricamente poter disporre dei dati grezzi permette di analizzare i processi con un dettaglio altrimenti non raggiungibile con i tradizionali sistemi commerciali. Ma **il rischio di creare "cattedrali nel deserto" è sempre alle porte.** Lo sviluppatore software deve operare in sinergia con l'esperto energetico fin dalle prime fasi dello sviluppo al fine di evitare la creazione di algoritmi, dashboard, grafici, tabelle, etc. che pur essendo tecnicamente e scientificamente validi, si rivelano di nessun concreto supporto. All'interno del progetto lo sviluppo dei dispositivi di misura e della piattaforma software di archiviazione e visualizzazione dati fin da subito è stato guidato dall'obiettivo finale: dare concreto supporto ai progettisti energetici.

La “cultura del dato” in azienda – Le soluzioni commerciali, forti dell’esperienza accumulata, solitamente propongono strumenti e software (dashboard online solitamente) che incontrano le esigenze più diffuse nel mercato ma che senza pesanti modifiche, raramente centrano in pieno quello che un’azienda sta cercando.

Ad esempio, alcune soluzioni commerciali per ottimizzare la trasmissione dei dati attuano una “aggregazione locale” delle misurazioni ed archiviano solamente una loro sintesi (ad esempio la media aritmetica delle misure fatte in 15 minuti) con il risultato che nel database viene archiviata una informazione già aggregata (perdendo per sempre le informazioni “interne” all’intervallo). Altre volte i prodotti commerciali non consentono di modificare l’intervallo di tempo tra una misura e la successiva, sono complicati da installare, disinstallare, spostare da un cantiere all’altro e da riavviare.

Discorso diverso sono le soluzioni realizzate “in casa” completamente “personalizzate”: è in questo ambito che le competenze e conoscenze acquisite nel progetto di ricerca entrano in gioco. Indubbio rimane il fatto che **più conoscenze e competenze di natura elettronica e informatica** ci sono in azienda e più efficacemente si riuscirà ad **estrarre valore dall’incombente rivoluzione digitale**. Ingegnarsi per realizzare “in casa” uno strumento di misura ha inoltre **molteplici ricadute indirette in termini di cultura aziendale**: la strada intrapresa parallelamente alla sperimentazione dei dispositivi basati su onde convogliate, quella che ha portato alla realizzazione di strumenti “MySinergia”, ne è una testimonianza.

Le ESCo che hanno **esperienza e competenza sull’analisi e gestione dei dati** hanno un **fattore competitivo importante** che si rafforzerà sempre più in futuro.

Sinergia tra progettazione e approccio data-driven – Attualmente un intervento di efficienza energetica viene progettato basandosi sulla rappresentazione fisico-matematica dell’edificio la quale permette di eseguire simulazioni teoriche arrivando a definire l’intervento ottimale dal punto di vista tecnico - economico.

Accompagnare la progettazione con estensive e pervasive campagne di misura pre-intervento apre le porte a nuove modalità di intervento. L’analisi documentale (bollette e fatture) dei consumi e delle caratteristiche dell’edificio dal punto di vista strutturale ed impiantistico porta alla definizione di un intervento **i cui risultati dipendono dalla solidità delle ipotesi di partenza**. Se a questo approccio tradizionale aggiungiamo delle “misure in campo” il processo di progettazione può prevedere interventi più mirati ed il rischio che le ipotesi progettuali vengano disattese si riduce.

Per esempio, se nell’edificio gli occupanti sono soliti a tenere aperte le finestre per qualche motivo, o a lasciare acceso degli elettrodomestici/computer anche nel weekend, la sola progettazione analitica a volte non riesce a intercettare questi aspetti che invece possono essere evidenziati con facilità da una campagna di misura pre-intervento. L’approccio elaborato in questo progetto di ricerca tenta di far confluire nel percorso progettuale tradizionale le informazioni prodotte da misure in campo. L’approccio data-driven consente di introdurre nella fase progettuale anche aspetti non esclusivamente tecnico – ingegneristici ma anche “socio-economici” riguardanti abitudini e comportamenti. La **contaminazione tra i due approcci** non può che generare modalità di progettazione e quindi interventi più soliti e robusti.

Costi irrisori per le misurazioni consentono di integrare la progettazione con fattori socio-economici –

La descrizione fisico matematica di un edificio è un processo lungo, complesso che richiede un importante lavoro teorico di traduzione della realtà in formule matematiche e file software. Tali modelli rispondono perfettamente alla necessità di simulazione di comportamenti tecnico – fisici. Il modello risponde a domande del tipo: “Cosa succede dal punto di vista energetico se all’edificio installo finestre nuove?” “Cosa succede se sostituisco la caldaia?”.

Tali risposte sono perfettamente corrette dal punto di vista teorico e scientifico. Socio-economicamente però l’analisi necessita maggior approfondimento: tornando agli esempi appena citati: la finestra può essere aperta dall’occupante, la caldaia può essere settata con parametri non ottimali, un nuovo edificio può ombreggiare un impianto fotovoltaico, etc. Quando questo accade **gli “economics” previsti dalla fase progettuale non sono più rispettati.**

Misurazioni in campo, e prolungate nel tempo, nascondono in se la possibilità di limitare il rischio che vi siano grandi differenze tra il risparmio previsto e quello reale: sia perchè riesco a considerare aspetti non deterministici nella fase progettuale, sia perchè in fase di monitoraggio posso osservare gli scostamenti in tempo reale.

La diminuzione dei costi per elettronica e software ha reso possibile l’attuazione di sinergie tra il dominio della fisica – termotecnica e quello socio – economico. Misurazioni adeguate **consentono di introdurre fattori correttivi dei modelli teorici** basati sul reale “pattern” di utilizzo di un edificio, la progettazione teorica può attingere a valide informazioni che rappresentano aspetti non deterministici quali le abitudini e le modalità d’uso.

Dalle misurazioni la ESCo può **modificare il modello energetico dell’edificio** già in fase pre-intervento esplorando gli impatti degli investimenti previsti tramite scenari che tengono in considerazione anche dinamiche socio-economiche difficilmente simulabili con l’approccio tradizionale.

Campagne di misura possono anche **velocizzare il processo di modellizzazione** facilitando le fasi che richiedono la maggiore quantità di lavoro quali la simulazione e modellizzazione degli apporti gratuiti, le inerzie termiche, l’effetto della distribuzione della presenza degli occupanti durante il giorno e così via.

Dispositivi “agili” ma concreti – L’unione di elettronica open-source a basso costo e programmazione ha portato allo sviluppo di dispositivi estremamente versatili e “agili”. Si è visto che per le applicazioni energetiche di riferimento lo sviluppo hardware e l’acquisizione delle basi di programmazione, grazie al supporto di Creta Plus, è uno scoglio che si può superare agevolmente anche senza un bagaglio di competenze prettamente elettroniche ed informatiche.

La misurazione continua di alcuni parametri tecnico-ambientali può generare vantaggi sia immediati e sia a lungo termine. Come si è visto nei casi studio descritti nel capitolo 8 **l’avvicinamento all’approccio “data-driven” apre interessanti prospettive** che non toccano solamente la parte tecnica ma si espande in molteplici settori del modello di business.

Intervenire con sistemi di misura tailor-made nei processi pre-intervento per ottimizzare gli investimenti e post intervento per controllare il funzionamento comporta benefici ed opportunità di gran lunga superiori ai costi. Le sperimentazioni lo hanno dimostrato chiaramente. Nel caso delle installazioni presso la struttura ambulatoriale (paragrafo 8.3), grazie all’applicazione del sistema di misura, già dopo pochi giorni i progettisti hanno ricavato informazioni inerenti la reale inerzia termica di alcune stanze dell’edificio. Questo ha permesso di estrarre dai dati raccolti l’indicazione di una possibile strategia che a fronte di un ritardo della messa in funzione degli impianti non veniva compromessa la funzione d’uso della stanza e tantomeno il comfort degli ambulatori.

