



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Industriale DII

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria dell'energia Elettrica

STUDIO DI UNA RETE DI MONITORAGGIO DEI CONSUMI  
ENERGETICI DELL'UNIVERSITA' DI PADOVA

*STUDY OF AN ENERGY DEMAND MONITORING NETWORK FOR THE  
UNIVERSITY OF PADOVA*

Relatore : Ch.mo Prof. Arturo Lorenzoni

Laureando : Giulio Meggiolaro matr. 1069204

Anno Accademico 2015/2016



## Indice

Lista degli acronimi.....	5
Sommario.....	8
Introduzione.....	10
<b>CAPITOLO 1 – LE RETI DI CONTROLLO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Introduzione alle reti di controllo .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 Transizione da reti di dati a reti di controllo .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3 Approccio tradizionale e architettura master/slave .....</b>	<b>14</b>
<b>1.4 Approccio innovativo e Architettura aperta.....</b>	<b>16</b>
1.4.1 Componenti di una rete ad architettura aperta.....	17
<b>1.5 Nuove tecnologie in progetti esistenti .....</b>	<b>18</b>
<b>1.6 Vantaggi di una rete di controllo dei consumi.....</b>	<b>20</b>
1.6.1 Aeroporto di San Francisco .....	21
1.6.2 Risparmio conseguente al telecontrollo delle caldaie in UNIBO.....	22
<b>CAPITOLO 2 - RETE DI CONTROLLO IN UNIBO.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1 Piano della sostenibilità ambientale UNIBO.....</b>	<b>25</b>
<b>2.2 Introduzione alla rete UNIBO.....</b>	<b>27</b>
<b>2.3 Il protocollo di comunicazione LONWORKS .....</b>	<b>28</b>
2.3.1 Le origini.....	29
2.3.2 Gli standard.....	29
2.3.3 Utilizzo e applicazioni.....	29
2.3.4 LonMark e interoperabilità .....	30
2.3.5 Aspetti tecnici .....	30
2.3.6 Mezzi di comunicazione .....	31
2.3.7 Transceiver.....	32
2.3.8 Router .....	32
2.3.9 Dispositivi <i>LonWorks</i> .....	33
2.3.10 Interfacce di rete, Gateway e web Server.....	33
2.3.11 Topologia .....	34
<b>2.4 Hardware controllo consumi UNIBO .....</b>	<b>36</b>
2.4.1 Controllo vettore elettrico .....	36
2.4.2 Controllo vettore termico .....	39
2.4.3 Controllo UTA.....	42
2.4.4 Telecontrollo cabina elettrica .....	44
<b>2.5 Software On.Energy .....</b>	<b>45</b>
<b>CAPITOLO 3 – RETI DI CONTROLLO IN UNIPD .....</b>	<b>55</b>
<b>3.1 Situazione energetica UNIPD .....</b>	<b>55</b>
<b>3.2 Telecontrollo caldaie TELECOSTER .....</b>	<b>57</b>

3.2.1 Caratteristiche .....	57
3.2.2 Architettura del sistema .....	58
3.2.3 Comunicazione .....	58
<b>3.3 Introduzione alla rete del polo DEI .....</b>	<b>60</b>
<b>3.4 Il protocollo di comunicazione MODBUS .....</b>	<b>60</b>
3.4.1 Varianti <i>Modbus</i> .....	61
3.4.2 Comunicazione tra dispositivi.....	61
<b>3.4 Il software pinserver .....</b>	<b>62</b>
3.4.1 La cabina di Media Tensione .....	64
3.4.2 Gli edifici DEI/A e DEI/D.....	65
3.4.3 Gli impianti di condizionamento .....	66
<b>3.5 Hardware per il monitoraggio del polo DEI.....</b>	<b>68</b>
3.5.1 Schneider Electric Power Logic EGX300 .....	69
3.5.2 IME IF2E011.....	70
3.5.3 Schneider Electric PM710 Energy Meter .....	71
3.5.4 NEMO D4-L Energy Meter .....	72
3.5.5 Power Distribution Unit (PDU) .....	73
<b>Capitolo 4 - STUDIO DI FATTIBILITA' .....</b>	<b>75</b>
<b>4.1 Differenze tra le reti degli atenei.....</b>	<b>75</b>
<b>4.2 Azioni per l'uniformità della rete UNIPD .....</b>	<b>76</b>
4.2.1 Piattaforma software .....	76
4.2.2 Monitoraggio cabine MT .....	76
4.2.3 Impianti HVAC .....	77
4.2.4 Previsione globale .....	78
<b>Conclusioni .....</b>	<b>82</b>
<b>Ringraziamenti .....</b>	<b>84</b>
<b>Bibliografia e sitografia .....</b>	<b>85</b>

## **Lista degli acronimi**

ASCII - American Standard Code for Information Interchange

BCE - Banca Centrale Europea

CEI - Comitato Elettrotecnico Italiano

CR/LF - Carriage Return / Line Feed

DOR - Digita Output Relays

FIRE - Federazione Italiana per l'uso Razionale dell'Energia

FTT - Free Topology Transceiver

HMI - Human Machine Interface

HVAC - Heating Ventilating and Air Conditioning

ISO/OSI - International Organization for Standardization / Open Systems Interconnection

ISTAT - Istituto Nazionale di Statistica

MID - Measuring Instruments Directive

OID - Object IDentifier

PCI – Peripheral Component Interconnect

PDU - Power Distrubution Unit

PLC - Programmable Logic Computer

RTU - Remote Terminal Unit

SCADA - Supervisory Control And Data Acquisition

SNVP - Standard Network Value Protocol

SNVT - Standard Network Variable Type

TCP- Transmission Control Protocol

TCP/IP - Transmission Control Protocol / Internet Protocol

tep - Tonnellate Equivalenti di Petrolio

UNIBO - Università degli studi di Bologna

UNIPD - Università degli studi di Padova

UTA - Unità Trattamento Aria

VAN - Valore Attuale Netto

VPN – Virtual Private Network



## Sommario

Il presente elaborato ha l'obiettivo di definire le linee guida per la creazione di reti di monitoraggio dei consumi elettrici e termici degli edifici dell'Università di Padova.

Nel primo capitolo si può trovare una panoramica generale relativa alle reti di controllo, alla loro transizione dalle reti di dati ed alla loro evoluzione nel tempo.

Il secondo capitolo pone l'attenzione sul progetto di una rete di monitoraggio attiva all'Università di Bologna, descrivendo il protocollo di comunicazione open *LonWorks* da loro scelto e presentando un esempio per l'informatizzazione delle loro strutture.

Nel terzo capitolo si potrà vedere quale sia la situazione attuale dell'Università di Padova, con una panoramica relativa ai consumi dell'ateneo per poi concentrarsi su alcune reti di controllo già attive, che comprendono il telecontrollo *Telecoaster* delle caldaie e il progetto di monitoraggio attivo nel polo DEI che adotta il protocollo di trasmissione *Modbus*.

Nel quarto capitolo si analizzeranno le differenze tra le reti adottate dai due atenei e proposte le linee guida, con uno studio di fattibilità approssimativo, per la creazione di una rete di controllo globale all'università di Padova.

Verranno infine messe a confronto le due soluzioni adottate per comprendere i limiti e le possibilità di entrambi.





## Introduzione

Che la gestione efficace dell'energia sia diventata una priorità per la maggior parte delle persone è ormai un dato di fatto. Tuttavia, la comprensione del reale significato di efficienza energetica e di come implementare le iniziative di risparmio energetico restano ancora frammentati.

Per questo motivo sono state definite due modalità di approccio all'Efficienza Energetica: Efficienza Energetica Passiva (Passive Energy Efficiency) ed Efficienza Energetica Attiva (Active Energy Efficiency).

Per molti il concetto di controllo dei consumi energetici ruota intorno alla considerazione dei fattori termici dell'edificio, con interventi quali l'isolamento, la posa di doppi vetri e altre misure contro la perdita e la dispersione di calore. Per altri la parola chiave è invece l'illuminazione, benché si limitino spesso all'installazione di sistemi a basso consumo. Per chi presenta bisogni importanti in termini di riscaldamento, la soluzione consiste invece nella scelta di caldaie efficienti.

Tutti questi atteggiamenti sono da considerarsi lodevoli e necessari, ma si tratta solamente di contromisure passive che apportano una riduzione delle perdite di energia invece di intervenire sull'effettivo risparmio dell'energia consumata.

L'Efficienza Energetica Attiva (Active Energy Efficiency) si ottiene non solo installando dispositivi e strumenti a basso impatto energetico, ma anche con un controllo degli stessi che permetta di ottimizzare il consumo energetico. L'aspetto di controllo e monitoraggio è fondamentale per ottenere il massimo livello di efficienza energetica. Per capire meglio quello che si intende dire si provi a immaginare una lampada a basso consumo lasciata accesa in una stanza vuota. Si otterrà semplicemente un minor consumo di energia rispetto a quello che si avrebbe con una lampada normale. Si parlerebbe di reale risparmio se l'accensione e lo spegnimento della lampada si gestissero attivamente solo quando serve tramite apparecchiature specifiche (quali per esempio temporizzatori, crepuscolari, rilevatori di movimento o presenza, ecc.)



**Figura 1**  
**Ciclo delle soluzioni di efficientamento energetico.**  
Fonte: Schneider Electric White paper.

L'Efficienza Energetica Attiva permette di individuare quali siano i campi di utilizzo dell'energia e quindi valutare le migliori modifiche comportamentali e tecnologiche per evitare gli sprechi e il ciclo di efficientamento che si viene a creare può essere semplificato in maniera schematica dalla Figura 1.

