



Ricerca di Sistema elettrico

# TECNOLOGIE ICT PER L'EFFICIENTAMENTO NEI PROCESSI INDUSTRIALI: RETI DI SENSORI ATTRAVERSO L'APPLICAZIONE DI PROTOCOLLI M2M

M.-A. Segreto, S. Beozzo, R. Guida  
G. Campobello, A. Segreto, S. Serrano

TECNOLOGIE ICT PER L'EFFICIENTAMENTO NEI PROCESSI INDUSTRIALI: RETI DI SENSORI ATTRAVERSO  
L'APPLICAZIONE DI PROTOCOLLI M2M

Maria-Anna Segreto, Roberto Guida, Simone Beozzo (ENEA Bologna)

Settembre 2016

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

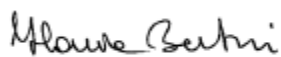
Piano Annuale di Realizzazione 2015

Area: efficienza energetica e risparmio di energia negli usi finali elettrici e interazione con altri vettori energetici

Progetto: Efficienza energetica nel settore industria

Obiettivo: E.1 Rete di sensori e attuatori per progetti M2M

Responsabile del Progetto: Ilaria Bertini, ENEA



Responsabile Scientifico: Maria-Anna Segreto, ENEA



## Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE .....	5
2 DEFINIZIONE DELLE SPECIFICHE .....	7
2.1 INDIVIDUAZIONE DEL SETTORE DI APPLICAZIONE E CRITICITÀ .....	7
2.2 VANTAGGI E SVANTAGGI DEI SISTEMI IOT .....	9
2.3 LA COMUNICAZIONE M2M .....	9
2.4 CARATTERISTICHE DELL’M2M E APPLICAZIONE AL CASO STUDIO .....	10
3 CONCLUSIONI.....	18
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	19
5 INDICE DELLE FIGURE .....	20

## Sommario

Il documento introduce la tematica relativa alle tecnologie ICT per l'efficiamento utilizzate nei processi industriali; nello specifico tratterà l'attuazione di reti di sensori attraverso l'applicazione di protocolli M2M (Machine to Machine).

Le Reti di sensori, formate da numerosi dispositivi capaci di interagire con l'ambiente circostante e i diversi utenti, capaci, inoltre, di comunicare tra di loro, al fine di monitorare e controllare attraverso opportune funzioni di attuazione uno o più fenomeni fisici, sono oggi impiegati in molteplici ambienti applicativi (settore industriale, militare, ambientale, biomedico, domestico) grazie, anche, al basso costo unitario, alle ridotte dimensioni e alla facile installazione e manutenzione.

L'attività svolta in collaborazione con l'Università di Messina ha come obiettivo lo studio dei protocolli M2M col fine di una larga applicazione nel settore industriale con l'obiettivo di ridurre i consumi energetici nel processo produttivo.

## 1 Introduzione

Il presente report presenta i risultati di un'attività sviluppata all'interno di un accordo tra il Ministero dello Sviluppo Economico ed ENEA. MiSE ed ENEA hanno stipulato un Accordo di Programma in base al quale è concesso il finanziamento delle attività di ricerca affidate all'ENEA all'interno del Piano Triennale della Ricerca nell'ambito del Sistema Elettrico Nazionale 2015-2017, approvato con Decreto Ministeriale. L'Accordo prevede un'attività di ricerca dal titolo "Efficientamento dei processi industriali attraverso reti di sensori e di attuatori in grado di interagire con i diversi utenti e tra di loro attraverso opportuni protocolli M2M" all'interno dell'obiettivo "E.1 Rete di sensori e attuatori per progetti M2M". Tale attività è stata svolta con il supporto dell'Università di Messina, Dipartimento di Ingegneria.

Il report introduce la tematica relativa alle tecnologie ICT per l'efficientamento utilizzate nei processi industriali; nello specifico tratta l'attuazione di reti di sensori attraverso l'applicazione di protocolli M2M (Machine to Machine).

Lo sviluppo delle reti di sensori risulta particolarmente interessante grazie all'utilizzo di dispositivi wireless che consente l'eliminazione di cavi e connettori, sia per l'alimentazione sia per la comunicazione. Questo aspetto consente di ridurre ulteriormente i costi ed introduce caratteristiche tipiche delle Reti di sensori Wireless (Wireless Sensor Network - WSN), come ad esempio la facilità di ri/posizionamento, la flessibilità, l'accuratezza, ecc. L'impiego delle WSN, però, presenta delle problematiche che devono essere opportunamente indagate in fase di progettazione, fra cui la sicurezza della trasmissione dei dati (cyber-security) e la non predicibilità di comportamento dovuta all'enorme quantitativo di variabili che possono entrare in gioco (interferenze, interazione con l'ambiente, ...).

In una prima fase delle attività è stato definito il settore di applicazione (processi industriali) fornendo delle specifiche, sia in termini software che hardware, dei diversi componenti che costituiscono il progetto, in particolare:

- analisi dei diversi nodi sensore presenti sul mercato;
- analisi dei diversi protocolli di comunicazione non proprietari con particolare attenzione sia all'affidabilità che alla sicurezza dei dati;
- studio delle possibili tecniche per minimizzare il consumo di ogni singolo nodo per poterne massimizzare il tempo di vita;
- ricerca di un appropriato modello che fornendo in ingresso le diverse misure acquisite possa restituire un adeguato insieme di configurazione per le funzioni di attuazione finalizzato all'efficientamento del processo monitorato;
- studio di un interfaccia software per i diversi utenti quanto più flessibile, efficiente e robusta.

Visto il crescente interesse nei confronti degli argomenti succitati, è stato, inoltre, necessario effettuare un'analisi di mercato con l'obiettivo di individuare una gamma di funzionalità richieste dai diversi utenti e prevedere eventuali esigenze future.