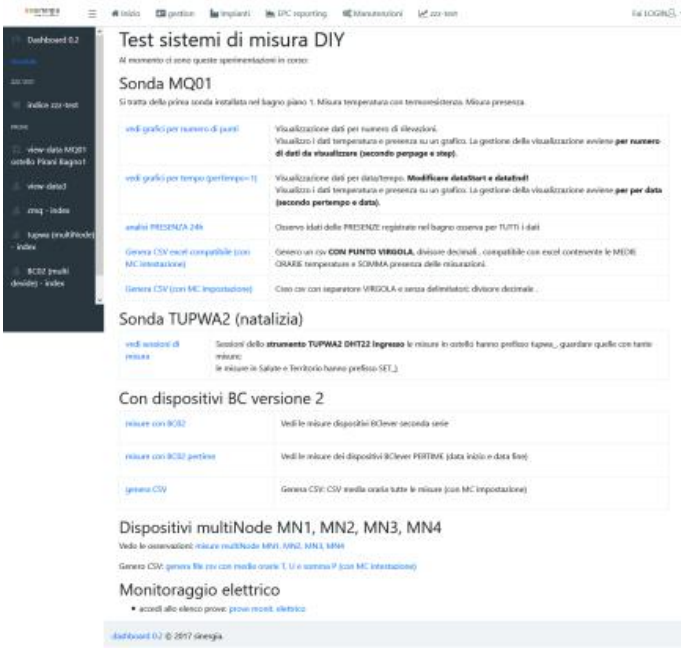
L'intervento che ha riguardato solamente la regolazione dei tempi di accensione è stato applicato e dalle misure raccolte nel periodo post-intervento si è verificato che effettivamente il comfort della stanza non ne ha risentito. Ed inoltre, in poco tempo la spesa sostenuta per la misurazione si è ripagata in con il risparmio indotto.

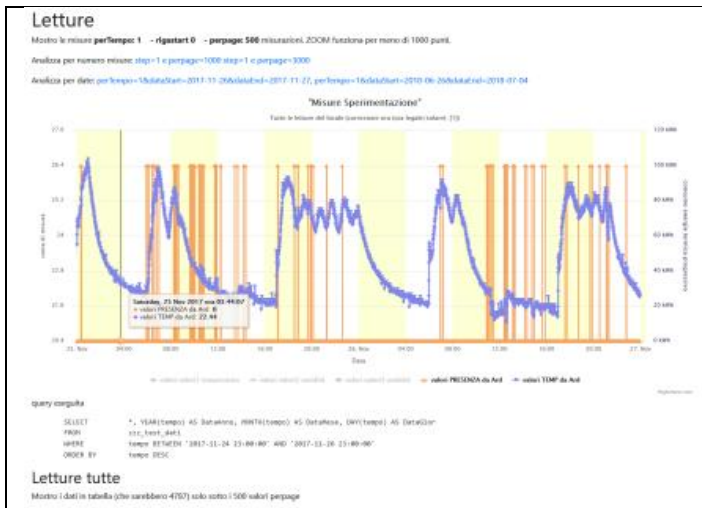
Quanto fatto durante il progetto di ricerca si dimostra essere oltremodo interessante per le aziende che offrono servizi sociali e assistenziali (vedi 9.3.2). Sinergia opera in una rete imprenditoriale composta da aziende attente ai temi sociali e della sostenibilità: la replica di quanto esplorato nel contesto del progetto apre le porte allo sviluppo di applicazioni potenzialmente interessanti per l'assistenza alle persone in difficoltà o in altri settori affini.

9.1 La piattaforma MySinergia

Gli strumenti di misura realizzati sono composti da un hardware ma altrettanto importante è la piattaforma software nata a corredo del loro funzionamento. L'archiviazione dei dati avviene presso uno spazio web servito da un piano di hosting condiviso. Il servizio per evidenti motivi di sicurezza e di privacy è protetto da password.

Di seguito alcune delle schermate dell'interfaccia grafica creata per eseguire le interrogazioni al database mysql.

| | |
|--|--|
|  <p>The screenshot shows a web dashboard titled "Test sistemi di misura DIY". It features a sidebar menu on the left with options like "Dashboard 02", "Home", "Inizio", "Gestione", "Impianti", "DPC reporting", "Manutenzioni", and "CSC". The main content area is divided into sections for different sensors: "Sonda MQ01" (with options for data visualization by step or data), "Sonda TUPWA2 (natalizia)", "Con dispositivi BC versione 2", "Dispositivi multiNode MN1, MN2, MN3, MN4", and "Monitoraggio elettrico". Each section includes links to view data, generate CSV files, or manage settings.</p> | <p>Pagina di ingresso della piattaforma. Da questo "index" si possono visitare le sezioni dedicate alla varie sperimentazioni.</p> |
|--|--|

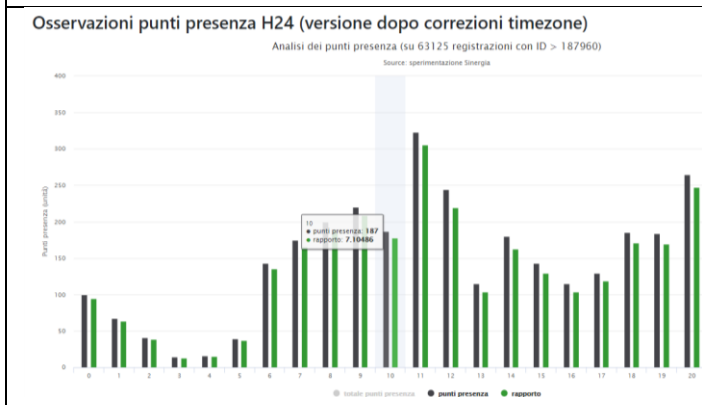


Esempio di grafico interattivo. Sfruttando javascript e php/mysql si sono realizzati strumenti di “restituzione” delle misurazioni interattivi. Si possono accendere/spegnere layer informativi con semplici click, zoommare, fare esporta .csv delle campagne di misura.