È facile comprendere come interventi di automazione e monitoraggio degli impianti che permettano di misurare, controllare e analizzare l'utilizzo dell'energia offrano risultati reali nel tempo. Inoltre, se confrontati ai costi (e alle capacità tecniche necessarie ad evitare rischi) legati all'installazione di soluzioni termiche, il controllo e la gestione dell'energia possono essere implementate ad un costo relativamente modesto e con un ritorno dell'investimento molto rapido. Questo perché la maggior parte delle soluzioni di controllo energia possono essere ammortizzate in pochissimi anni dati i costi sempre crescenti dell'energia.

Un ulteriore fattore molto importante che deve portare ad un piano di Active Energy Efficiency è l'assoluta necessità, d'ora in avanti, di realizzare gli obiettivi di riduzione delle emissioni ed efficientamento energetico fissati dall'Unione Europea entro il 2020. Nel settore dell'edilizia, ad esempio, è risaputo che se non si interverrà energeticamente sugli edifici già esistenti, oltre che su quelli di nuova costruzione, sarà sicuramente impossibile raggiungere tali obiettivi entro il 2020.



## **CAPITOLO 1 – LE RETI DI CONTROLLO**

Nel seguente capitolo si spiegherà cosa si intende per rete di controllo e quali siano le differenze tra queste e le preesistenti reti di dati. Verrà illustrato come l'approccio sia cambiato dalla loro nascita per evolversi da una architettura rigida di tipo master/slave ad una molto più flessibile e innovativa, grazie alla riduzione di dimensioni e costo dei circuiti integrati.

Sarà trattata l'implementazione di nuovi dispositivi in architetture di vecchio tipo, analizzando i limiti imposti da una concezione datata al pieno sfruttamento delle nuove tecnologie.

L'ultima parte invece presenterà i principali vantaggi delle reti di monitoraggio dei consumi portando degli esempi.

### **1.1 Introduzione alle reti di controllo**

La concezione di rete non è una novità nella tecnologia odierna e il concetto nella sua accezione più generale si può ritenere ormai ampiamente assodato. Le applicazioni più diffuse hanno riguardato in maniera quasi esclusiva i cosiddetti computing system, vale a dire le reti di calcolatori; molto meno comuni sono invece i sistemi per il controllo di dispositivi SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

I protocolli di comunicazione impiegati potevano essere adoperati sia per la semplice condivisione di informazioni tra workstation fisicamente non adiacenti che per costituire sistemi distribuiti. In entrambi i casi essi dovevano essere progettati ed ottimizzati per consentire il transito di grandi quantità di dati su mezzi trasmissivi opportuni e con sufficienti garanzie di affidabilità e sicurezza. Con il passare del tempo sono state migliorate una serie di funzionalità ed è stata aumentata la loro flessibilità.

Solo quando il costo dei microprocessori ha raggiunto un livello talmente basso da consentire la loro incorporazione all'interno di controllori e dispositivi, sono stati progettati e poi realizzati i primi protocolli di comunicazione per reti di controllo. Tuttavia soltanto in pochi casi si può dire che sia stato eseguito un vero e proprio tuning delle specifiche progettuali allo scopo di garantire delle performance ottimali; inoltre non esistono, a differenza di quanto accade per le reti di calcolatori, degli standard universalmente riconosciuti, accettati ed adoperati.

In un certo qual modo le control network ampliano le funzionalità delle data network per cui almeno dal punto di vista teorico si tratta di entità più generali. Oltre a questo le reti di controllo rappresentano in un certo senso un'estensione in direzione dei sistemi distribuiti delle reti di calcolatori tipo area network. Sono infatti parecchie le analogie che le avvicinano a questo tipo di strutture, caratterizzate dalla totale trasparenza degli eventi rispetto all'utente e da una gestione interna completamente autonoma; si tratta, in altre parole, di veri e propri organismi complessi unitari costituiti da un insieme di enti che non si limitano a condividere delle risorse comuni, ma che partecipano in maniera attiva e sostanziale al flusso di elaborazione in uscita.

## 1.2 Transizione da reti di dati a reti di controllo

Cominciamo col dire che, il mercato delle reti di controllo vive di una serie di anime: dall'industria del controllo degli edifici (monitoraggio degli accessi, gestione dell'energia, gestione dei sistemi luce e dei sistemi di sicurezza) alla domotica, dalle molte applicazioni in campo industriale a quelle inerenti i servizi di pubblica utilità fino ad arrivare all'industria dei trasporti.

Esistono oggi numerosi protocolli utilizzati in ciascuno di questi campi, e probabilmente, uno dei fattori che maggiormente vincola la crescita di questo settore è proprio l'incertezza su quale di essi prevarrà e diventerà lo standard di mercato. E' chiaro che un primo importante discriminante sarà proprio la capacità di una tecnologia di soddisfare esigenze molto dissimili tra loro.

Una control network recupera informazioni in ingresso (ricevendole da sensori di caratteristiche e generi diversi) le elabora opportunamente e ne fa seguire delle azioni in uscita dipendenti dall'ingresso e dallo stato del sistema.

E' stato già detto come in qualche modo le reti di controllo somiglino a quelle di dati. Le data network si compongono di una serie di computer connessi ad una serie di mezzi di comunicazione differenti, collegati tra loro per mezzo di router e che comunicano l'uno con l'altro utilizzando un protocollo di comunicazione comune come può essere ad esempio TCP/IP. Le reti di dati vengono ottimizzate per movimentare grandi quantità di informazioni ed il progetto del loro protocollo di comunicazione prevede come accettabili ritardi occasionali nelle risposte e nelle consegne dei pacchetti.

Le reti di controllo contengono componenti simili ottimizzate in base al costo, alle prestazioni, alle dimensioni ed alle caratteristiche delle risposte di controllo.

Si possono quindi riassumere le principali caratteristiche di una control network con il seguente elenco:

- il flusso informativo tra dispositivi deve necessariamente essere regolare, affidabile e robusto;
- i dati in transito vengono incapsulati in formato di brevi messaggi (short messages);
- la comunicazione fra dispositivi è di tipo paritetico (peer to peer);
- necessità di realizzare dispositivi piccoli ed economici.

E' stata la necessità di soddisfare questi specifici requisiti, assieme all'idea che uno standard di mercato potesse permettere l'interoperabilità necessaria, a migliorare l'efficienza e aumentare le dimensioni di questo segmento di mercato, che ha portato all'introduzione di protocolli open come *Modbus* e *LonWorks*.

## 1.3 Approccio tradizionale e architettura master/slave

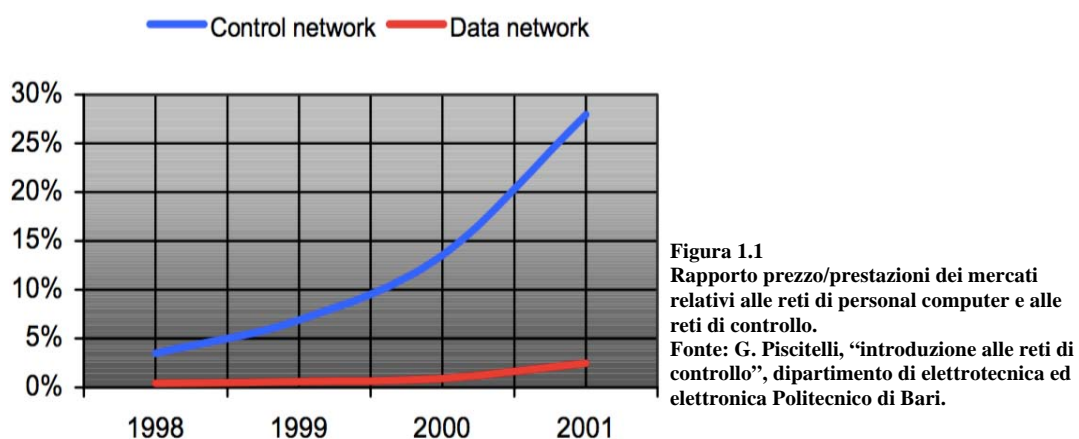
Fino ad alcuni anni fa le logiche di controllo venivano realizzate per mezzo di pannelli a relè elettromeccanici o utilizzando controllori pneumatici. E' stato poi l'avvento della tecnologia allo stato solido ad offrire il mezzo per ridurre i costi e aumentare nel contempo la flessibilità utilizzando circuiti logici per rimpiazzare cavi, tubi e relè. Quello che nel tempo ha fatto la differenza è stata la

sempre maggiore potenza degli algoritmi di governo che potevano così consentire un controllo sempre più accurato dei processi.