A conclusione di questa fase sono stati raggiunti i seguenti obiettivi:

- la definizione delle specifiche dell'applicazione;
- la scelta del software e dell'hardware;
- la definizione del sistema composto dai diversi nodi sensore in relazione alle scelte hardware fatte in precedenza;
- la scelta dei protocolli di comunicazione;
- la definizione di un modello con le finalità sopra descritte.

Sulla base dei risultati ottenuti si è proceduto con la progettazione della rete di sensori/attuatori e lo sviluppo del software che costituirà parte integrante del progetto.

Per la gestione dell'intera rete e per permettere l'interazione dei diversi utenti con i servizi realizzati, si è, inoltre, proceduto alla progettazione di sistemi di archiviazione e alla realizzazione di applicativi software finalizzati ad offrire un frontend per l'acquisizione e l'elaborazione dei dati provenienti dalla rete e un backend per rendere tali dati accessibili e/o utilizzabili dai diversi utenti.

## 2 Definizione delle specifiche

### 2.1 Individuazione del settore di applicazione e criticità

Ad oggi un terzo del consumo totale di energia del nostro pianeta è generato dalle attività produttive e manifatturiere, valore che continuerà ad aumentare a causa dell'enorme crescita demografica e dello stile di vita della popolazione in continuo miglioramento. Proprio per questo motivo il mondo della produzione ha cominciato ad attenzionare in maniera più approfondita le tematiche legate al consumo di energia. E', perciò, possibile affermare che ci aspetta un futuro in cui i processi industriali saranno caratterizzati non solo da impianti e attrezzature a elevata efficienza, ma soprattutto dall'ottimizzazione dei processi stessi: ciò è reso possibile grazie all'adozione di soluzioni hardware e software, che permettono un controllo e una gestione in *realtime* con un effetto immediato e diretto sui consumi (e gli sprechi) energetici.

Nel settore industriale assumono un ruolo chiave le reti di sensori e di attuatori in grado di interagire con i diversi utenti e tra di loro attraverso opportuni protocolli M2M. I componenti chiave di un sistema M2M includono sensori (anche RFID - Radio-Frequency Identification), una connessione WiFi o collegamento di comunicazione GPRS/GSM e ovviamente il software implementato per l'elaborazione dei dati e l'attuazione di criteri decisionali finalizzati allo specifico contesto applicativo.

Negli ultimi anni gli sviluppi tecnologici e le nuove esigenze del mercato hanno portato alla diffusione capillare delle tecnologie ICT (Information and Communication Technologies) e al loro inserimento nella vita quotidiana sia in ambito civile che industriale. Contemporaneamente e in sincronia con questi sviluppi tecnologici si è avuta un'enorme amplificazione del mezzo di comunicazione del millennio: Internet, che in poco più di vent'anni è cresciuto in modo esponenziale passando dalle poche migliaia di collegamenti che contava alla fine degli anni '80 a qualche miliardo di persone collegate in tutto il mondo ad oggi attraverso l'utilizzo di computer, smartphone e tablet. Internet ha vissuto due fasi distinte che hanno modificato profondamente gli stili di vita, abitudini e comportamenti di tutti, dai cittadini alle istituzioni alle aziende: la fase del World Wide Web negli anni '90 e la fase del Mobile Internet negli anni 2000. Oggi, si è già entrati prepotentemente nella terza fase di sviluppo: l'Internet degli Oggetti o "Internet of Things"<sup>1</sup>.

L'Internet delle cose è sicuramente da intendersi come un'evoluzione dell'uso della Rete: gli oggetti si rendono riconoscibili e acquisiscono intelligenza grazie al fatto di poter comunicare dati su se stessi e accedere ad informazioni aggregate da parte di altri. E' quindi quel tipo di tecnologia che in un certo qual modo apprende da se stessa e agisce in real time.

L'applicazione che interessa il nostro progetto vuole in particolar modo rivolgersi all'ambito industriale e all'analisi e verifica delle potenzialità di applicazione ai fini dell'efficientamento energetico

Per quanto riguarda l'applicazione in ambito industriale, queste tecnologie possono intervenire in diversi modi, principalmente agendo su:

- Supporto alla logistica e alla catena di produzione
- Riduzione dei costi energetici e ambientali

Allo stesso tempo, però, possono essere evidenziate alcune criticità che frenano la piena applicazione di queste nuove tecnologie:

- Attualmente i prodotti presenti sul mercato non sono sempre perfettamente compatibili tra di loro

---

<sup>1</sup> In telecomunicazioni, Internet delle cose (o, più propriamente, Internet degli oggetti o IoT, acronimo dell'inglese Internet of things). L'Internet delle cose è una possibile evoluzione dell'uso della Rete: gli oggetti (le "cose") si rendono riconoscibili e acquisiscono intelligenza grazie al fatto di poter comunicare dati su se stessi e accedere ad informazioni aggregate da parte di altri[1].

- La piena applicazione di questa tecnologia ha alla base la collaborazione tra aziende, anche tra competitor,

Il processo di comunicazione tra macchina (centralina) e macchina (server), fino ad arrivare all'utente finale, deve avere alcune principali caratteristiche: rapidità, linearità e dimensione dei dati da trasferire. A questi tre fattori se ne aggiungono altri due legati all'interazione dei processi monitorati, in particolare, l'atomicità e la consistenza del dato stesso.

La difficoltà principale quando si affronta un progetto M2M risiede nella scelta del protocollo corretto di comunicazione tra le macchine e il canale impiegato per la trasmissione delle informazioni (WiFi, GPRS, seriale...).