| id | valore | descrizione | data | ora | tempo | paragage |
|-------------------|--------|---|------|-----|-------|----------|
| tupwa2_N_853841 | 4648 | vedi - vedi tutti (range 15000) - vedi (con linea tendenza) [scarica csv su: yyyy-mm-dd MiliSec (dd/mm/yyyy) MiliSec] | | | | |
| tupwa2_N_454733 | 107042 | vedi - vedi tutti (range 15000) - vedi (con linea tendenza) [scarica csv su: yyyy-mm-dd MiliSec (dd/mm/yyyy) MiliSec] | | | | |
| tupwa2_0h4711_638 | 76 | vedi - vedi tutti (range 15000) - vedi (con linea tendenza) [scarica csv su: yyyy-mm-dd MiliSec (dd/mm/yyyy) MiliSec] | | | | |
| tupwa2_0h4711_025 | 93 | vedi - vedi tutti (range 15000) - vedi (con linea tendenza) [scarica csv su: yyyy-mm-dd MiliSec (dd/mm/yyyy) MiliSec] | | | | |
| tupwa2_2_302936 | 35 | vedi - vedi tutti (range 15000) - vedi (con linea tendenza) [scarica csv su: yyyy-mm-dd MiliSec (dd/mm/yyyy) MiliSec] | | | | |
| tupwa2_2_363317 | 31 | vedi - vedi tutti (range 15000) - vedi (con linea tendenza) [scarica csv su: yyyy-mm-dd MiliSec (dd/mm/yyyy) MiliSec] | | | | |
| tupwa2_2_351941 | 532 | vedi - vedi tutti (range 15000) - vedi (con linea tendenza) [scarica csv su: yyyy-mm-dd MiliSec (dd/mm/yyyy) MiliSec] | | | | |
| tupwa2_2_873869 | 151 | vedi - vedi tutti (range 15000) - vedi (con linea tendenza) [scarica csv su: yyyy-mm-dd MiliSec (dd/mm/yyyy) MiliSec] | | | | |
| tupwa2_N_2007 | 38264 | vedi - vedi tutti (range 15000) - vedi (con linea tendenza) [scarica csv su: yyyy-mm-dd MiliSec (dd/mm/yyyy) MiliSec] | | | | |
| SET_660447 | 12 | vedi - vedi tutti (range 15000) - vedi (con linea tendenza) [scarica csv su: yyyy-mm-dd MiliSec (dd/mm/yyyy) MiliSec] | | | | |
| SET_741452 | 11637 | vedi - vedi tutti (range 15000) - vedi (con linea tendenza) [scarica csv su: yyyy-mm-dd MiliSec (dd/mm/yyyy) MiliSec] | | | | |
| SET_108996 | 4068 | vedi - vedi tutti (range 15000) - vedi (con linea tendenza) [scarica csv su: yyyy-mm-dd MiliSec (dd/mm/yyyy) MiliSec] | | | | |
| SET_650077 | 2193 | vedi - vedi tutti (range 15000) - vedi (con linea tendenza) [scarica csv su: yyyy-mm-dd MiliSec (dd/mm/yyyy) MiliSec] | | | | |
| SET_884051 | 77500 | vedi - vedi tutti (range 15000) - vedi (con linea tendenza) [scarica csv su: yyyy-mm-dd MiliSec (dd/mm/yyyy) MiliSec] | | | | |
| tupwa2_N_761189 | 3581 | vedi - vedi tutti (range 15000) - vedi (con linea tendenza) [scarica csv su: yyyy-mm-dd MiliSec (dd/mm/yyyy) MiliSec] | | | | |
| tupwa2_N_135589 | 802 | vedi - vedi tutti (range 15000) - vedi (con linea tendenza) [scarica csv su: yyyy-mm-dd MiliSec (dd/mm/yyyy) MiliSec] | | | | |
| tupwa2_N_139334 | 27284 | vedi - vedi tutti (range 15000) - vedi (con linea tendenza) [scarica csv su: yyyy-mm-dd MiliSec (dd/mm/yyyy) MiliSec] | | | | |
| SCSA_57987 | 2976 | vedi - vedi tutti (range 15000) - vedi (con linea tendenza) [scarica csv su: yyyy-mm-dd MiliSec (dd/mm/yyyy) MiliSec] | | | | |
| SCSA_825588 | 4777 | vedi - vedi tutti (range 15000) - vedi (con linea tendenza) [scarica csv su: yyyy-mm-dd MiliSec (dd/mm/yyyy) MiliSec] | | | | |
| tupwa2_N_473283 | 21480 | vedi - vedi tutti (range 15000) - vedi (con linea tendenza) [scarica csv su: yyyy-mm-dd MiliSec (dd/mm/yyyy) MiliSec] | | | | |
| SCSA_732513 | 32 | vedi - vedi tutti (range 15000) - vedi (con linea tendenza) [scarica csv su: yyyy-mm-dd MiliSec (dd/mm/yyyy) MiliSec] | | | | |
| SCSA_554163 | 10 | vedi - vedi tutti (range 15000) - vedi (con linea tendenza) [scarica csv su: yyyy-mm-dd MiliSec (dd/mm/yyyy) MiliSec] | | | | |
| tupwa2 | 7862 | vedi - vedi tutti (range 15000) - vedi (con linea tendenza) [scarica csv su: yyyy-mm-dd MiliSec (dd/mm/yyyy) MiliSec] | | | | |

dashboard 0.2 © 2017 sinergia Powered by Milla

La piattaforma essendo interfacciata con lo stesso database relazionale che opera l’archiviazione delle misurazione mantiene una traccia organizzata delle campagne di misura. L’archiviazione di grandi quantità di dati e misure costituisce un asset che diviene via via più importante con il passare del tempo.



Le modalità di restituzione delle analisi va attentamente concordata con l’utente a cui tali elaborazioni sono destinate: il progettista energetico.

9.2 Cosa c'è sul mercato?

Durante il progetto di ricerca è stata fatta una ricerca di mercato sulle soluzioni commerciali presenti sul mercato. Le richieste per il preventivo riguardavano applicazioni non strettamente correlate con quelle di riferimento del progetto. La richiesta verteva sulla misura, remotizzazione e fornitura "dashboard" per 4 quadri elettrici a cui sono applicati macchinari in grado di assorbire dai 110 A ai 500 A in bassa tensione trifase.

Si tratta di monitoraggio di carichi industriali che assorbono potenze di svariati kW. Gli strumenti proposti consistono in

- una infrastruttura hardware che si occupa di fare le misure di energia/potenza (TA da collegare ai cavi/sbarre),
- dell'infrastruttura che si occupa di condizionare, comunicare e archiviare la misura
- infrastruttura software che restituisce le informazioni in un formato comprensibile dagli esseri umani.

Le differenze rispetto agli strumenti sviluppati nel progetto di ricerca riguardano essenzialmente l'infrastruttura hardware che esegue la misura, le altre possono essere considerate simili fermo restando che hanno caratteristiche di affidabilità ben diverse, di grado industriale.

Le caratteristiche dei 3 preventivi richiesti sono elencate nella tabella Tab. 6.

Tab. 6 - Preventivi di 3 aziende per 4 punti di misura su quadri industriali.

| | azienda 1 | azienda 2 | azienda 3 |
|---------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Multimetro + Gateway + TA | 4,788 € | 4,247 € | 5,070 € |
| lavoro installazione | 1,360 € | 1,360 € | 1,360 € |
| Messa in servizio | 1,300 € | 594 € | 200 € |
| totale | 7,448 € | 6,201 € | 6,630 € |
| Abbonamento software | - | sì | sì |
| Maintainance | - | - | sì |
| sub totale | no | 360 € | 766 € |
| protez. Fusibili | - | - | 95 € |
| protez. Sovratensioni | - | - | 1,237 € |

Per singolo punto di misura, normalizzando i preventivi si ottiene che il costo per 4 punti di misura è dai 6000 € ai 7500 € circa. Per singolo punto di misura si è un intorno dei 1200-1900 €/punto di misura.

9.3 Sviluppi futuri

Il progetto ha aperto le porte ad una moltitudine di aspetti potenzialmente interessanti per una azienda di tipo ESCo la quale opera nel settore energetico ma i cui interventi impattano questioni di molteplice natura: dal comfort, alla sostenibilità ambientale, dai comportamenti alla mobilità.

Uno degli sviluppi che appare naturale proseguire riguarda la ricerca di altre applicazioni per fare in modo che gli strumenti sviluppati durante il progetto si possano trasformarsi in nuovi servizi forniti dall'azienda oppure che essi trovino un loro motivo di esistere integrando e migliorando processi già esistenti.

9.3.1 Residenze collettive: comprendere il loro uso

Uno degli sbocchi potenzialmente interessanti riguarda la registrazione dei parametri ambientali più comuni di una stanza o di ambiente come visto nella sperimentazione del capitolo 8.

I proprietari ed i gestori di **edifici che svolgono la funzione di residenza collettiva** quali ad esempio appartamenti per studenti, dormitori, etc. possono beneficiare dall'installazione non invasiva dei dispositivi. Infatti, è difficile oppure troppo costoso ricavare degli indicatori in grado di far capire ai gestori come viene utilizzato un appartamento o una stanza. Senza entrare nel merito della tutela della privacy che esula dagli obiettivi di questo progetto, quanto realizzato ben si presta all'installazione di svariati dispositivi che remotizzando (archiviando in remoto) su un'unica piattaforma i dati di molteplici misure permettono di stabilire KPI o pattern di utilizzo delle strutture e di orientare al meglio eventuali interventi, di innovare i sistemi di tariffazione o di abilitare altre modifiche dei loro modelli di business.