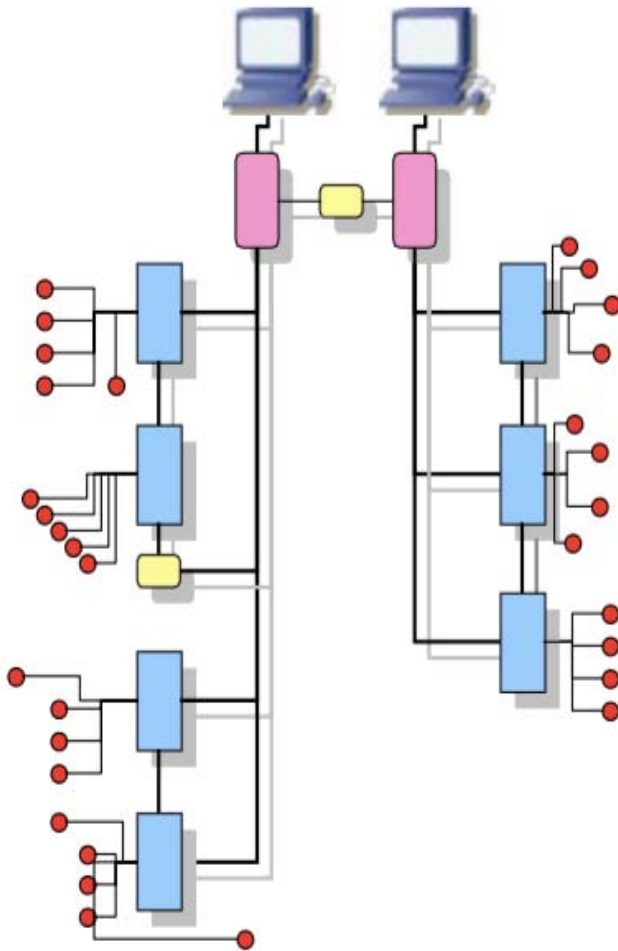
Il problema della flessibilità non è stato tuttavia completamente e definitivamente risolto. Restano le difficoltà legate all'aggiornamento delle componenti di comando in seguito ad eventuali modifiche della configurazione del sistema. In alcuni casi questi impedimenti sono addebitabili alla natura proprietaria di hardware e software. E' molto diffusa infatti la consuetudine di costruire sistemi "chiavi in mano" in cui si provvede a fornire al cliente finale tutto quanto è necessario al funzionamento dell'impianto nel suo complesso, a partire dai protocolli di comunicazione fino ad arrivare alle logiche. Questo approccio, da un lato garantisce un riferimento unico per l'intero sistema per quanto riguarda le responsabilità sul funzionamento e la risoluzione dei problemi ad esso relativi, dall'altro forza l'utente finale a perpetuare il rapporto con il costruttore del suo impianto per la durata dell'intera vita del sistema, limitandone pesantemente scelte e possibilità di intervento autonome.

Per giunta, l'esigenza di progettare e nel contempo produrre, oltre che commercializzare, sistemi così complessi ad opera di un unico autore restringe fortemente l'insieme dei possibili costruttori ad un piccolo gruppo di grandi compagnie, con il rischio di formazione di trust e con la ovvia conseguenza di limitare le potenzialità di sviluppo dell'intero settore.

E' sufficiente confrontare l'incremento del rapporto prestazioni/prezzo relativo al mercato delle reti di personal computer con quello delle reti di controllo (si veda il grafico di figura 0-1) perché venga alla luce il forte divario dovuto ad una diversità di impostazioni generali e ad una differente politica di investimenti.



Tra l'altro, tutti i tentativi di realizzare sistemi che potessero essere composti si sono scontrati contro difficoltà tecnologiche piuttosto serie. Infatti l'incompatibilità dei protocolli di comunicazione relativi a componenti diversi obbliga all'utilizzo di porte RS-232 programmabili, di gateway appositamente strutturati e, in generale, vincola il progettista a soluzioni di natura abbastanza precaria che ledono l'affidabilità del sistema. Le informazioni di controllo vengono veicolate lungo percorsi fissi che in genere finiscono per interessare tutti i sottosistemi, quindi, gli eventuali problemi di funzionamento non possono essere circoscritti con facilità e magari riferiti a specifiche componenti del sistema complessivo e le rilevazioni relative a sensori differenti spesso non sono singolarmente accessibili. In ultimo, ciascuna parte riesce difficilmente ad adattare in tempo reale le proprie risposte in rapporto allo stato di tutto il sistema e questo implica un sensibile decremento delle prestazioni di punta.



**Figura 1.2**  
**Topologia caratteristica di una rete ad**  
**architettura centralizzata.**  
**Fonte: G. Piscitelli, “introduzione alle reti**  
**di controllo”, dipartimento di**  
**elettrotecnica ed elettronica Politecnico di**  
**Bari.**

La figura 1.2 mostra la topologia caratteristica di una rete di controllo ad architettura centralizzata, esempio tipico della maggior parte di sistemi di controllo per applicazioni industriali e commerciali.

Sensori e attuatori sono connessi ad un quadro di comando che, a turno, li collega ad un controller generale per mezzo di un bus di comunicazione master/slave di tipo proprietario. A sua volta il controller monta un microprocessore ad alte prestazioni che provvede al lancio degli applicativi specifici per il governo di tutti i punti di input e di output ad esso legati. Nella maggior parte dei casi questo macro-controller può dialogare con altri di pari dignità attraverso un nuovo bus di comunicazione proprietario. In queste architetture sensori e attuatori sono tipicamente dispositivi di I/O “stupidi” essendo privi di ogni capacità di comunicazione e non disponendo a bordo di alcun tipo di “intelligenza”.

Le architetture di questo genere hanno tipicamente una HMI (Human Machine Interface) proprietaria così come è proprietario l’applicativo di gestione sviluppato e testato tramite appositi tool di programmazione che ciascuna azienda mette a punto in base alle proprie esigenze.

## **1.4 Approccio innovativo e Architettura aperta**

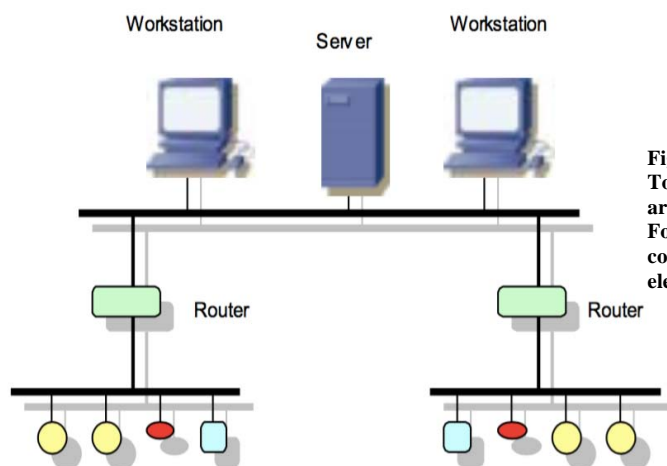
Una open control network è una rete di controllo con una struttura profondamente diversa rispetto alle architetture di tipo centralizzato. Si tratta di un sistema nel quale possono coesistere una serie di dispositivi intelligenti in grado di comunicare autonomamente l’uno con l’altro. Dunque non è richiesto l’intervento di alcun controller di supervisione che raccolga le informazioni dei dispositivi in



fase di trasmissione, ne rilevi provenienza e destinazione per poi successivamente provvedere all'instradamento. Allo stesso modo nessun componente di rete si deve far carico di algoritmi di controllo responsabili del governo del sistema nella sua totalità.

Questo consente a ciascun dispositivo di diffondere informazioni all'interno della rete senza passaggi intermedi; il flusso informativo viene suddiviso in pacchetti e inviato da un mittente a uno o più destinatari. Non occorre altro.

Questa impostazione si discosta in maniera sostanziale da quella tradizionale; la novità sta proprio nella tendenza a distribuire l'intelligenza in direzione della periferia, ad eliminare la gerarchia e a semplificare i meccanismi tecnici di scambio delle informazioni. La successiva fase è poi rappresentata dallo sforzo di universalizzare questo orientamento in modo che esso possa poi divenire uno standard de facto.



**Figura 1.3**  
Topologia caratteristica di una rete ad architettura aperta.  
Fonte: G. Piscitelli, "introduzione alle reti di controllo", dipartimento di elettrotecnica ed elettronica Politecnico di Bari.

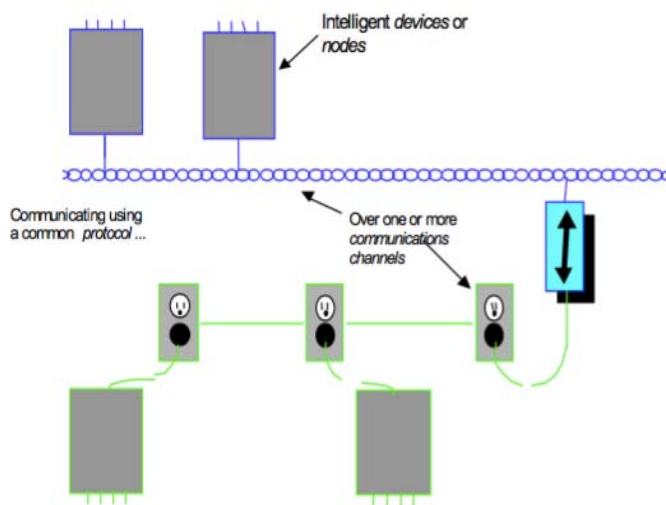
Lo schema mostrato nella figura 1.3 è relativo ad una rete di controllo aperta distribuita e paritetica. Il passaggio da una rete di tipo master/slave, illustrata in Figura 1.2, ad una rete ad architettura "open" come quella di Figura 1.3 è il tipo di cambiamento che si è ottenuto con il passaggio dai software proprietari alla comunicazione aperta che ha determinato la crescita incontrastata di internet.

#### 1.4.1 Componenti di una rete ad architettura aperta

In questo paragrafo si illustrano i costituenti chiave di una rete di controllo aperta. Come si è detto, essa consiste di una serie di device intelligenti (nodi) in grado di dialogare l'uno con l'altro adoperando un protocollo di comunicazione comune su uno o più canali di trasmissione. Ciascuno di essi include uno o più processori che ne costituiscono la "mente" e che servono ad implementare il protocollo. Inoltre, ogni dispositivo monta un ricetrasmittitore (o transceiver) che funge da interfaccia elettrica con il mezzo trasmissivo.