L'attività svolta in collaborazione con l'Università di Messina ha come obiettivo lo studio dei protocolli M2M finalizzato ad una larga applicazione nel **settore industriale** con l'obiettivo di ridurre i consumi energetici nel processo produttivo. Per rendere il più efficiente possibile un impianto, infatti, è indispensabile conoscere nel dettaglio il comportamento e i consumi dei carichi in real time: oltre a ottimizzare l'uso delle risorse energetiche e valutare le prestazioni del processo questo permette di individuare ed eliminare gli sprechi. Negli impianti industriali con particolare uso dell'energia elettrica, e laddove il consumo di questa fonte è rilevante, il monitoraggio della potenza assorbita tramite la misura della massima domanda è indispensabile anche per evitare il pagamento di penali all'ente distributore. A questo si aggiunge la possibilità di tenere costantemente sotto controllo la qualità dei parametri elettrici, con ricadute positive sulla sicurezza e sui costi di esercizio dei carichi.

Le tecnologie M2M sono state recentemente accostate al concetto di "quarta rivoluzione industriale", più comunemente conosciuta come "Industry 4.0". Tale definizione ha origine da un progetto che aveva l'obiettivo di potenziare la competitività e l'efficienza delle industrie manifatturiere tedesche attraverso l'incremento dell'integrazione di sistemi ciber-fisici nei processi industriali.

L'industria italiana, pur colpita duramente dalla crisi degli ultimi 10 anni, rimane competitiva a tutti gli effetti nel settore manifatturiero, nello specifico, è seconda in Europa e nei primi posti nel mondo. Un cambiamento epocale deriva proprio dall'unione delle competenze e dell'esperienza con la totale automazione ed interconnessione delle produzioni. L'IoT ha avuto una grande influenza sull'attuarsi di questo nuovo percorso di efficienza, infatti, dispositivi e software di controllo e monitoraggio permettono una gestione ottimale in tempo reale dei flussi e dei consumi energetici.

C'è da dire, però, che esistono ad oggi anche dei limiti alla crescita di questo settore principalmente legati alla difficoltà a far emergere progetti di qualità ma anche dovuti al sistema bancario che non finanzia adeguatamente il settore e a limiti informativi, economici e culturali che contengono l'affermarsi della domanda. Non bisogna, inoltre, sottovalutare il fatto che la non adeguata dimensione delle ESCo che circoscrive la capacità di investimento e di realizzazione dei progetti di ampio respiro.

Da numerosi studi effettuati in ambito industriale emerge, comunque, che l'installazione di un sistema "smart" di gestione delle operazioni all'interno di un impianto industriale favorisca l'ottenimento di risparmi energetici per il 30-40% con conseguente abbattimento dei costi energetici.

Volendo approfondire, possiamo affermare con sicurezza che numerosi processi industriali richiedono quantità considerevoli di calore e forza meccanica, allo stesso tempo è possibile affermare che l'ottimizzazione dei fabbisogni energetici degli impianti industriali sta producendo un impatto favorevole sull'ambiente, oltre a un chiaro risparmio sui costi energetici.

Le aree in cui è possibile ottenere i migliori risultati in termini di efficienza energetica e risparmi sono le seguenti:

- Reti di distribuzione di processo, specie se ad alta temperatura
- Scambiatori di calore
- Sistemi in pressione



- Caldaie
- Condotti fumo
- Camini industriali

Se ci spostiamo sui consumi elettrici, possono essere fatte le stesse considerazioni ed è possibile individuare i principali elementi sui quali si possono ottenere buoni risultati in termini di miglioramento dell'efficienza:

- Illuminazione
- Moroti elettrici
- Compressori
- Ventilatori industriali
- Trasformatori

Tutti questi elementi se opportunamente monitorati attraverso una rete di sensori possono condurre a ingenti risparmi soprattutto in considerazione del fatto che si possa agire in real time modificando caratteristiche del processo in corso d'opera evitando così sprechi energetici.

## 2.2 Vantaggi e svantaggi dei sistemi IoT

Le tecnologie IoT sono ormai ben sviluppate ed i costi della componentistica sono sempre più bassi; i campi di applicazione delle tecnologie digitali sono molti ampi e gli effetti positivi che hanno sul risparmio energetico appaiono evidenti. Per contro, le barriere che limitano la diffusione dell'IoT risultano ancora rilevanti: la domanda è poco sviluppata e queste tecnologie non sono ancora percepite come necessarie dal mondo dell'industria se non in casi limitati; vi sono rilevanti ostacoli di natura infrastrutturale collegati all'inadeguatezza della rete tlc che, oltre ad avere costi di accesso elevati, non è adeguata a supportare milioni di dispositivi connessi; ci sono, inoltre, aspetti relativi alla sicurezza ed alla privacy dei dati che circolano nel network. Per sostenere la crescita del mercato IoT per l'efficienza energetica è indispensabile, quindi, stimolare la domanda attraverso mirate strategie commerciali, sviluppare le adeguate infrastrutture di rete e introdurre opportuni meccanismi incentivanti o riduzioni dei costi di accesso alla rete.

L'implementazione di sistemi di questo tipo richiede ovviamente competenze eterogenee e multidisciplinari che spaziano dalla conoscenza del dominio di applicazione, alla conoscenza delle architetture internet, dalla realizzazione di sensori hardware, alla capacità di analizzare i dati da essi prodotti; ma anche le tecnologie e gli strumenti di implementazione sono molteplici e devono essere scelti in modo opportuno a seconda delle necessità.