Poiché gli strumenti sono realizzati con tecnologie open-source l'esperienza e la competenza accumulata durante il progetto di ricerca si presta ad applicazioni che vanno anche oltre l'obiettivo del risparmio energetico.

9.3.2 Servizi alla persona

Considerando la rete imprenditoriale nella quale l'azienda opera, altro sbocco possibile riguarda la realizzazione di strumenti (sia hardware che software) atti a migliorare le condizioni di vita di persone anziane e disabili. Misurando indirettamente alcuni indicatori rappresentativi delle normali attività di una persona è possibile definire in modo automatico se il suo stato di salute rientra nei parametri della normalità.

Gli strumenti potrebbero essere il tassello hardware su cui costruire la piattaforma software capace di archiviare le misure e definire indicatori sullo stato di salute della persona da supportare. I benefici sono molteplici: miglioramento dell'autonomia e indipendenza delle persone anziane o disabili, riduzione della necessità di assistenza da parte di personale qualificato.

10 Appendice

In questo capitolo sono raccolti i listati dei programmi più interessanti sviluppati durante il progetto di ricerca. Sono riportati listati usati per pilotare micro-controllori Arduino-like (linguaggio di programmazione simile a C#), listati usati per eseguire le logiche di raccolta e remotizzazione dati nel modulo di controllo (generalmente in Python) e i listati usati presso lo spazio hosting per archiviare le misure in un database mysql (linguaggio php).

Gli algoritmi sviluppati sono stati definiti considerando questi aspetti:

- scritti in modo che la manutenzione sia facilitata;
- archiviare i dati in modo snello: la necessità è quella di essere operativi in poco tempo, salvando i dati in un formato facile da trattare, che sia trattabile dalla maggior parte delle persone che operano in azienda;
- elaborazione dati flessibile: la rappresentazione deve poter essere modificata “al volo” al fine di fornire al progettista le informazioni;
- orientato alla comunicazione: l’ambito è quello dell’analisi ex-ante quindi bisogna ottimizzare la capacità degli algoritmi di tradurre i dati raccolti in strumenti “visuali” capaci di trasmettere molte informazioni ai progettisti che decidono come e dove intervenire; l’algoritmo deve poter rispondere alle esigenze del progettista in fatto di aggregazione di dati, interrogazioni specifiche, capacità di realizzare piccoli KPI, etc.

Di seguito sono riportati i “listati” integrali dei software più rappresentativi.

10.1 Lettura e archiviazione nodi BC 02

Di seguito è riportato il codice in linguaggio Python che esegue le seguenti operazioni:

- interroga il valore archiviato nei registri dei nodi slave (comunicazione Modbus);
- crea un file in locale .csv per ogni giorno di misura
- se il file esiste aggiunge una riga contenente le misurazioni dei nodi
- archivia i dati in un database online attuando una chiamata http e passando i parametri con il metodo GET
- ripete il ciclo di misura per un pre-definito numero di volte.

L’applicazione concreta di questa metodologia è visibile nel paragrafo 8.4.

```
import sys
import requests
import serial
import time
import minimalmodbus
import random
from time import gmtime, strftime # importo delle funzioni per gestire il tempo

# definisco dei numeri random
random.seed()

# configurazione per il modbus
minimalmodbus.CLOSE_PORT_AFTER_EACH_CALL=True # da indagare meglio
minimalmodbus.BAUDRATE = 9600
```

```

minimalmodbus.PARITY = serial.PARITY_NONE          #serial.PARITY_NONE oppure
serial.PARITY_EVEN
minimalmodbus.TIMEOUT = 1                          # timeout

# richiedo input per capire se sono windows o raspberry
print('ciao, sei un windows metti un "w" o un linux metti una "l"?')
sysUsato = input()
sysUsato = sysUsato.lower()

if sysUsato == "w":
    print('sto usando un sistema windows')
    instrumentX = minimalmodbus.Instrument('COM7', 1)          # nome porta name, slave address (in
decimale)
    basefname = "C:/Users/utente01/Dropbox (SINERGIA)/Cartella del team
SINERGIA/2017_R&S_Sinergie_Convogliate/sistema-n/csv-prove-bc2/"
elif sysUsato == "l":
    print('sto usando un sistema linux')
    instrumentX = minimalmodbus.Instrument('/dev/ttyUSB0', 1) # port name, slave address (in
decimal)
    basefname = "/home/pi/Desktop/archiviocsv/"
else:
    print('non riconosco [' ,sysUsato,'] controlla')
    sys.exit("errore scelta sistema")

''' CASO WINDOWS
instrumentX = minimalmodbus.Instrument('COM7', 1)          # nome porta name, slave address (in
decimale)
'''
''' CASO LINUX RASPBERRY
instrumentX = minimalmodbus.Instrument('/dev/ttyUSB0', 1) # port name, slave address (in decimal)
'''

#instrumentX = minimalmodbus.Instrument('COM7', 1)          # nome porta name, slave address (in
decimale)

instrumentX.debug = False          # mettere TRUE per far apparire le frasi di debug
#print(instrumentX)              # stampo le caratteristiche della connessione

# funzione per connettersi alla pagina e salvare il dato del nodo
def SALVO_VALORE(tipo, nodo, val_n7):

    try:
        tipo
    except NameError:
        tipo = 't'

    try:
        r = requests.get('http://www.mysinergia.com/zzz-test/add-data-
bc02.php?label='+nodo+'&val_n7='+val_n7+'&tipo='+tipo+'&token=forzaQuare')
        rispostaWeb = r.status_code

        print('##### salvataggio web server #####')
        print('##### Risposta status_code:                ', rispostaWeb)
        print('##### Valore Temperatura [' ,tipo,'], NODO "',nodo,'" :                ',val_n7)
        #print('http://www.mysinergia.com/zzz-test/add-
data.php?valore1='+al+'&valore2='+b1+'&valore3='+str(STRVpresenza)+'&valore4='+str(Vtemp2)+'&tempo='
+ftempo+'&token=pippo&label=provaPirani')
        print('#####',r)          # quando response vale 200 significa ancdato a
buon fine
        #aggiu = random.randint()
        key = random.randint(1,2)
        print('RRRRR ',key, '(random attesa)')
        #time.sleep(10.1)
        time.sleep(key)
    except Exception as erroreWeb:

```

```

        print('%%%% salvataggio web server ERRATO!!!%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%')
        print(erroreWeb)
        time.sleep(1)

cicli = 0
while cicli < 3300:

    # stabilisco il tempo
    fAnno          = strftime("%Y", gmtime())          # anno
    fMese          = strftime("%m", gmtime())          # mese (01 - 12)
    fGiorno        = strftime("%d", gmtime())          # giorno
    fOra           = strftime("%H", gmtime())          # H ore 00-24
    fMinuto        = strftime("%M", gmtime())          # minuto
    fSecondi       = strftime("%S", gmtime())          # secondi
    #ftempo        = strftime("%Y-%m-%d %H:%M:%S", gmtime())
    tempoCSV = fAnno+'-'+fMese+'-'+fGiorno+' '+fOra+':'+fMinuto+':'+fSecondi
    print('tempo',tempoCSV)

    try:
        try:
            r01_7 = str(instrumentX.read_registers(7, 1)) # temperatura, trasformo in stringa
            r01_7 = r01_7.replace("[", "")
            r01_7 = r01_7.replace("]", "")
            r01_6 = str(instrumentX.read_registers(6, 1)) # umidità, trasformo in stringa
            r01_6 = r01_6.replace("[", "")
            r01_6 = r01_6.replace("]", "")
            print('r01_7', r01_7, ' mentre r01_6: ', r01_6)
            SALVO_VALORE('t', 'r01_7', r01_7)
            time.sleep(1)
            SALVO_VALORE('u', 'r01_6', r01_6)
        except Exception as eRRoRel:
            print('$1 ERRORE nodol livello 1')
            print(eRRoRel)
            r01_7 = str("")
            time.sleep(2.5)
    except ValueError:
        print("ERRORE con registro r01_7")
        time.sleep(3)
    #finally:
        #print('questo lo scrivo sempre\n')

    try:
        try:
            r02_17 = str(instrumentX.read_registers(17, 1))
            r02_17 = r02_17.replace("[", "")
            r02_17 = r02_17.replace("]", "")
            r02_16 = str(instrumentX.read_registers(16, 1)) # umidità, trasformo in stringa
            r02_16 = r02_16.replace("[", "")
            r02_16 = r02_16.replace("]", "")
            print('r02_17', r02_17, ' mentre r02_16: ', r02_16)
            SALVO_VALORE('t', 'r02_17', r02_17)
            time.sleep(1)
            SALVO_VALORE('u', 'r02_16', r02_16)
        except Exception as eRRoRe2:
            print('$ 2 ERRORE errore livello 1' )
            print(eRRoRe2)
            r02_17 = str("")
            time.sleep(3.5)
    except:
        print('ERRORE LIVELLO 2 con registro numero 17, slave 1')

```

```

// replico per gli N nodi successi
// replico per gli N nodi successi

# riga per csv
stringone = tempoCSV+';'+r01_7+';'+r02_17+';'+r03_27+';'+r04_37+';'+r05_47+';'+r06_57+'\n'
print('\n\n stringone: ',stringone)

nomeFileCSV = fAnno+'-'+fMese+'-'+fGiorno+'.csv'
fname = basename+nomeFileCSV
fd = open(fname,'a')      # per fare append di nuova linea
fd.write(stringone)      # scrivo la linea
fd.close()

print('CICLO N. ',cicli+1,' #####')
print('\n\n\n')

time.sleep(2.5)

cicli = cicli +1

print('FINE')

```

10.2 Misuratore TUPWA2

Di seguito è riportato il codice caricato nel micro-ctrllore Arduino-like utilizzato nello strumento denominato TUPWA 2 descritto nel paragrafo 6.2.

```

#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <DHT.h>
#include <DHT_U.h>
#include "ESP8266WiFi.h"

// definisco alcune costanti
#define DHTPIN D2          // pin a cui siamo connessi
#define DHTTYPE DHT22     // tipo di sensore DHT22 oppure DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); // inizializzo il DHT sensore per il tipo di scheda in uso

// per il sensore presenza
int          calibrationTime = 30;
// Il tempo in cui l'uscita sia bassa
long unsigned int lowIn;
// valore di millisecondi, per cui si ritiene che ci sia "quiete"
long unsigned int pause = 500;
int          presenzaPersone;
boolean      lockLow = true;
boolean      takeLowTime;
int          pirPin = D1;   //il PIN di Arduino a cui è collegato il sensore
int          ledPin = D4;   //il PIN a cui è connesso il LED

// definisco variabili
int  chk;
float hum; //Stores humidity value
float temp; //Stores temperature value

// dati per la connessione wi-fi

```



```

const char* ssid      = "SCSA_OSPITI";
const char* password = "studiocentro16";

// genero numero random composto da N & N per classificare la sessione generato in setup
// necessario per fare sessioni di misura dinamiche automatiche con label differenti
int enne1 = random(1,100);
int enne2 = random(1,100);
int enne3 = random(1,100);

// stringa sito internet
const char* host      = "www.mysinergia.com";

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:

  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);

  // parto con il sensore
  Serial.begin(9600);

  // connettiamoci alla wi-fi
  Serial.println();
  Serial.println();
  Serial.print("Connecting to ");
  Serial.println(ssid);

  WiFi.begin(ssid, password);

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(5000);
    Serial.print(".");
  }

  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected");
  Serial.println("IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());

  // setup del pir
  pinMode(pirPin, INPUT);
  pinMode(ledPin, OUTPUT);

  digitalWrite(pirPin, LOW);
  //Fase di calibrazione
  Serial.print("calibrating sensor ");
  for(int i = 0; i < calibrationTime; i++){
    Serial.print(".");
    delay(50    );
  }
  Serial.println(" done");
  Serial.println("SENSOR ACTIVE");
  delay(50);

  dht.begin();
} // fine setup

void loop() {
  //Read data and store it to variables hum and temp

```

```

hum = dht.readHumidity();    // leggo umidità
temp= dht.readTemperature(); // leggo temperatura

// gestiamo la info presenza
// Questo IF permette di stabilire se il sensore rileva un oggetto in movimento
if(digitalRead(pirPin) == HIGH) {
    digitalWrite(ledPin, HIGH); //Accendiamo il LED
    //digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // Turn the LED off by making the voltage HIGH

    if(lockLow){
        lockLow = false;
        delay(18500);
    }
    takeLowTime = true;
}
// Questo IF permette di stabilire se non c'è più nessun movimento
if(digitalRead(pirPin) == LOW){
    digitalWrite(ledPin, LOW); //Si spegne il LED
    //digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
    if(takeLowTime){
        lowIn = millis();
        takeLowTime = false;
    }
    if(!lockLow &&      millis() - lowIn > pause){
        lockLow = true;
        delay(150);
    }
}

Serial.println(lockLow);

    if (lockLow) {
        presenzaPersone = 0;
    } else {
        presenzaPersone = 1;
    }
Serial.print('S');
Serial.print(presenzaPersone); // solo print e non println
Serial.println();

// uso il numero random composto da N & N per classificare la sessione generato in setup

String indir="/zzz-test/add-data-tupwa_ammortizzato.php?parolaUrlChiave=MN5";
// indir += enne1;
// indir += enne2;
// indir += enne3;
indir += "&temp=";
indir += temp;
indir += "&humi=";
indir += hum;
indir += "&presenza=";
indir += presenzaPersone;

Serial.println(indir);
WiFiClient client;
const int httpPort = 80;
if (!client.connect(host, httpPort)) {
    Serial.println("connection failed");
}

```

```

    return;
}
client.print(String("GET ") + indir + " HTTP/1.1\r\n" +
              "Host: " + host + "\r\n" +
              "Connection: close\r\n\r\n");

delay(172111); // ritardo
} // fine loop

```

10.3 Remotizzazione conta-impulsi

```

// includo le librerie necessarie
#include "ESP8266WiFi.h"
#include <ESP8266HTTPClient.h>

int inPin = D1;      // pin in cui connesso ingresso segnale
int val = 0;        // variabile in cui salvo il dato del segnale
int cumulativo = 0; // variabile in cui salvo il cumulativo degli impulsi per sessione
int statoPrima = 0; // variabile per controllare la registrazione impulso

const short int BUILTIN_LED1 = 2; //GPIO2

// scegli la connessione
const char* ssid      = "SSID DELLA CONNESSIONE";
const char* password = "PASSWORD";

// definisco il dominio su cui farò la chiamata http
const char* host = "www.mysinergia.com";

// genero numero random composto da N & N per classificare la sessione generato in setup
int enne1 = random(1,100);
int enne2 = random(1,100);
int enne3 = random(1,100);

void setup() {
  // codice richiamato una volta:
  Serial.begin(9600); // faccio partire il monitor seriale con velocità 9600
  pinMode(BUILTIN_LED1, OUTPUT); // inicializzo il BUILTIN_LED1

  Serial.println(); // stampo riga vuota
  Serial.println("ciao, provo a connettermi...");
  Serial.println(); // stampo riga vuota
  Serial.print("Connecting to ");
  Serial.println(ssid); // stampo il nome SSID della connessione a cui sto tentando di connettermi

  WiFi.begin(ssid, password); // provo a instaurare la connessione
  // attivo un ciclo che prosegue finchè non mi connesso; tampo un punto finchè non mi connesso
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(15000);
    Serial.print(".");
  }
  digitalWrite(BUILTIN_LED1, LOW); // Accendo il led
  Serial.print("CONNESSO!");      // stampo la scritta connesso

  pinMode(inPin, INPUT);          // definisco lo input
}