I device diffondono liberamente in rete informazioni specifiche relative all'applicazione che stanno eseguendo. Tuttavia le diverse applicazioni non sono sincronizzate l'una con l'altra e questo potrebbe implicare che dispositivi differenti tentino di trasmettere allo stesso istante generando delle collisioni. Il protocollo di comunicazione fornisce l'insieme di norme e procedure per la regolamentazione dell'accesso al mezzo e cioè definisce la lunghezza e il formato dei messaggi tramite i quali avviene lo

scambio di informazioni, stabilisce le azioni da intraprendere in fase di trasmissione, a ricezione avvenuta ed in caso di collisione. Solitamente il protocollo di comunicazione è inglobato nel firmware del chip di ciascun dispositivo in rete.



**Figura 1.4**  
**Rappresentazione schematica di una rete di tipo aperto.**  
 Fonte: G. Piscitelli, "introduzione alle reti di controllo", dipartimento di elettrotecnica ed elettronica Politecnico di Bari.

Per quel che riguarda i canali di comunicazione, si può dire che ne esistono di diversi tipi e ciascuno con differenti caratteristiche costruttive; in base alla tipologia del mezzo di trasmissione da adoperare occorrerà scegliere un opportuno ricetrasmittitore. Esistono anche ricetrasmittitori idonei al funzionamento su più mezzi e quindi solitamente la scelta di un trasceivere verrà effettuata in base al canale o ai canali che esso supporta. D'altra parte si preferirà un mezzo piuttosto che un altro a seconda delle velocità di trasmissione che si vogliono raggiungere, della topologia scelta per la rete e delle distanze che si intendono coprire. Esistono trasceivere per un'ampia gamma di supporti inclusi cavi arrotolati, onde convogliate, radio frequenze (RF), infrarossi, fibra ottica e cavi coassiali ed è quindi possibile costruirne uno per ogni mezzo, anche se alcuni sono di più difficile implementazione e quindi più costosi.

## 1.5 Nuove tecnologie in progetti esistenti

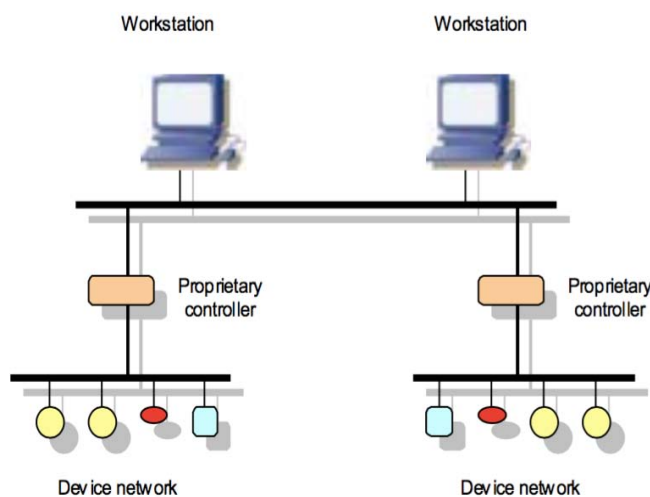
Si può affermare senza temere smentita, che ancora oggi non tutti i costruttori di sistemi di controllo siano effettivamente pronti allo sviluppo integrale di piattaforme realmente e completamente aperte. Lo dimostra il fatto che fra i sistemi attualmente più diffusi ci siano quelli cosiddetti gerarchici. In essi abbiamo una struttura di tipo piramidale (si veda la Figura 1.5) nella quale è determinante la funzione di supervisione dei vertici sulla base.

Al livello più basso abbiamo sensori e attuatori chiusi in una serie di sottoreti (magari anche aperte) detti device network; tuttavia l'accesso ad esse non può avvenire a partire da un punto qualsiasi della rete. Esistono infatti al livello immediatamente superiore dei controller con funzioni di gateway i quali in maniera proprietaria filtrano il flusso informativo da e verso i dispositivi. Gli algoritmi per questi controller non hanno caratteristiche e interfacce standardizzate, per cui non è garantito il loro funzionamento con apparati di altri costruttori. Quindi per quanto la tecnologia del gateway possa

essere moderna, per quanto la tipologia della rete possa far pensare ad una architettura aperta, il risultato complessivo è in realtà un sistema proprietario e quindi tutto sommato abbastanza rigido.

E' evidente che strutture di questo genere rappresentino comunque un passo in avanti rispetto a sistemi completamente proprietari, che un tempo erano l'unica alternativa possibile, ma se si pongono dei vincoli così stringenti sul solo veicolo di comunicazione tra l'ultimo livello e le rimanenti parti della gerarchia, nella sostanza si è ancora lontani da sistemi realmente aperti.

I controller di supervisione consentono la gestione della maggior parte delle funzionalità di controllo di dispositivi di I/O, di unità terminali e di altri controllori. Questi complessi "pannelli di comando" fungono poi anche da gateway per le informazioni che provengono dalle varie reti di dispositivi provvedendo all'adeguamento del loro protocollo di comunicazione con qualsiasi altro meccanismo di trasporto delle informazioni operante ai livelli più alti della gerarchia. Spesso questi controller vengono adoperati allo scopo di fungere da driver appositi per la connessione con altri bus proprietari



**Figura 1.5**  
**Rappresentazione di una rete a struttura piramidale.**  
Fonte: G. Piscitelli, "introduzione alle reti di controllo", dipartimento di elettrotecnica ed elettronica Politecnico di Bari.

o all'atto dell'ammodernamento di un sistema, per incorporarvi vecchie apparecchiature. Questo da un lato garantisce una soluzione al problema dell'integrazione di apparati diversi, dall'altro implica un forte aumento della complessità del sistema. Per rendersene conto basti pensare alle difficoltà generate dalla diversità dei tool per la configurazione e la gestione della rete che ciascun costruttore possiede ed adopera. Per di più ognuno di essi produce una HMI proprietaria per cui chi si occupa dell'integrazione dovrebbe impiegare tempo e risorse per imparare ad adoperare una moltitudine di interfacce prive di standard e con caratteristiche spesso contrastanti.

Quindi si possono riepilogare le ragioni per cui i sistemi ad architettura gerarchica non rappresentano la soluzione ottimale per una rete di controllo:

- sono inutilmente complesse: se si implementasse il sistema con una struttura realmente peer to peer si potrebbe eliminare con certezza il primo livello della gerarchia (supervisione sui controllori) senza alcuna perdita in termini di funzionalità. Non vi sono infatti benefici per l'utente finale derivanti dalla presenza di questo ulteriore layer che apporta costi accessori oltre che un sicuro aumento della complessità legato all'installazione, alla configurazione e alla manutenzione di un secondo aggiuntivo livello di controllo nella stessa rete, basato per altro su una differente tecnologia rispetto a quello inferiore;
- sono sostanzialmente di tipo proprietario: per quanto il livello più basso della piramide possa essere progettato e realizzato in maniera aperta, la presenza di controller proprietari implica

la perdita di quasi tutti fra i più importanti benefici derivanti dall'adozione di un open standard; vale a dire la libertà per l'utente finale di modificare, aggiungere, scegliere e implementare nuove funzionalità e la facilità di gestirle e mantenerle;

- non è possibile comunicare con qualsiasi punto, in qualsiasi momento, da ovunque nella rete: Visto che l'architettura consta di una serie di layer di controllo non è possibile la comunicazione diretta tra dispositivi appartenenti a canali separati. La procedura di acquisizione dei dati rallenta molto la comunicazione: essa prevede la traduzione tra almeno due protocolli diversi e la memorizzazione in un database globale. Questo spesso significa ritardi inaccettabili. Inoltre in generale le caratteristiche architetturali strozzano il flusso informativo tra i dispositivi, riducono la facilità di implementazione degli algoritmi di controllo e dilatano i tempi per l'installazione e la manutenzione dei sistemi.

Dunque nel caso di sistemi gerarchici si può erroneamente credere di disporre delle funzionalità di una open network in quanto il sistema si fonda su una tecnologia di base concepita per essere tale; in realtà è il progetto di rete datato ad inibire queste aspettative. Appare quindi chiara la necessità per una nuova tecnologia di accompagnarsi ad un progetto della rete che consenta di esplicitarne appieno le potenzialità.

## **1.6 Vantaggi di una rete di controllo dei consumi**

Una rete di controllo dei consumi è un particolare tipo di rete di controllo che ha come scopo principale quello di monitorare i diversi vettori energetici utilizzati in una struttura, segnalarne le eventuali anomalie e permettere alla figura preposta alla gestione dell'energia di prendere decisioni strategiche volte a ridurre l'intensità energetica della struttura stessa.

I benefici derivanti da azioni di efficienza energetica attiva sono solitamente di tipo indiretto: il controllo dei consumi permette di intraprendere azioni volte alla riduzione dello stesso, non è dunque fatto di dispositivi che generano autonomamente un risparmio una volta implementati. Questi danno luogo a tutta una serie di esternalità che provocano miglioramenti al comfort negli edifici e riduzione del carico di lavoro per i tecnici, che non sono facilmente valutabili in termini economici. Per questo motivo è molto complicato effettuare una analisi costi-benefici preventiva e, anche successivamente alla loro implementazione, risulta comunque arduo definire con precisione quanto siano efficaci. Rimane comunque un dato di fatto che installazioni di questo genere abbiano portato a dei vantaggi in ogni implementazione dato che la corretta gestione dei consumi è possibile solamente quando si ha la piena conoscenza degli stessi.