## 2.3 La comunicazione M2M

Machine-to-Machine (M2M), Internet of Things (IoT), Cyber Physical Systems (CPS), Industry 4.0, Industrial Internet, Internet of Everything, Big Data, e TSensors sono tutti nomi di paradigmi (fra loro sovrapposti e interconnessi e di cui spesso si perdono i confini) che riflettono diversi sforzi e tecnologie mirate alla comunicazione fra il mondo dell'informazione (fatto da risorse informatiche come database e software), il mondo cybernetico (fatto da macchine e dispositivi) e il mondo reale (fatto da uomini e oggetti di uso comune da parte dell'uomo stesso) [2].

E' generalmente riconosciuto che lo sviluppo previsto del M2M dovrebbero consentire la larga e rapida diffusione di numerose applicazioni. Settore rilevante è il *metering*: sono previste 71 milioni di connessioni nel 2016. In particolare, l'Italia si distingue per la diffusione del metering elettrico e del gas con numeri consistenti in termini di dispositivi installati (primo paese al mondo a sostituire i contatori elettromeccanici con strumenti intelligenti).

Ovviamente anche lo *Smart Home & Building* si colloca tra le applicazioni emergenti così come il *remote monitoring* che prevede sensori connessi ad assets, registrati e monitorati in tempo reale, che costituiscono una delle applicazioni più consolidate e conosciute del M2M.

In Italia la diffusione di questi protocolli è stata particolarmente veloce soprattutto grazie ad alcuni obblighi normativi [3].

Lo *Smart Metering* rappresenta, infatti, una delle applicazioni di rilievo nel contesto del M2M. La delibera n. 292/06 dell’Autorità per l’energia elettrica e il gas e il sistema idrico (AEEGSI) costituisce una delle prime (e poche) applicazioni europee con milioni di dispositivi installati. È oggi, inoltre, in fase di sviluppo lo *smart metering gas*. L’AEEGSI, con la deliberazione 393/2013/R/gas, ha, poi, avviato una sperimentazione di soluzioni *smart metering multiservizio* allo scopo di verificare in campo l’efficacia e l’efficienza della condivisione dell’infrastruttura di comunicazione, altrimenti dedicata allo *smart metering gas*, con altri servizi di pubblica utilità, anche non soggetti alla regolazione dell’Autorità ma inseriti in una logica *Smart City*.

## 2.4 Caratteristiche dell’M2M e applicazione al caso studio

Benché non esista una definizione universalmente riconosciuta, nell’ambito delle comunicazioni M2M si possono riconoscere quattro elementi caratterizzanti e su questi è stato basato lo studio condotto nell’ambito del progetto:

1. la raccolta dei dati
2. la trasmissione
3. l’estrazione dell’informazione
4. l’utilizzo dell’informazione estratta.

Il processo di comunicazione M2M parte dall’acquisizione dei dati da una macchina al fine di analizzarli e trasferirli utilizzando una rete di comunicazione. L’obiettivo di questo sistema è di creare un ponte tra l’intelligenza della macchina e il sistema di elaborazione e fruizione dell’informazione. Ciò significa che la complessità dell’M2M è fortemente dipendente dalla particolare applicazione considerata.

Il primo punto che, quindi, è stato necessario approfondire è stato quello relativo alla **raccolta dati** andando a definire quali sono gli elementi che è necessario conoscere per poter variare il funzionamento e la conseguente performance di un’apparecchiatura. In ambito di processo industriale sono stati individuati degli elementi fondamentali sui quali sia possibile costruire una serie di azioni specifiche per promuovere e implementare soluzioni di efficientamento energetico: condizionamento, ventilazione, aria compressa, sistemi di movimentazione, efficienza dei motori, produzione di energia (caldo/freddo/energia elettrica/vapore...). Tutti questi elementi forniscono dei dati essenziali che devono essere raccolti ed analizzati in termini di misure di consumi (kWh, kWh<sub>e</sub>, m<sup>3</sup>...), ma anche in termini di parametri di funzionamento (numero di giri, temperature, portate, illuminamento...). Lo studio condotto ha, quindi, consentito di catalogare i dati necessari da collezionare per ognuno degli elementi da monitorare.

Obiettivo principale dell’automazione industriale è quello di accrescere il numero di risorse interconnesse (sensori, attuatori, basi di dati, ecc.) di modo che sistemi distribuiti e macchine intelligenti possano migliorare la visibilità e quindi la gestione del processo produttivo. Gestione in tempo reale dei processi, integrazione di nuove tecnologie, aumento della produttività e della qualità dei prodotti con riduzione dei consumi energetici, sono gli elementi cui il nuovo paradigma del IoT tende. Per soddisfare tali requisiti diventa, quindi, indispensabile conoscere nello specifico tutti i parametri da monitorare, parametri che variano caso per caso [4].

Per ottenere un monitoraggio continuo e quanto più possibile completo si utilizzano delle reti di sensori composte da diversi dispositivi (nodi di sensori) che hanno la capacità di interagire con l’ambiente e

comunicare tra loro con l'obiettivo di monitorare e/o controllare un fenomeno fisico. Tutte le funzioni principali sono, quindi, assolate sui sensori che misurano le grandezze e le elaborano.

Durante queste operazioni un elemento distintivo che caratterizza la bontà e l'efficacia dei dati raccolti è la *frequenza di campionamento*; essa può differire di diversi ordini di grandezza in funzione dell'elemento fisico da monitorare: se elementi come la temperatura, l'umidità o la pressione atmosferica può essere ragionevole anche un campione ogni trenta secondi, nel caso del monitoraggio real-time di sistemi vibranti diventa essenziale una frequenza dell'ordine delle decine di campioni al secondo.

È quindi indispensabile poter fissare tale parametro in accordo alle grandezze misurate; nell'ambito dell'attività svolta si è, quindi, ritenuto sufficiente permettere una configurazione manuale della frequenza di campionamento mediante apposite interfacce grafiche. In particolare il firmware sviluppato permette di configurare tale parametro da remoto mediante l'invio di appositi pacchetti di inizializzazione (set-up).