```

```

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  val = digitalRead(inPin);      // continuo a leggere a loop il valore presente in inPin
  // controllo il valore della variabile statoPrima
  if (val == statoPrima) {
    // controllo il valore della variabile statoPrima
    // faccio nulla
    delay(2); // attendo qualche millesimo di secondo
  } else {
    statoPrima = val; // metto uguale a val il valore di statoPrima
    Serial.print("statoPrima: ");
    Serial.println(statoPrima);
    Serial.print("val: ");
    Serial.println(val);
    delay(2);
    if (val == 1) { // significa che prima era != 1, quindi incremento cumulativo e archivio
      cumulativo = cumulativo + 1;
      if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) { // Check WiFi connection status
        HTTPClient http; // dichiaro un object della classe HTTPClient
        int enneA = random(1,100);
        http.begin("http://mysinergia.com/zzz-test/add-data-elett-03.php?parolaUrlChiave=CT_IMP03");
        int httpCode = http.GET(); //Send the request
        if (httpCode > 0) { //Check the returning code
          String payload = http.getString(); //Get the requestresponse payload
          Serial.println(payload); //Print the response payload
          payload = "AZZERO TUTTO";
          // chiudo if se la connessione è presente
        } else {
          Serial.println("\nConnessione non presente\n");
          delay(1000);
        }
      }
      if(httpCode == HTTP_CODE_OK) {
        Serial.print("HTTP response code ");
        Serial.println(httpCode);
        String response = http.getString();
        Serial.println(response);
        httpCode = 0; // azzero il httpCode (così funziona anche con la saponetta wi-fi ZTE)
      } else {
        Serial.println("Error in HTTP request");
      }
    }
    http.end(); // chiudo chiamata http
  }
}
Serial.print("\n\ncumulativo: ");
Serial.println(cumulativo);
delay(1);
}
// chiudo il loop
}

```

10.4 Remotizzazione contatore acqua ANALOGICO

Il codice seguente attua le logiche software descritte nel paragrafo 7.4.

```

int inPin = D1;           // dove collego il segnale
int varPosso = 0;        // inizializzo il valore del segnale
int varImpulso = 0;      // inizializzo il valore di cumulativo
int varStop = 0;         // serve per stoppare incremento

```

```

int conteggioCum = 0;    // conteggio cum

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  // leggo il pin di ingresso
  pinMode(inPin, INPUT);    // sets the digital pin as input
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  varImpulso = digitalRead(inPin);    // leggo il segnale

if (varImpulso == 1 && varPosso == 0) {
  // faccio nulla finchè non cambiano le cose
  Serial.print("faccio nulla: ");
  Serial.println();
} else {
  // metto la variabile posso "alta"
  varPosso = 1;

  // adesso inizio i diversi controlli

if (varPosso == 1 && varStop == 0 && varImpulso == 1) {
  // se posso AND non ho ancora registrato AND impulso alto ==> registro
  varStop = 1; // metto a stop la variabile di controllo
  conteggioCum = conteggioCum +1;
  Serial.print("#####conteggioCum: ");
  Serial.println(conteggioCum);
} else if (varPosso == 1 && varStop == 1 && varImpulso == 1) {
  // se posso AND ho già registrato lo impulso AND impulso è ancora ALTO
  // faccio nulla
  //Serial.print("--- fermo ---");
  Serial.println();
} else if (varPosso == 1 && varStop == 1 && varImpulso == 0) {
  // se posso AND ho già registrato AND impulso è adesso BASSO
  varStop = 0;
}

}

delay(1000);
}

```

11 DIY – GPS e salvataggio SD

Durante il progetto il team ha esplorato le potenzialità offerte dall'elettronica open-source anche per applicazioni non strettamente legate al risparmio energetico degli edifici ma ugualmente importanti dal punto di vista della sostenibilità ambientale.

Sinergia in quanto PMI innovativa ha nel proprio dna la ricerca e considerato il contesto sociale, geografico e il mercato in cui opera l'azienda sono state gettate le basi per lo sviluppo di uno strumento che registra le posizioni assunte nello spazio sfruttando il sistema di posizionamento GPS. La realizzazione descritta in questo paragrafo apre le porte ad interessanti sperimentazioni in uno settori che maggiormente impatta sulla sostenibilità ambientale: la mobilità.

La base dello strumento è, anche in questo caso, la piattaforma Arduino. Ad essa è stata aggiunta una scheda di espansione denominata "shield" nativamente progettata per operare in perfetta sintonia con Arduino. La scheda aggiuntiva offre svariate funzioni aggiuntive tra le quali, la più interessante per lo scopo dello strumento, il salvataggio dati in locale su scheda SD (Secure Digital).

La Fig. 54 mostra le piattaforme hardware ed i componenti utilizzati: scheda Arduino-like, shield per salvataggio su memoria SD e modulo GPS (chip + antenna).

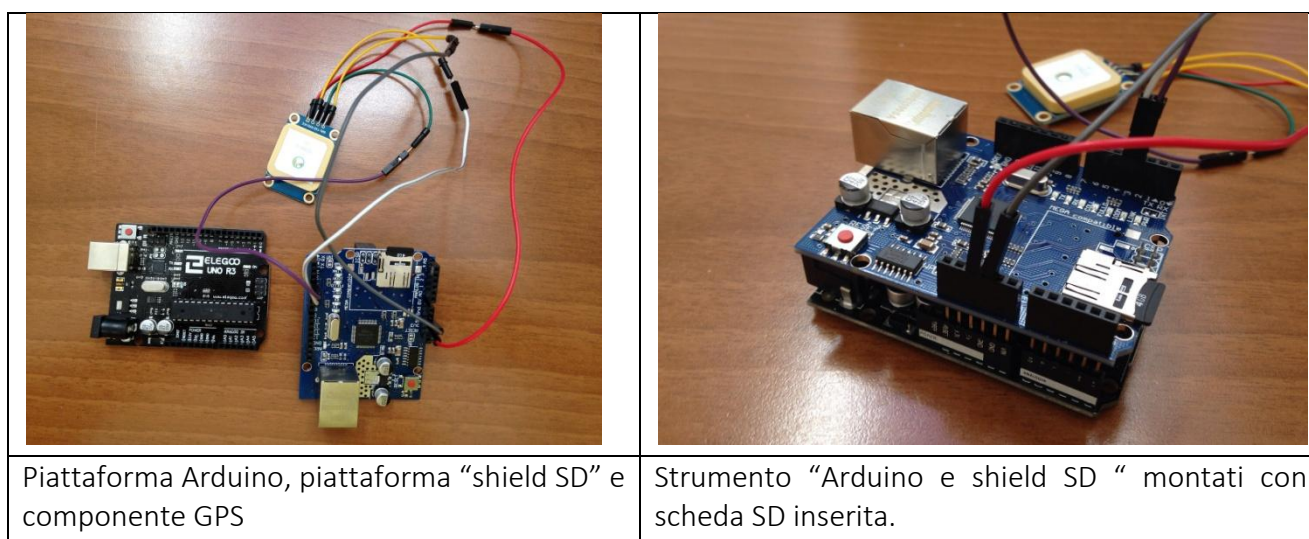


Fig. 54 - Strumento "Registra posizioni": si vedono la piattaforma Arduino-like e la "shield" per memoria SD.