I principali vantaggi possono essere riassunti nei seguenti punti:

- minori costi di manutenzione: i programmi di gestione hanno la possibilità di impostare degli allarmi in base a parametri a scelta, è possibile in questo modo essere informati sulle ore di funzionamento di un impianto e naturalmente quando i parametri elettrici o di temperatura delle apparecchiature non sono consoni, facilitando la localizzazione dei guasti e la tempestività di intervento. Grazie a queste informazioni si permette la pianificazione della manutenzione dell'impianto solo quando necessaria, riducendo al minimo gli interventi di controllo;
- miglior comfort nell'edificio: quando si pianificano interventi di efficientemente energetico in qualsiasi edificio, bisogna tenere conto che la priorità assoluta risulta in ogni caso essere il

comfort delle persone che operano al suo interno. Il telecontrollo degli impianti HVAC (Heating Ventilation Air Conditioning), unito al controllo dei consumi elettrici dello stesso, permettono di concertare i diversi vettori energetici della struttura per garantire il corretto funzionamento degli apparecchi all'interno ed evitare l'utilizzo degli impianti di riscaldamento o condizionamento quando non necessari. L'immediata conseguenza si attesta in una riduzione dei tempi di fermo macchina causati da guasti e garanzia di miglior comfort termico negli edifici;

- risparmio energetico ed economico: le reti per il monitoraggio del consumo elettrico consentono di verificare la destinazione finale dell'uso dell'energia, permettendo di pianificare al meglio la sua destinazione e il periodo di utilizzo, nonché prevedere la fattibilità economica di interventi di efficientamento energetico. Attuando il telecontrollo degli impianti di riscaldamento e condizionamento con regolazione automatica si ottengono dei risparmi importanti in termini di consumo di energia grazie alla possibilità di disporre il funzionamento solo quando effettivamente utile o comunque modularne l'andamento quando disponibili controlli a inverter per pompe e motori elettrici e la capacità di accensione o spegnimento degli stessi senza necessità di una persona fisica sul luogo. Come si vedrà nel seguente paragrafo, l'Università di Bologna ha realizzato un risparmio di circa il 15% sul consumo di gas per riscaldamento di un edificio nell'anno successivo all'implementazione dei controlli remoti per le caldaie;
- minor spreco di ore uomo: l'utilizzo di un sistema di supervisione remoto permette il controllo dei consumi senza doversi recare fisicamente nel luogo di ubicazione del contatore e l'accensione e lo spegnimento degli impianti da remoto, richiedendo quindi una minore presenza di personale sul posto o riducendo le ore che un operatore ci debba dedicare. L'individuazione automatica dei guasti permette la loro risoluzione in maniera molto più rapida;
- maggiore tutela: gli strumenti di misura multifunzione dei principali produttori sono certificati MID (Measuring Instruments Directive), quindi le misurazioni effettuate hanno valore legale. In virtù di ciò è possibile confrontare i consumi reali delle utenze con quella contabilizzata dal fornitore e rilevare i valori dei parametri di dispacciamento dell'energia elettrica, quale anche il contenuto armonico, permettendo di aprire contenziosi con il fornitore in caso di anomalie.

### **1.6.1 Aeroporto di San Francisco**

Un esempio calzante di quanto le reti di controllo stiano dando risultati positivi risulta essere l'aeroporto di San Francisco, uno dei più trafficati del mondo, che dal 1997 ad oggi ha investito più di 1,9 milioni di dollari in prodotti della gamma PowerLogic e servizi di ingegneria applicativa di Schneider Electric. La società di gestione dell'impianto ha deciso nel 2006 di espandere le potenzialità del proprio sistema e di standardizzarle utilizzando monitor di circuito PowerLogic per tutti i loro impianti di media tensione.

Il coordinatore degli addetti ai sistemi elettrici dell'aeroporto, Jim Wolanin, ha dichiarato quanto segue: "Questo nuovo sistema di gestione dell'energia fornisce un controllo ancora più accurato, informazioni maggiori e più precise e ci consente di intervenire prima e più velocemente". Ha inoltre riassunto i principali vantaggi dalla messa in opera dell'impianto:

- l'aeroporto utilizza il sistema per ridurre drasticamente la manodopera necessaria per tenere sotto controllo il consumo dell'elettricità da parte degli "inquilini" e per emettere la fatturazione;

- gli addetti alla manutenzione elettrica dell'aeroporto possono avvalersi di un sistema di allerta preventiva, che li avvisa immediatamente di problemi agli impianti elettrici;
- una diagnosi rapida della qualità dell'energia aiuta a evitare lo spreco di ore uomo per cercare di comprendere l'origine dei problemi elettrici;
- l'aeroporto utilizza il sistema PowerLogic e le sue capacità di rilevamento della qualità dell'energia per dimostrare agli inquilini/utilizzatori le cause di specifici problemi di qualità dell'energia.

## 1.6.2 Risparmio conseguente al telecontrollo delle caldaie in UNIBO

L'Università di Bologna nel 2012 ha adottato un sistema di monitoraggio e telecontrollo delle caldaie che verrà descritto nel prossimo capitolo. Ovviamente le percentuali di risparmio sono differenti di sito in sito in quanto le caratteristiche fisiche degli edifici sono molto differenti, però l'implementazione di queste reti ha portato dei risparmi che si attestano mediamente sulla quindicina di punti percentuali rispetto alla media dei consumi degli anni precedenti.

Ad oggi non è stata completata la raccolta di tutti i dati, viene comunque riportata la tabella 1.1 con i dati relativi alla fatturazione del gas per il riscaldamento del complesso di Via Acri 10, con lo storico dal 2010 al 2013.

Anno	DATA EMISSIONE	COSTO €	Smc	Anno	DATA EMISS	COSTO €	Smc	Anno	DATA EMISS	COSTO €	Smc	Anno	DATA EMISS	COSTO €	Smc
2010	20/01/10	2.591,50	3655	2011	21/01/11	5.349,06	4986	2012	19/01/12	2.593,48	2948,8257	2013	11/01/13	4.308,58	4880
	19/02/10	2.745,95	3729		21/02/11	4.683,30	6650		17/02/12	4.681,50	5166,6401		18/02/13	3.579,37	3985,6667
	18/03/10	3.410,51	4635		21/03/11	5.089,54	5702		19/03/12	6.242,79	6962,1611		12/03/13	4.554,79	5133
	15/04/10	3.349,27	4585		13/04/11	5.132,39	6196,5532		20/04/12	3.851,89	4291,0781		19/04/13	2.384,21	2687,7498
	25/05/10	1.776,46	2343		20/05/11	684,57	810,5141		21/05/12	1.776,71	1924		21/05/13	1.740,79	2010
	18/06/10	6,17			20/06/11	6,66			12/06/12	1.007,12	1085,7433		21/06/13	8,92	
	12/07/10	6,17			18/07/11	6,53			11/07/12	8,52			11/07/13	38,71	41,429581
	16/08/10	6,16			18/08/11	6,52			09/08/12	8,51			19/08/13	8,83	
	20/09/10	6,16			16/09/11	6,54			13/09/12	8,53			23/09/13	8,86	
	11/10/10	6,17			24/10/11	6,59			11/10/12	8,52			14/10/13	8,86	
	19/11/10	807,01	997		21/11/11	1.098,37	1260,6849		19/11/12	883,98	1002,5594		21/11/13	0,36	
	17/12/10	4.011,75	4986		13/12/11	3.351,31	3811,9973		17/12/12	2.802,56	3169,7813		25/11/13	985,41	1002,5594
													01/12/13	2800	3169,7813
	tot anno			tot anno				tot anno				tot anno			
	18.723,28	24.930,00		25.421,38	29.417,75			23.874,11	26.550,79			20.427,69	22.910,19		
	media dei consumi			risparmio % consumo											
	26966,18			15,0											
	riduzione consumo Smc														
	4.055,99														

Tabella 1.1

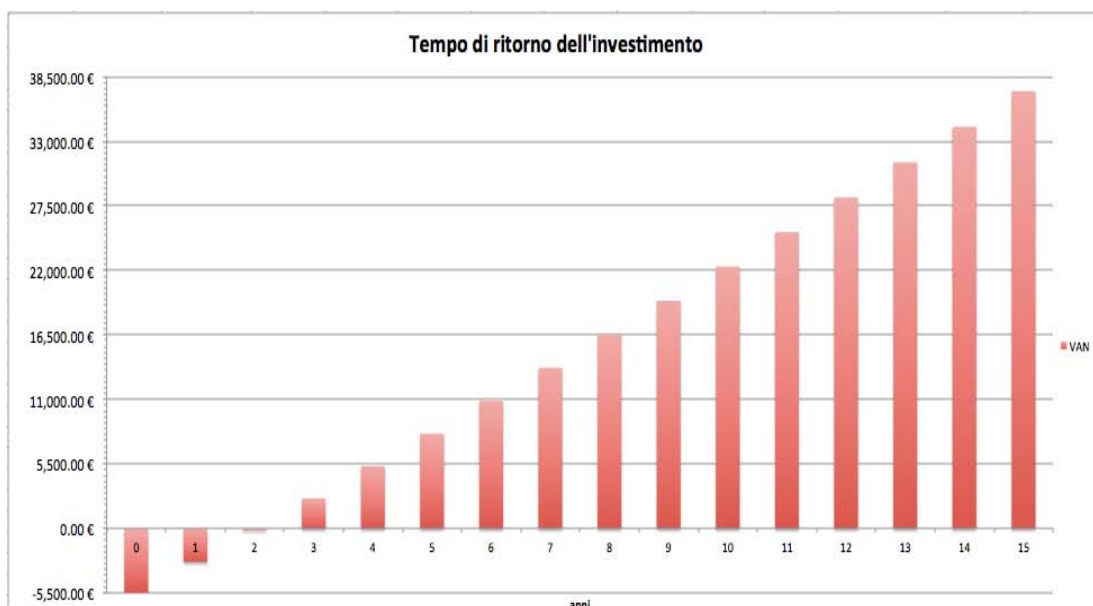
Dati relativi al consumo di gas per gli anni 2010, 2011, 2012 e 2013 del complesso di via Acri 10 a Bologna.