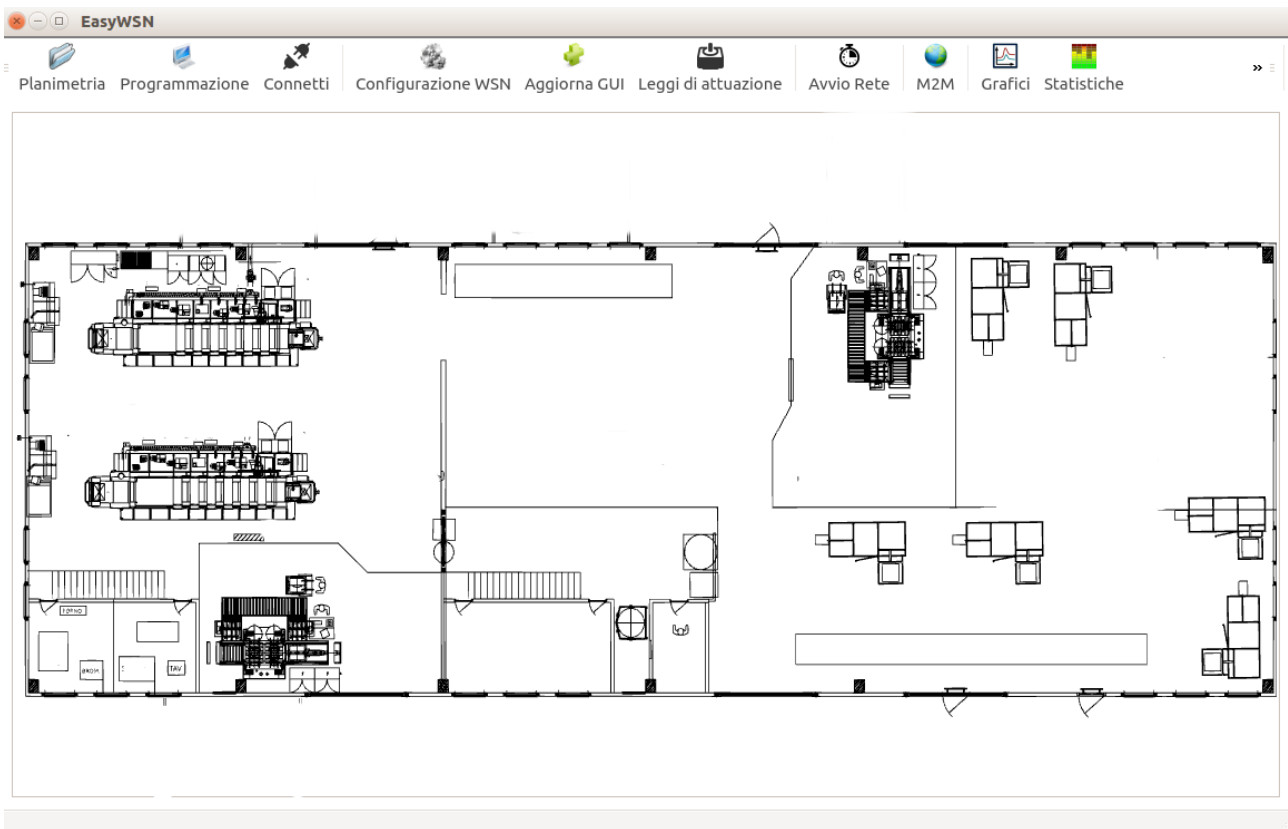
SISTEMA	Elementi da monitorare	Unità di Misura
Riscaldamento	Portata fluido vettore	m <sup>3</sup>
	Temperatura richiesta	°C
	Temperatura esterna	°C
	Umidità relativa	%
	Ricambi/ora	N
Raffrescamento	Portata fluido vettore	m <sup>3</sup>
	Temperatura richiesta	°C
	Temperatura esterna	°C
	Umidità relativa	%
	Ricambi/ora	N
Illuminazione	Potenza lampade	W
	Illuminamento	lux
Centrale Termica	Portata fluido ingresso	m <sup>3</sup>
	Temperatura fluido ingresso	°C
	Condensa - recupero	%
	Condensa - temperatura	°C
	Temperatura fluido uscita	°C
	Pressione fluido uscita	MPa
	Fumi - temperatura	°C
	Fumi - CO <sub>2</sub>	2
Centrale frigorifera	Portata fluido ingresso	m <sup>3</sup>
	Temperatura fluido ingresso	°C
	Temperatura fluido uscita	°C
	Pressione fluido uscita	MPa
Altri impianti a combustibile	Portata fluido ingresso	m <sup>3</sup>
	Temperatura fluido ingresso	°C
	Condensa - recupero	%
	Condensa - temperatura	°C
	Temperatura fluido uscita	°C
	Pressione fluido uscita	MPa
	Fumi - temperatura	°C
Fumi - CO <sub>2</sub>	2	
Impianto di cogenerazione/autoproduzione	Portata fluido ingresso	m <sup>3</sup>
	Temperatura fluido ingresso	°C
	Temperatura fluido uscita	°C
	Pressione fluido uscita	MPa
Centrale aria compressa	Temperatura aria interna	°C
	Temperatura aria esterna	°C
	Pressione aria	MPa
	Pressione serbatoio	MPa