La scheda "shield" utilizzata è il modello "hanrun hr911105a" uno dei più diffusi a livello modiale, ampiamente testato e con adeguate prestazioni e caratteristiche di affidabilità.

Il componente utilizzato per la funzione di GPS (Global Positioning System) è il modello "UBLOX NEO M6 V2" uno dei più diffusi sul mercato. L'alimentazione del componente deve essere compresa tra i 3,3 V ed i 5 V quindi si possono usare le uscite "GND" e "5V" dell'Arduino (replicate dalla shield).

Il funzionamento dello strumento è il seguente:

- si applica l'alimentazione: nel caso dell'applicazione prevista si userà una "battery bank" che si auto-ricarica in presenza di radiazione solare grazie a dei piccoli moduli fotovoltaici posti sulla superficie (in questo caso lo strumento si ricarica quando lasciato ad esempio su un sedile o sul cruscotto dell'automezzo);

- inizializzazione: le schede fanno eseguire uno script iniziale che prepara il modulo GPS e la scheda SD;
- “aggancio satelliti” e lettura posizioni: lo strumento individua la posizione del mezzo; l’operazione viene ripetuta ad un intervallo di tempo scelto in base all’applicazione, all’orario e ad altri fattori (da qualche secondo a minuti);
- lo strumento registra il tempo e la posizione (latitudine, longitudine) in un file di testo archiviato nella scheda SD.

Data la grande capienza della scheda SD è possibile archiviare dati per molti giorni/settimane. La Fig. 55 mostra lo strumento montato e connesso all’alimentazione mobile.

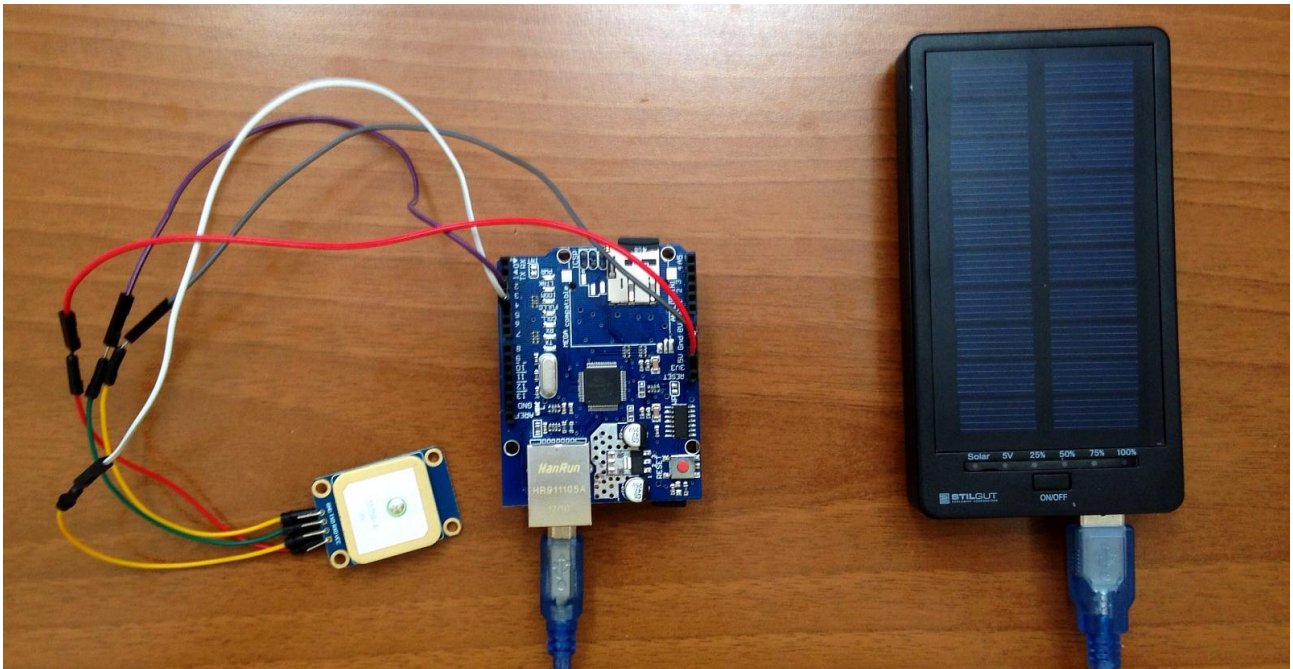


Fig. 55 - Strumento "misura posizione con GPS" portatile basato su elettronica open-source.

11.1.1 Software

La parte software si compone di una prima parte residente sulla scheda Arduino-like il cui scopo è quello di pilotare le operazioni dell’hardware ovvero: inizializzare scheda SD e GPS, definire il tempo di campionamento, definire il nome del file, etc.

Il trattamento, la gestione e l’elaborazione dei dati registrati nella memoria SD è meno vincolata al tipo di hardware usato, ovvero i dati in essa contenuti possono essere elaborati con software e strumenti differenti, ad esempio un foglio di calcolo quale MS Excel o Openoffice oppure con linguaggi più astratti quale R, Python e così via.

Particolarmente interessante per comunicare è l’integrazione con i famosi servizi di mappe online quali le Google Maps, Bing Maps, OpenStreetMap, Esri, Mapbox. La visualizzazione interattiva delle posizioni assunte dal mezzo consente di analizzare qualitativamente la funzione d’uso del mezzo.

Per le analisi quantitative particolarmente utili sono i software cosiddetti GIS (Geographical Information System), pacchetti in grado di gestire le informazioni geo-riferite in modo particolarmente intuitivo. I prodotti più rappresentativi del settore sono ESRI ArcGIS (prodotto a pagamento leader del settore) e QGIS (software opensource con una ricchissima comunità di appassionati che lo aggiornano e migliorano ogni giorno).

Codice per la piattaforma Arduino-like – Le funzioni principali del codice di programmazione della scheda è il seguente.

Inizializzo la scheda SD

```
Serial.print("Initializing SD card...");
if (!SD.begin(4)) { // usare 4 per questa scheda -
  Serial.println("initialization failed!");
  while (1);
}
Serial.println("initialization done.");
```

Definisco un nome per il file su cui registrare i dati. In questo i dati relativi ad ogni giorno vengono registrati su un file diverso.

```
// vedo di ricostruire la data
nomefileY = String(gps.date.year());
nomefileM = String(gps.date.month());
nomefileD = String(gps.date.day());
nomefileCompleto = nomefileY+"-"+nomefileM+"-"+nomefileD;
// provo a definire un nomefile adeguato
nomeFileGiornaliero = nomefileCompleto+".txt";
nomeFileGiornaliero = String(nomeFileGiornaliero);
// provo scrivere nella SD
myFile = SD.open(nomeFileGiornaliero, FILE_WRITE);
```

Genero la riga da scrivere nel file .txt che viene salvato sulla memoria SD.

```
// ricavo posizione
LATITUDINE = (gps.location.lat());
LONGITUDE = (gps.location.lng());
// scrivo nel file
if (myFile) {
  myFile.print("id;");
  myFile.print(gps.date.year());
  myFile.print("-");
  myFile.print(gps.date.month());
  myFile.print("-");
  myFile.print(gps.date.day());
  myFile.print(" ");
  myFile.print(gps.time.hour());
  myFile.print(":");
  myFile.print(gps.time.minute());
  myFile.print(":");
  myFile.print(gps.time.second());
  myFile.print(";");
  myFile.print(gps.location.lat(), 6);
  myFile.print(";");
  myFile.print(gps.location.lng(), 6);
  myFile.println(";");
}
// close the file:
myFile.close();
```