Il consumo energetico dei tre anni precedenti all'implementazione del telecontrollo per le caldaie è stato mediato e, non avendo dati relativi al consumo in Smc per novembre e dicembre 2013, sono stati ipotizzati uguali a quelli dell'anno precedente. Si è poi calcolata la riduzione rispetto alla media dei consumi antecedenti e risulta essere del 15%.

A fronte di una spesa per installazione e start up dell'impianto di circa 5'500€ si sono ottenuti risparmi per più di 2'500€, tenendo conto di un prezzo per la quota variabile dell'energia di 0,65 €/Smc. Ipotizzando un 3,5% di aumento del prezzo del combustibile e i tassi di interesse e inflazione ISTAT relativi agli anni 2012 e 2013, si è calcolato che tale intervento ha garantito dei tempi di ritorno per l'investimento di appena tre anni, come visibile nel grafico di Figura 1.6, ed è possibile notare dall'andamento del VAN (Valore Attuale Netto dell'investimento) come, tenendo conto di una vita media dell'impianto di circa 15 anni, questo garantisca dei risparmi significativi sulla bolletta energetica che permettono di intraprendere ulteriori azioni di efficientamento energetico. La mera

valutazione dei consumi energetici della caldaia sopraccitata non porta autonomamente alla riduzione del consumo di gas; questo è invece conseguente alla diversa programmazione che i tecnici dell'UNIBO hanno implementato nei controllori installati una volta noti l'andamento delle temperature interne ed esterne e il comportamento termico dell'edificio cui la caldaia è asservita.

Per quanto concerne i dati relativi al vettore elettrico purtroppo non sono ancora stati effettuati degli studi approfonditi e, in ogni caso, non sono di facile verifica in quanto i consumi dei diversi edifici cambiano anche in seguito all'attuazione di interventi per l'efficientamento energetico passivo che non sono dovuti all'attività di monitoraggio anche se ne sono una diretta conseguenza.



**Figura 1.6**  
Andamento del Valore Attuale Netto dell'investimento attuato per l'installazione della rete di controllo della caldaia nel complesso di via Acri 10 a Bologna.





## **CAPITOLO 2 - RETE DI CONTROLLO IN UNIBO**

Nel seguente capitolo verrà presentata la rete di controllo attiva all'Università di Bologna. Verrà riportato il piano della sostenibilità ambientale nel quale UNIBO ha presentato il progetto e si parlerà del protocollo di comunicazione da loro scelto, individuandone le caratteristiche, il funzionamento e spiegando il motivo dell'adozione di tale protocollo. Infine verranno presentati degli esempi applicativi per il controllo dei vettori energetici elettrico e termico con la presentazione degli Hardware necessari e una breve spiegazione sulle loro caratteristiche e funzionamento.

### **2.1 Piano della sostenibilità ambientale UNIBO**

Nella presentazione del piano della sostenibilità ambientale dell'Università di Bologna per gli anni 2013-2016, viene presentato il progetto relativo alla "Piattaforma per monitoraggio dei consumi e gestione remotizzata degli impianti" che prevede quanto segue:

#### **DENOMINAZIONE INTERVENTO:**

Piattaforma "On Energy".

#### **OBIETTIVO:**

Realizzazione di una piattaforma web based per il monitoraggio dei consumi e la gestione remotizzata degli impianti.

#### **OGGETTO DELL'INTERVENTO:**

La piattaforma installata sul server dell'Università di Bologna prevede un sistema di accesso multiutente in grado di rispondere alle diverse esigenze dei soggetti coinvolti nei processi manutentivi e di gestione dell'energia.

#### **DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO:**

Il sistema web based svolgerà il ruolo di hub gestionale nel quale far convergere i dati acquisiti dai data logger e il telecontrollo dei diversi sistemi che progressivamente verranno installati negli edifici universitari.

Le funzioni del sistema sono:

- definire sistemi di segnalazione di alert tramite mail al superamento di soglie di attenzione sui flussi energetici;
- effettuare report con grafici e tabelle;
- permettere la comparazione dei consumi tra impianti diversi;
- esplicitare i rapporti tra consumi energetici e fattori ambientali esterni (temperatura esterna, umidità).

L'acquisizione in loco dei dati avverrà mediante impiego di:

- misuratori di calore, per la misura di energia termo-frigorifera, direttamente collegati ai circuiti utilizzatori;
- misuratori di energia elettrica;
- misuratori di portata per fluidi.

I dati provenienti dai misuratori verranno raccolti in tempo reale su database relazionali, tramite una flessibile infrastruttura di rete e sfruttando protocolli di trasmissione dati aperti, di tipo *LonWorks*.

#### BENEFICI ATTESI:

- miglioramento nella valutazione del consumo energetico;
- individuazione di strategie ad hoc finalizzate al contenimento del consumo energetico;
- monitoraggio del funzionamento degli impianti;
- setting dei parametri ambientali;
- analisi comparativa dei dati e loro archiviazione;
- sistema di acquisizione e gestione degli allarmi.

#### VALORE AGGIUNTO RISPETTO ALLA SITUAZIONE ATTUALE:

Il valore aggiunto nasce dal poter disporre di una piattaforma web centralizzata che permetta ai gestori dell'energia, tecnici manutentori, di misurare i benefici introdotti dagli stessi interventi di riqualificazione. Tale strumento consente inoltre la definizione di nuovi modelli di gestione dei fabbricati, restituendo indicatori di benchmarking sia nell'ambito della valutazione delle performance degli edifici, sia nel campo energetico.

#### INDICATORI PER LA QUANTIFICAZIONE DEL BENEFICIO

- numero di rilevazioni registrate ed archiviate, nell'intervallo temporale, per ogni sensore installato;
- numero di indicatori di benchmarking restituiti;
- numero di grafici prodotti per punto di trasmissione dati;
- numero di valutazioni comparative tra diversi punti di trasmissione dati;
- numero di valutazioni comparative per un punto di trasmissione dati su intervalli temporali diversi.

## 2.2 Introduzione alla rete UNIBO

L'acquisizione di dati permette la regolazione e il controllo dei consumi di energia e quindi la scelta delle strategie da attuare al fine di raggiungere il desiderato risparmio, o anche la possibilità di conoscere il risparmio ottenibile tramite l'adozione di particolari atteggiamenti e/o accorgimenti atti a ridurre il consumo dell'utenza.

Inizialmente, come all'Università di Padova, i flussi di fatturazione venivano stimati dall'azienda fornitrice e la lettura fisica dei contatori risultava essere l'unico metodo possibile per conoscere l'effettivo consumo di un'utenza. Questo approccio ovviamente non permette di avere direttamente lo storico giornaliero, settimanale e mensile, nonché la curva di andamento del consumo, che sono critici e necessari per capire innanzitutto quali siano i consumi imputabili a quale utenza e, successivamente, come operare per ridurre l'energia consumata.

E' stato completato lo start up di 37 cabine con un investimento di circa 200'000 € provenienti da fondi interni diretti e implementato un sistema di telecontrollo per gli impianti HVAC che ha portato ad una riduzione di circa il 15% del consumo di gas, ottenendo così un risparmio in un anno di circa 2 milioni di €. Ovviamente il monitoraggio delle sole cabine elettriche non permette di indicizzare i consumi, ovvero di sapere chi consuma cosa, in quanto poi i quadri principali alimentano diverse utenze. L'obiettivo finale è quello di indicizzare ogni tipo di consumo e quindi avere un quadro operativo generale del funzionamento di tutta l'università.

L'Università di Bologna ha attivato questi sistemi di controllo a partire dal 2012, provando diversi tipi di protocolli dati e scegliendo poi quello più flessibile dal punto di vista di gestione dei diversi input. La decisione di utilizzare un protocollo open ha permesso di evitare costi eccessivi della manutenzione e soprattutto di poter scegliere, per ogni campo di utilizzo, l'azienda che offre il prodotto più vicino alle esigenze specifiche, invece che il prodotto standard fornito dall'azienda "proprietaria" della rete.

Inizialmente partiti con il protocollo dati *Modbus*, i tecnici si sono poi resi conto che questo non permetteva di individuare le interruzioni parziali e quindi di poter aprire contenziosi con il fornitore dell'energia a causa della mancanza di rilevazione oggettive e certificate delle suddette. Il protocollo *LonWork* e la piattaforma software *On.Energy* permettono invece ampia operabilità e la verifica continua delle microinterruzioni.

In parallelo al controllo della rete elettrica si è poi passati a quella che è stata una vera e propria informatizzazione delle caldaie, e quindi il controllo del funzionamento che veniva basato sulla differenza di temperatura tra ambiente interno ed esterno e l'accensione e spegnimento stagionali non più effettuati in loco ma da remoto grazie alla creazione di un modello basato sul calendario. Ovviamente il funzionamento di questo è tanto più efficace quanto l'impianto è "frammentato" e soprattutto quando le pompe delle caldaie siano controllate tramite inverter e quindi permettano di eseguire la regolazione continua della velocità del fluido invece del classico funzionamento binario I/O.

Dal momento che i contratti dell'ente pubblico vengono decisi da CONSIP, i margini di miglioramento sul consumo sono di due tipi: tecnologico e comportamentale.