Figura 1: Esempio di lista degli elementi da monitorare

Per la **trasmissione di dati** attraverso una rete di comunicazione possibili soluzioni sono: le reti cellulari, le linee telefoniche in postazione fissa, i link satellitari e le reti ad hoc. Anche in questo caso, la scelta dell'infrastruttura più idonea dipende dalle caratteristiche dell'applicazione stessa. Ad esempio, nel monitoraggio di apparecchiature in aree remote si predilige l'utilizzo di reti satellitari. In aree in cui le infrastrutture cellulari sono diffuse capillarmente sul territorio è conveniente utilizzare reti di tipo radiomobile basate su Sim dedicate. È evidente che all'aumentare della disponibilità dei canali di comunicazione diminuisce il costo del servizio. All'interno del Report "RdS/PAR2015/073 - Reti di sensori e attuatori per progetti M2M per l'efficientamento dei processi industriali" sono stati studiati ed evidenziati i protocolli utilizzati nell'ambito della nostra applicazione. Poiché allo stato attuale è disponibile un vasto numero di protocolli di comunicazione wireless con differenti caratteristiche e prestazioni è stata di fondamentale importanza l'individuazione di quelli che maggiormente rispondono alle specifiche del progetto.

I protocolli Machine-to-Machine (M2M) hanno come obiettivo quello di permettere lo scambio di informazioni fra dispositivi in maniera totalmente autonoma, ovvero senza un coinvolgimento esplicito da parte dell'uomo (se non limitatamente ad operazioni di supervisione); in tale contesto l'accezione "macchina" va quindi intesa in antitesi alla parola "uomo", per riferirsi in genere a dispositivi (sensori, tag RFID, attuatori, ecc.) o anche parti di software (agenti). Questi protocolli costituiscono l'elemento fondante del paradigma dell'Internet of Things (IoT) [2].

Per quanto riguarda l'**estrazione dell'informazione** e, quindi, l'interpretazione del pacchetto dati trasmesso, i dati, una volta raccolti e trasmessi, convergono in un sistema che li analizza in modo automatico attraverso software dedicati. All'interno del nostro progetto, è stato possibile utilizzare il software di gestione easyWSN, di cui sono stati messi a disposizione di ENEA i codici sorgente, per visualizzare ed elaborare i dati raccolti e trasmessi. Grazie all'utilizzo dei codici sorgente del software si è avuta la possibilità di customizzare lo stesso in funzione delle esigenze progettuali, soprattutto in merito alle leggi di attuazione necessarie per comandare i dispositivi della rete. Il software permette anche di configurare la rete di sensori e di monitorarne lo stato e/o fornire comandi di attuazione mediante il protocollo M2M COAP. Attraverso un interfaccia grafica è possibile inserire il layout della plametria (Fig.2), ciò consente il posizionamento dei nodi dopo la loro configurazione:



**Figura 2: Schermata di inserimento planimetria**

Il pulsante “Programmazione” apre una shell del sistema operativo che permette la programmazione dei dispositivi; a questo punto i dispositivi programmati possono essere fisicamente posizionati nell’ambiente reale e premendo il pulsante “Connetti” il software di gestione rileva la presenza dei dispositivi. Premendo il pulsante “Configurazione WSN” l’amministratore può inserire una descrizione simbolica del nodo per facilitarne l’identificazione. I parametri che possono essere impostati sono:

- **Periodo di campionamento:** specifica il tempo di campionamento delle grandezze fisiche misurate dal nodo sensore (temperatura, umidità, ecc.); per semplicità tale periodo è lo stesso per tutte le grandezze acquisite.
- **Periodo LPL:** è il massimo intervallo di tempo in cui il transceiver del nodo rimane in stato di inattività (sleep)
- **Periodo Trasmissione:** specifica ogni quanto verrà trasmesso un pacchetto (in pratica il rapporto fra tale periodo e il periodo di acquisizione determina il numero di misure trasmesse per ogni singolo pacchetto).
- **Attuazione:** questo campo è un flag che specifica che per tale nodo sono previste una o più leggi di attuazione (da configurare successivamente).
- **Abilitazione:** questo campo è un flag che specifica se un nodo dovrà essere o meno visualizzato e abilitato al reale funzionamento. In tal modo è possibile definire delle configurazioni virtuali dei nodi da richiamare all’occorrenza.

Chiusa l’interfaccia di ConfigurazioneWSN compariranno nell’area di disegno delle icone rappresentanti i nodi sensori precedentemente abilitati (Fig. 3). I nodi rilevati appaiono allineati in alto nell’area di disegno ed è possibile procedere al loro posizionamento.



Figura 3: Nodi rilevati automaticamente in fase di configurazione

Le icone possono apparire come illustrato in Figura 4 a seconda dello stato di funzionamento.



Figura 4: Stati possibili dei nodi sensore

A questo punto è possibile posizionare opportunamente tali icone nell’area di disegno in modo da rispecchiare la posizione reale del nodo sensore nell’ambiente fisico da monitorare/controllare.

Una volta ottenuta l’informazione è, ovviamente, necessario stabilire come debbano agire i diversi attuatori al fine di modificare il funzionamento della macchina per renderla più efficiente dal punto di vista energetico (**utilizzo delle informazioni**). È stato, quindi, necessario definire, per le diverse tipologie di azioni, i range dei parametri per la configurazione degli attuatori ai fini dell’ottimizzazione energetica del processo. Questa ultima operazione è di estrema importanza perché la corretta progettazione e installazione del sistema di controllo diventa inefficace se non vengono adeguatamente definiti e tarati i parametri su cui il sistema di controllo andrà poi ad agire.