Il tempo di campionamento viene fatto variare in modo dinamico. L'idea è che se la distanza tra due punti successivi è molto bassa il tempo di campionamento si può alzare senza rischio di perdere informazioni. Viceversa se la distanza calcolata tra 2 misure successive aumenta, il tempo di campionamento viene ridotto.

```
Serial.print("calcolo un indicatore di distanza tra i due punti: ");
```



```

DISTANZA = 6378.3 * 3.1415926 * ( sqrt( (LATITUDINE - LATITUDINEM1)*(LATITUDINE - LATITUDINEM1)
+ ( cos(LATITUDINE / 57.29578) * cos(LATITUDINEM1 / 57.29578) * (LONGITUDE -
LONGITUDEM1)*(LONGITUDE - LONGITUDEM1) ) ) ) /180*1000 ;
Serial.println(DISTANZA, 6);
// modulo il tempo di campionamento in funzione della distanza tra due misure successive
if (abs(DISTANZA) <2) { // sono quasi fermo allungo i tempi
    tempoIntermedio = 23000;
} else if (abs(DISTANZA) < 3) { // tempo intermedio
    tempoIntermedio = 14000;
} else if (abs(DISTANZA) < 7) { // tempo intermedio
    tempoIntermedio = 13000;
[... ]
} else if (abs(DISTANZA) < 70) { // tempo intermedio
    tempoIntermedio = 5000;
} else if (abs(DISTANZA) < 80) { // tempo intermedio
    tempoIntermedio = 4000;
} else {
    tempoIntermedio = 3000;
}

```

Ed ecco che impongo attesa al ciclo di misura.

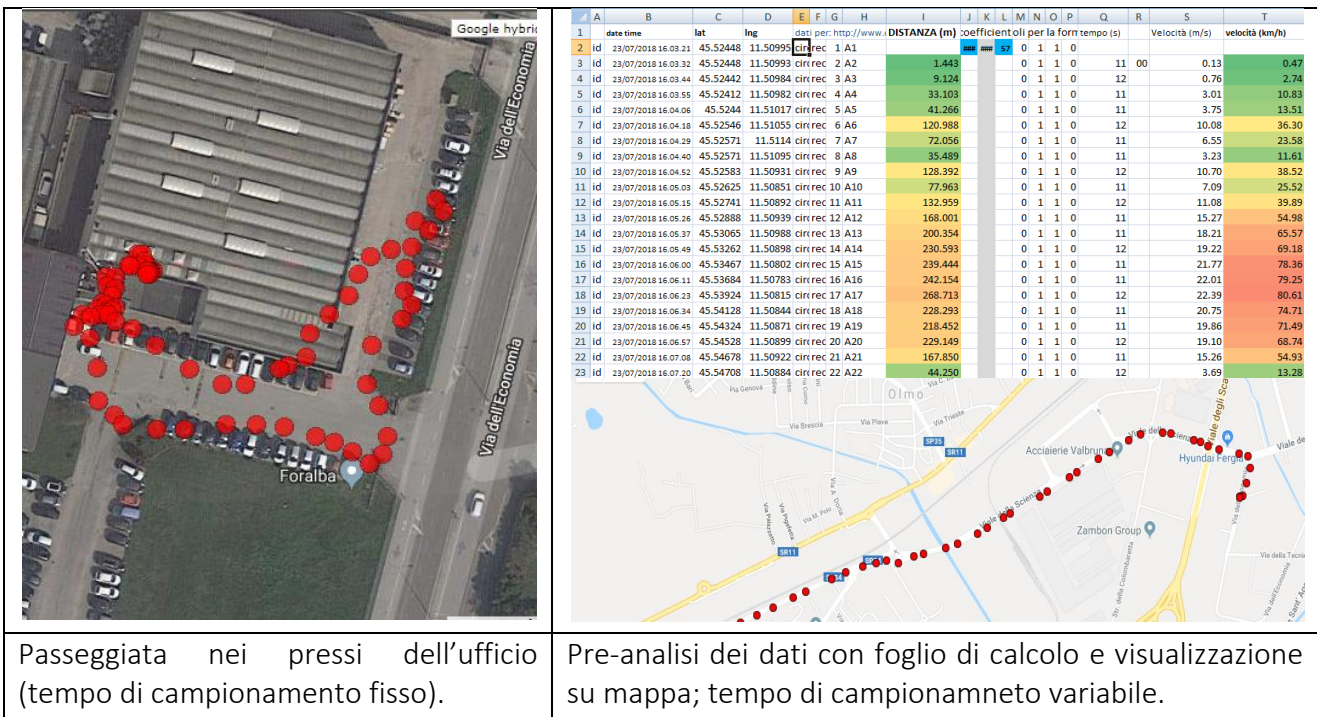
```

smartDelay(tempoIntermedio);

// funzione smartDelay
static void smartDelay(unsigned long ms)
{
    unsigned long start = millis();
    do
    {
        while (ss.available())
            gps.encode(ss.read());
    } while (millis() - start < ms);
}

```

Lo strumento consente di estrapolare il percorso fatto dallo strumento. I risultati dei primi test si possono vedere concretamente nella Fig. 56.



Passeggiata nei pressi dell'ufficio (tempo di campionamento fisso).

Pre-analisi dei dati con foglio di calcolo e visualizzazione su mappa; tempo di campionamento variabile.

Fig. 56 - Esempi applicativi dello strumento GPS realizzato con elettronica open-source.

11.2 Considerazioni

Il progetto di ricerca ha avuto ricadute concrete all'interno dell'intera organizzazione e lo sviluppo del modulo di registrazione della posizione ne è una concreta dimostrazione.

Le competenze e l'approccio maturato durante il progetto ha dato il via per lo studio di fattibilità di un nuovo progetto inerente la mobilità. Esso riguarda la ricerca di modelli organizzativi e di business dedicati all'utilizzo di auto con azionamento elettrico per funzioni di trasporto merci leggere all'interno dell'ambito cittadino.

12 Glossario, acronimi, definizioni

Il capitolo illustra i termini, gli acronimi e le definizioni usate più frequentemente nella relazione.

Nella presente relazione gli acronimi utilizzati hanno il significato espresso in Tab. 7.

Tab. 7 - Tabella acronimi.

| acronimo | Descrizione |
|----------|--|
| ACS | Acqua calda sanitaria |
| EPC | Energy Performance Contract |
| ESCo | Energy Saving Company. |
| HTTP | HyperText Transfer Protocol |
| Mbps | megabit per secondo: indica la capacità di trasmissione di dati su una rete informatica; nelle telecomunicazioni ed in informatica la velocità di trasmissione è espressa in bps oppure bit/s ed esprime la quantità di informazione che può essere trasmessa nel tempo. |
| PLC | Power Line Communication: a seconda del contesto si indica la tecnologia oppure un dispositivo hardware con funzione di nodo oppure di gateway. |

13 Works Cited

Bianchi Bandinelli, R., & Miori, V. *Appunti di domotica*. Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione "A. Faedo" (ISTI).

Mattern, F., T., S., & Weiss, M. (2010). ICT for Green - How computers can help us to conserve energy. *Efficient Computing and Networking, e-Energy 2010*. Passau.

McKinsey&Company. (2015). *The Internet of Things: mapping the value beyond the hype*. McKinsey Global Institute.

Mobistyle. (s.d.). Tratto da Mobistyle: <https://www.mobistyle-project.eu/en/mobistyle>

Tiefenbeck, V. e. (2016). Overcoming Salience Bias: How Real-Time Feedback Fosters Resource Conservation., (p. 1458 - 1476).

Xu, P. e. (2011). Success factors of energy performance contracting (EPC) for sustainable building energy efficiency retrofit (BEER) of hotel buildings in China. *Energy Policy* , 7389 - 7398.

Zhou, K., & Yang, S. (2016). Understanding household energy consumption behavior: The contribution of energy big data analytics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , 810-819.