Il primo è ovviamente limitato dalla capacità di investimento in ristrutturazione: impianti in edifici vecchi e storici hanno dei costi di investimento molto elevati a causa del pregio dell'edificio e quindi bisogna valutare che i costi di ristrutturazione abbiano dei tempi di ritorno dell'investimento utili a

giustificare lo stesso. Grazie allo scorporamento dei consumi è possibile individuare i dispositivi energivori e pianificare azioni di efficientamento energetico valutando anche il riscontro economico del progetto; infatti, sapendo quanta energia consuma un qualsiasi dispositivo, è possibile calcolare i tempi di rientro dell'investimento volto alla sua sostituzione con uno caratterizzato da un'efficienza migliore. Per esempio cambiare i balastri magnetici delle lampade fluorescenti in elettronici implica l'investimento di circa un centinaio di euro ciascuna ma comporta risparmi che possono arrivare fino ad un 15% del consumo. Se l'impianto di illuminazione in questione non rimane acceso abbastanza a lungo, il risparmio ottenuto non è sufficientemente elevato da giustificare la spesa per la sostituzione dell'hardware. Ha senso invece implementarli direttamente in edifici nuovi dove non si è sostenuto il costo di acquisto del balastro tradizionale. Lo stesso ragionamento vale anche per gli impianti di questi edifici.

Il margine comportamentale, invece, implica una sensibilizzazione sui consumi energetici degli utenti finali che è possibile ma molto difficile da praticare.

Il controllo in cabina di media tensione permette, grazie ad un contatore a impulsi, di conoscere il reale consumo di energia attiva, reattiva, e valori quale il picco di consumo, le tensioni concatenate e stellate della linea, le correnti nelle fasi e il cosfi. I multimetri utilizzati sono tutti certificati MID e permettono quindi il controllo del reale consumo a valle della cabina e di avere un valore reale da confrontare con i consumi stimati in bolletta che, altrimenti, porterebbero a dover attuare la lettura fisica del contatore.

Il software permette di avere i profili di consumo mensili e annuali, oltre a poter impostare allarmi che indichino dei valori di tensione fuori dal normale o anche di temperatura, dal momento che essendo *LonWorks* un protocollo che permette di gestire diversi tipi di input, il controllo elettrico e delle centrali termiche avviene tramite la medesima piattaforma.

## **2.3 Il protocollo di comunicazione LONWORKS**

*LonWorks* è una tecnologia di comunicazione digitale su Bus creata per garantire in modo particolare prestazioni, affidabilità, flessibilità e una facile installazione o manutenzione di sistemi di automazione ad intelligenza distribuita.

La tecnologia si basa su un protocollo originariamente sviluppato da Echelon Corporation per dispositivi di rete o nodi che potessero comunicare utilizzando diversi tipi di connessioni fisiche come doppino, onde convogliate, fibra ottica, trasmissioni radio e il diffusissimo e noto TCP/IP. Il protocollo, storicamente denominato LonTalk, implementa tutti i sette strati della pila ISO/OSI ed è oggi uno standard internazionale sotto il nome di ISO/IEC 14908.

Dopo una rapida diffusione in sistemi di automazione di edifici, in particolare nei sistemi di illuminazione, di condizionamento e riscaldamento, di controllo accessi, allarme ed antincendio, la tecnologia *LonWorks* si è in seguito affermata anche in settori industriali, in sistemi di contatori intelligenti ed ora anche nella domotica e nell'automazione dei sistemi di illuminazione pubblica.

Dati i vantaggi intrinseci della tecnologia *LonWorks*, negli ultimi anni è sempre più spesso utilizzata in sistemi di gestione energetica, in particolare per ridurre i consumi energetici e allo stesso tempo abbassare i costi e la frequenza di interventi di manutenzione.

### 2.3.1 Le origini

La tecnologia ha avuto i suoi primi sviluppi alla fine degli anni 80 con la creazione di un microcontrollore denominato *Neuron Chip* fabbricato su progetto Echelon da Motorola, Toshiba ed in seguito Cypress che implementa il protocollo LonTalk completo e ha permesso alle prime aziende entrate in questo mercato lo sviluppo dei primi sistemi con nodi, router e software di configurazione. I primi transceiver utilizzati sono stati quelli per doppino a topologia libera FTT (Free Topology Transceiver) sviluppato da Echelon Corporation.

### 2.3.2 Gli standard

Nel 2008 il protocollo di comunicazione LonTalk ha completato il suo iter di standardizzazione internazionale ed è stato riconosciuto ed approvato da ISO e IEC come standard per la comunicazione ISO/IEC 14908-1; altre parti dello standard comprendono la comunicazione su doppino ISO/IEC 14908-2, su onde convogliate ISO/IEC 14908-3, e su TCP/IP ISO/IEC 14908-4.

La standardizzazione del protocollo a livello ISO/IEC è solo il punto di arrivo di un lungo processo cominciato molto presto nella vita della tecnologia.

Nel 1999 il protocollo LonTalk è stato proposto alla ANSI ed accettato come standard per le reti di controllo (ANSI/CEA-709.1-B). Inoltre è stata sottoposta ed accettata anche la parte di comunicazione su doppino (ANSI/CEA-709.2) e su power line (ANSI/CEA-709.3). In seguito è stata anche approvata la versione (ANSI/CEA-852) per il tunneling del protocollo su TCP/IP. Il protocollo è stato anche accettato come base per molti altri standard ufficiali, tra cui il protocollo IEEE 1473-L per sistemi di controllo sui treni, per i sistemi di frenatura elettro-pneumatici per treni merci AAR, come standard europeo per l'automazione delle stazioni di rifornimento per i carburanti / IFSF, come standard internazionale per l'automazione di macchine per la realizzazione di semiconduttori. Nel 2005 è diventato standard europeo per la building automation EN 14908. Il protocollo è anche presente come Data link e Livello fisico per BACnet, ed è approvato dalla ASHRAE/ANSI per l'automazione di edifici. Nel 2006 la Cina lo ha ratificato come standard nazionale di controllo GB/Z 20177.1-2006 e per l'automazione di edifici GB/T 20299.4-2006. Nel 2007 il CECED l'Ente Europeo per i costruttori di elettrodomestici lo ha adottato come parte del Household Appliances Control and Monitoring – Application Interworking Specification (AIS).

### 2.3.3 Utilizzo e applicazioni

Benché sia relativamente poco nota in Italia, la tecnologia *LonWorks* è molto utilizzata in Europa ed in tutto il mondo, infatti all'inizio del 2009 sono circa 80 milioni il numero di nodi installati con questa tecnologia.

È utilizzato diffusamente oltre che nell'automazione di edifici anche in applicazioni industriali, di trasporto, controllo delle luci stradali e degli aeroporti, nei sistemi di telelettura dei contatori, nel controllo dei treni metropolitani, nei sistemi di sicurezza (anti-intrusione e controllo accessi) e anti-incendio. Va inoltre segnalato che tutti i maggiori costruttori di sistemi per l'automazione di edifici utilizzano ed hanno prodotti e sistemi con questo standard anche se non lo dichiarano esplicitamente. È infatti stimato che circa il 65% dei sistemi di automazione di edifici in Europa sia basato su questa tecnologia.

Un esempio poco noto e con circa 27 milioni di nodi installati è il sistema di telelettura dell'ENEL dei contatori domestici. Il sistema ha come base questo tipo di protocollo che tramite i cavi di collegamento dell'energia o power line trasferisce i consumi o modifica le tariffe di ogni utente. Per questo motivo ENEL detiene circa 8-9% delle azioni e risiede anche nel consiglio di amministrazione di Echelon Corporation.

#### **2.3.4 LonMark e interoperabilità**

Per garantire interoperabilità tra i dispositivi e consentire all'utente finale l'utilizzo nella stessa rete di dispositivi di marche diverse e la piena libertà nella scelta del miglior dispositivo per ogni funzione, i principali utenti, produttori, integratori e installatori di prodotti basati sullo standard ISO/IEC 14908 si sono associati nella LonMark International, un'associazione che si occupa di standardizzare i messaggi usati per rappresentare grandezze elettriche e fisiche, ad es. temperature, tensioni, correnti, velocità, stati, allarmi etc.

Questi messaggi standard si chiamano SNVT (Standard Network Variable Type) e costituiscono il "linguaggio" parlato dalla maggior parte dei dispositivi *LonWorks* nel mondo. Esistono anche dei profili funzionali standard (gruppi di SNVT) che invece rappresentano specifiche funzionalità offerte dai dispositivi utilizzati nei vari tipi di applicazioni.

Le associazioni affiliate a LonMark International raccolgono utenti e produttori a livello locale, nel caso dell'Italia LonMark Italia.

#### **2.3.5 Aspetti tecnici**

Il protocollo ha alcune caratteristiche che lo differenziano da altri standard:

- l'architettura della rete Lon è di tipo distribuito (architettura piatta); la topologia dipende dal mezzo di comunicazione utilizzato ma la possibilità di collegamento su doppino non polarizzato a topologia libera consente di abbassare drasticamente i costi di installazione e messa in opera di un impianto;
- la comunicazione tra nodi è di tipo paritetico (peer-to-peer), cioè si ha la mancanza di un master che gestisce la comunicazione. Ogni nodo comunica con gli altri in modo indipendente e questo elimina singoli punti di guasto che potrebbero bloccare tutta la rete in caso di malfunzionamento;
- la comunicazione è ad eventi, ovvero i nodi trasferiscono le informazioni solo quando queste cambiano, pertanto viene ridotto di molto il traffico di rete e si possono utilizzare canali di comunicazione più lenti e meno costosi. I nodi stessi possono comunicare tra di loro sia usando indirizzi fisici, sia indirizzi logici (dominio/rete/sotto-rete) in modo equivalente a TCP/IP.

Una rete *LonWorks* è costituita da un "dominio", ossia un raggruppamento logico di dispositivi suddiviso in "sottoreti". Il numero massimo di sottoreti possibili all'interno di un dominio è 255; ogni sottorete può contenere 127 dispositivi, pertanto il numero massimo di dispositivi di un dominio è dunque 32.385.