Attraverso il software easyWSN è stato possibile *configurare gli attuatori* della rete progettata definendo distinte **Leggi di attuazione** dopo aver, ovviamente, indicato l’elenco dei nodi che concorrono alla specifica legge di attuazione. Sono state previste cinque modalità di funzionamento per gli attuatori:

- controllo manuale: invio di un valore desiderato ad un attuatore (Fig. 5)
- controllo ON/OFF temporizzato: invio ad un attuatore di un valore di regolazione con una periodicità desiderata (Fig. 6)
- controllo a catena aperta con segnale di riferimento: generalizza il controllo precedente permettendo di specificare un valore di attuazione differente per ogni fascia oraria (Fig. 7)
- controllo proporzionale a catena chiusa: prevede la possibilità di combinare le misure prelevate da diversi nodi sensori, tramite media aritmetica o pesata, e confrontare il valore ottenuto con un valore di riferimento (Fig. 8)
- controllo PID (Proportional-Integral-Derivative) a catena chiusa: è in grado di reagire a un eventuale errore positivo o negativo (Fig. 9)

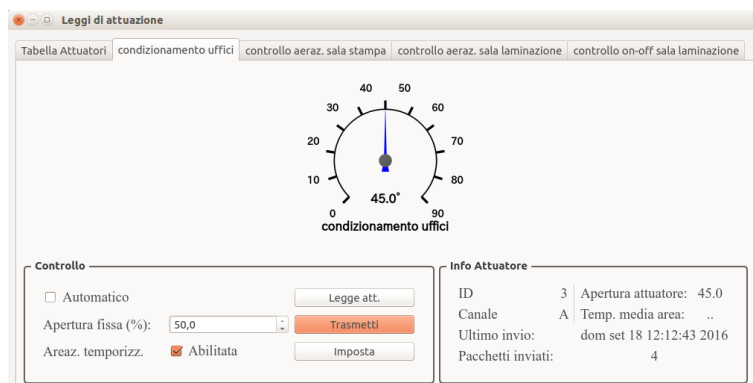


Figura 5: esempio di attuazione in cui l'inclinazione di una griglia di aerazione viene impostata al valore desiderato di 45°



Figura 6: esempio di applicazione della legge di attuazione nel caso di controllo di un sistema di aerazione

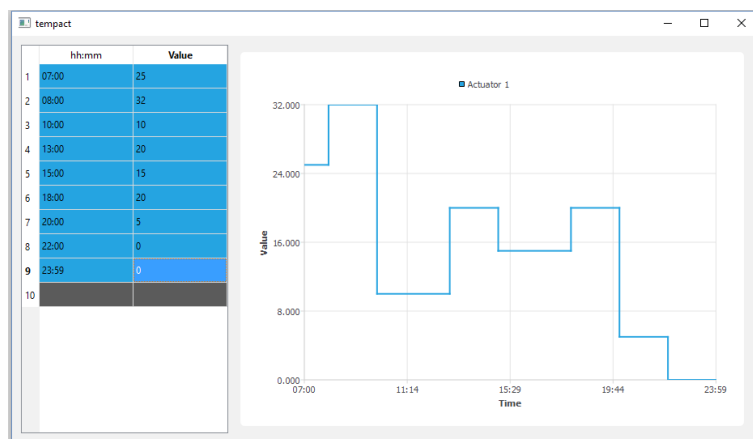


Figura 7: controllo a catena aperta

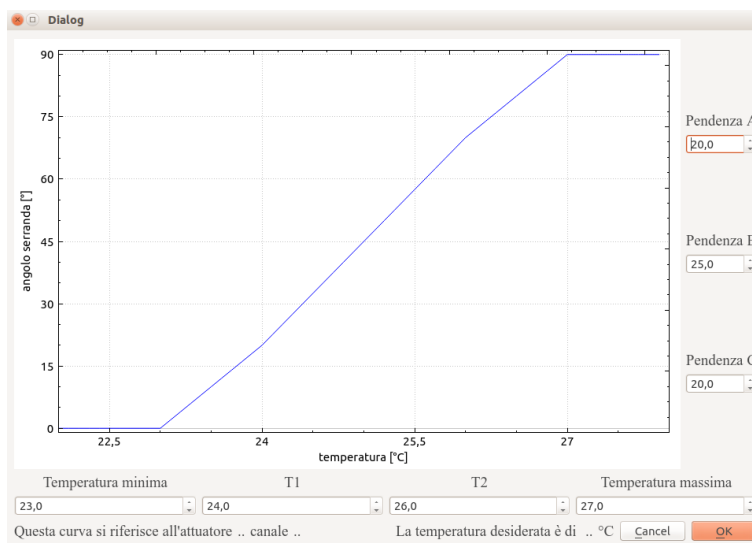


Figura 8: Controllo a catena chiusa

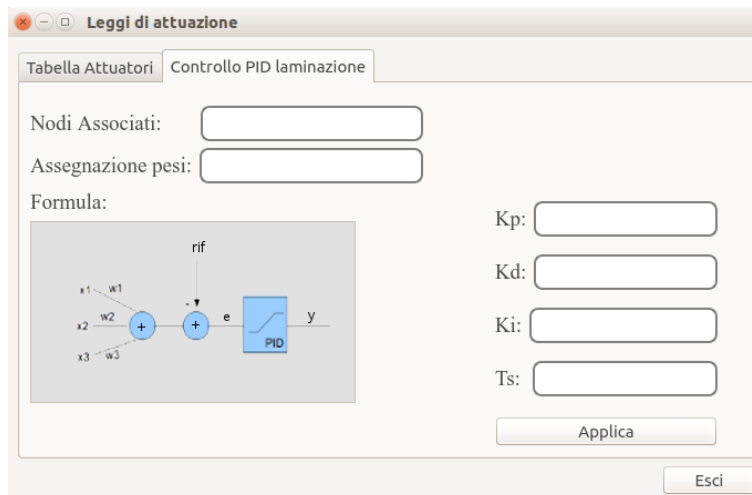
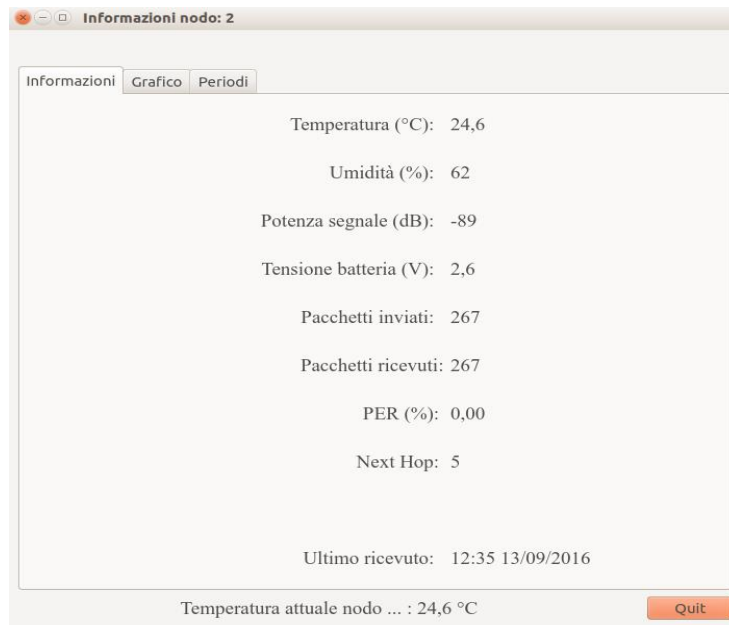


Figura 9: Controllo PID a catena chiusa

La configurazione dei sensori e degli attuatori è resa operativa premendo il pulsante “Avvio Rete”.

Selezionando un nodo nell’area di disegno è possibile, inoltre, ottenere informazioni relative all’ultimo valore acquisito dai sensori, la potenza del segnale, il livello di tensione della batteria, la percentuale di pacchetti persi e un timestamp dell’ultimo pacchetto ricevuto (Fig. 10).





**Figura 10: Informazioni principali relative al singolo nodo**

### 3 Conclusioni

L'attività svolta ha consentito di raggiungere importanti risultati:

- Sono stati individuati, in funzione dei diversi processi, i parametri fondamentali da monitorare
- È stato individuato il protocollo di comunicazione più adatto alle nostre esigenze
- E' stato possibile caratterizzare un software "commerciale" in funzione delle nostre esigenze al fine di renderlo applicabile al maggior numero di casistiche possibili
- E' stato possibile effettuare dei test sperimentali su piccola scala atti a validare la possibilità di utilizzare l'architettura proposta in ambienti industriali ai fini dell'efficientamento energetico

Visti i risultati raggiunti, si ritiene che un grosso passo avanti ai fini della massima penetrazione sul mercato di queste applicazioni possa essere fatto validando sul campo l'architettura proposta con una adeguata campagna di misure finalizzata alla previsione del comportamento energetico di edifici e di processi industriali mediante ad esempio l'uso di modelli inversi.

In conclusione delle attività effettuate è stata, inoltre, valutata la possibilità di spingere oltre la progettazione del sistema di controllo, agendo con una **metodologia proattiva**<sup>2</sup>.

La possibilità di poter percepire anticipatamente i problemi, le tendenze o i cambiamenti prossimi di un sistema o un processo consentirebbe la pianificazione di azioni opportune in tempo utile, prima che si inneschi un evento di inefficienza energetica. Potremmo dire che, anziché basarci su un sistema di controllo intelligente che agisce in real time, possiamo basarci su un sistema intelligente che anticipa le inefficienze abbattendo gli sprechi agendo in prevision time, cioè su quelli che potrebbero essere, entro predeterminati intervalli di confidenza, futuri cambiamenti del sistema.

Una tecnologia di questo tipo è sicuramente vincente in ambito industriale (e non solo) e diventa doveroso indagare affinché possa diventare di applicazione comune in tutti gli ambiti in cui si consuma energia.

---

<sup>2</sup> Riferita al comportamento organizzativo nelle attività industriali, si riferisce a una modalità anticipatoria, orientata al cambiamento e all'auto-iniziativa. Il comportamento proattivo implica, quindi, l'agire in anticipo per una situazione futura.

## 4 Riferimenti bibliografici

I riferimenti bibliografici devono essere richiamati nel testo con numeri progressivi tra parentesi quadre e riportati a fine testo con il seguente formato:

1. <https://it.wikipedia.org/>
2. G. Campobello, N. Donato, R. Guida, A. Segreto, M.-A. Segreto, S. Serrano, “Reti di sensori e attuatori per progetti M2M per l’efficientamento dei processi industriali”, ENEA, Report RdS/PAR2015/073, 2016
3. AA.VV, “Indagine conoscitiva concernente i servizi di comunicazione Machine to Machine (M2M) ai sensi della delibera n. 708/13/CONS”
4. N. Di Franco, “Energy management. Fondamenti per la valutazione, la pianificazione e il controllo dell’efficienza energetica. Con esempi ed esercizi”, Francoangeli Editore, 2015

## 5 Indice delle figure

Figura 1: Esempio di lista degli elementi da monitorare.....	11
Figura 2: Schermata di inserimento planimetria.....	13
Figura 3: Nodi rilevati automaticamente in fase di configurazione .....	14
Figura 4: Stati possibili dei nodi sensore .....	14
Figura 5: esempio di attuazione in cui l'inclinazione di una griglia di aerazione viene impostata al valore desiderato di 45° .....	15
Figura 6: esempio di applicazione della legge di attuazione nel caso di controllo di un sistema di aerazione	15
Figura 7: controllo a catena aperta .....	15
Figura 8: Controllo a catena chiusa .....	16
Figura 9: Controllo PID a catena chiusa.....	16
Figura 10: Informazioni principali relative al singolo nodo .....	17