Il protocollo LonTalk non supporta la comunicazione tra domini, ma altri programmi possono implementarla, permettendo di raggruppare fino a 248 domini; in questo modo il numero di dispositivi di una rete arriva fino a 8.031.480.

Un “gruppo”, invece, è un insieme logico di dispositivi del dominio, appartenenti anche a sottoreti diverse. Ogni dispositivo può appartenere a 15 gruppi diversi e un dominio può contenere al massimo 256 gruppi. Un gruppo può contenere 64 dispositivi se sono richiesti messaggi di conferma, ma non ci sono limiti nel caso in cui questi non vengano richiesti. I gruppi vengono utilizzati nella comunicazione “point to multipoint” per ottimizzare l’impiego della banda disponibile.

La rete *LonWorks* prevede quattro tipi di indirizzo:

- fisico: chiamato “Neuron ID”, è unico in tutto il mondo, non cambia mai ed è assegnato in fase di costruzione del neuron chip;
- di dispositivo: è assegnato quando il dispositivo è installato in una certa rete e utilizzato al posto dell’indirizzo fisico, perché consente un instradamento più efficace dei messaggi e semplifica la sostituzione dei dispositivi guasti; è composto da tre campi: dominio, sottorete e dispositivo;
- di gruppo: serve ad ottimizzare il traffico di rete quando lo stesso messaggio è indirizzato a diversi dispositivi;
- broadcast: identifica tutti i dispositivi di una sottorete o dell’intero dominio.

Con la tecnologia *LonWorks* è possibile utilizzare qualsiasi mezzo di comunicazione tipico per queste applicazioni, come previsto nel layer 1 dello standard ISO/OSI: doppino intrecciato, rete elettrica (onde convogliate), radiofrequenza e infrarosso; anche la fibra ottica, che è in grado di supportare velocità di trasmissione elevatissime dell’ordine del giga bit al secondo. Il protocollo è inoltre indipendente dalla velocità del mezzo di trasmissione.

### 2.3.6 Mezzi di comunicazione

Il protocollo *LonWorks* è, come anticipato, indipendente dal mezzo di trasmissione, permettendo ai dispositivi di comunicare attraverso qualsiasi mezzo. Questo permette al progettista della rete di fare uso di tutti i vari canali disponibili per le reti di controllo. Il protocollo prevede una serie di parametri di configurazione modificabili in modo da ottenere il giusto compromesso tra prestazioni, sicurezza e affidabilità per ogni applicazione.

<b>Channel Type</b>	<b>Medium</b>	<b>Bit Rate</b>	<b>Compatible Transceivers</b>	<b>Maximum Devices</b>	<b>Maximum Distance</b>
TP/FT-10	Twisted pair, free or bus topology, opt. link power	78kbps	FTT-10, FTT-10A, LPT-10	64-128	500m (free topology) 2200m (bus topology)
TP/XF-1250	Twisted pair, bus topology	1.25Mbps	TPT/XF-1250	64	125m
PL-20	Power line	5.4kbps	PLT-20, PLT-21, PLT-22	Environment Dependent	Environment Dependent
IP-10	LonWorks over IP	Determined by IP network	Determined by IP network	Determined by IP network	Determined by IP network

**Tabella 2.1**  
**Caratteristiche fisiche dei più comuni mezzi di comunicazione utilizzati nelle reti LonWorks.**  
**Fonte: Introduction to the LonWorks system version 1.0, Echelon Corporation.**

Un canale è uno specifico mezzo di comunicazione al quale un gruppo di dispositivi è connesso dai transceiver specifici per lo stesso e ogni canale ha diverse caratteristiche riguardanti il massimo numero di nodi, la velocità di comunicazione e la massima distanza tra i nodi. La tabella 2.1 riporta le caratteristiche dei più comuni canali utilizzati.

Assume particolare importanza il collegamento tramite cavo arrotolato a topologia libera TP/FT-10 che permette di connettere i nodi con un singolo segmento di cavo arrotolato in ogni configurazione, senza vincoli sulla grandezza della matrice, separazione tra i nodi, ramificazioni ecc. ma solo sulla lunghezza massima del segmento di rete.

### **2.3.7 Transceiver**

Ogni dispositivo di rete contiene un transceiver, ovvero un ricetrasmittitore, che fornisce l'interfaccia di comunicazione fisica tra il dispositivo stesso e la rete *LonWorks*. I transceiver semplificano lo sviluppo di dispositivi *LonWorks* compatibili e sono disponibili per una grande varietà di mezzi di comunicazione e topologie. E' importante conoscere quale transceiver è presente in ogni prodotto in modo da garantire la loro diretta interoperabilità. I prodotti con diversi transceiver possono comunque interagire ma necessitano dell'uso di un router. Echelon fornisce i transceiver per cavi arrotolati e trasmissione lungo linee di potenza, studiati per una ampia gamma di applicazioni, mentre altri costruttori producono e forniscono i transceiver per radio frequenza, fibra ottica e altri mezzi.

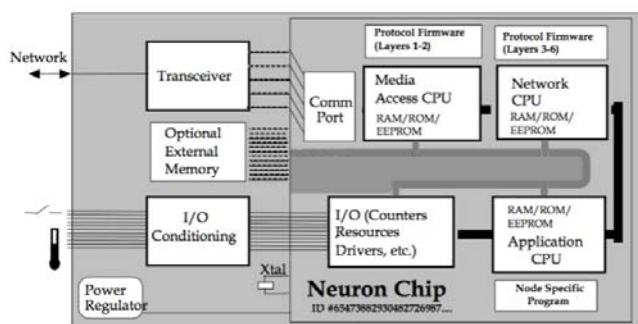
### **2.3.8 Router**

La trasparenza del protocollo a diversi mezzi di trasmissione è una caratteristica molto importante del sistema *LonWorks* e permette agli sviluppatori di scegliere il mezzo di trasmissione migliore per le loro necessità. Il collegamento tra diversi mezzi di trasmissione è possibile grazie ai router che possono essere usati anche per controllare il traffico e separare parti di rete dal traffico presente in altre sezioni, aumentando la capacità di trasmissione totale. I software di inizializzazione configurano automaticamente i router basandosi sulla topologia della rete, rendendo la loro installazione molto facile e, soprattutto, trasparente per i vari nodi, oltre a permettere ad una singola rete peer-to-peer di inglobare vari tipi di canali di comunicazione e supportare decine di migliaia di dispositivi. Un router ha due lati, ognuno dotato di appropriato transceiver adatto ai due diversi canali che deve connettere e sono completamente trasparenti alle operazioni logiche della rete, anche se questo non significa che trasmettano necessariamente tutti i pacchetti di dati. Una volta configurati tramite il programma di installazione, i router "intelligenti" conoscono abbastanza del sistema per bloccare i pacchetti che non sono indirizzati verso la parte periferica della rete a loro connessa. Utilizzando un altro tipo di router chiamato *LonWorks/IP router*, il sistema *LonWorks* può estendersi per grandi distanze usando tramite reti di comunicazione geografica WAN (Wide Area Networks) come internet. Echelon produce *LonPoint Router* che connettono diversi tipi di canali a cavo arrotolato, oltre a i *LON 1000 IP Server* che effettuano la connessione tra cavi arrotolati e reti IP come Internet, Intranet o reti virtuali private (VPN).



### 2.3.9 Dispositivi LonWorks

Ogni dispositivo LonWork, comunemente detto nodo, collegato alla rete, incorpora solitamente un Neuron chip e un transceiver. A seconda della funzione del dispositivo ci possono essere anche sensori integrati, interfacce I/O per attuatori e sensori esterni, interfacce per processori esterni come PC o interfacce verso un altro Neuron Chip o il transceiver di un router. Il programma applicativo che viene eseguito dal Neuron Chip implementa la funzione del dispositivo e può risiedere permanentemente nella ROM o essere scaricato dalla rete in memorie di lettura-scrittura non volatili (NVRAM, flash PROM, o EEPROM). La Figura 2.1 illustra le componenti di un tipico dispositivo LON.



**Figura 2.1**  
**Componenti principali di un tipico dispositivo LON.**  
**Fonte: Introduction to the LonWorks system version 1.0, Echelon Corporation.**

Il compito della maggior parte dei dispositivi in una rete *LonWorks* è di monitorare e controllare lo stato dei componenti che comprendono il sistema fisico sotto controllo. Questi sono chiamati *LonWorks* control device e possono avere una combinazione di sensori integrati e attuatori o interfacce I/O per sensori e attuatori esterni. Il programma applicativo nel dispositivo non solo può mandare e ricevere valori dalla rete ma può anche elaborare i dati delle variabili raccolte (linearizzazioni, scale, ecc.) ed effettuare logiche di controllo come PID loop control, registrazione dati e programmazione.

### 2.3.10 Interfacce di rete, Gateway e web Server

Le interfacce di rete non connettono a sensori e attuatori ma forniscono piuttosto l'interfaccia fisica a computer "ospiti" esterni come PC e strumenti di manutenzione. Il programma operativo di tali dispositivi fornisce il protocollo di comunicazione che permette a programmi come strumenti di rete installati in dispositivi esterni di comunicare con la rete *LonWorks*. L'Echelon PCLTA-20 PC LonTalk Adapter è una interfaccia di rete costruita su scheda PCI standard che può essere connessa al bus PCI interno al computer permettendo di utilizzare strumenti di rete come LonMaker per i Laptop. Per PC isolati dalla rete esistono prodotti come l'Echelon SLTA-10 Serial Lon Talk Adapter che connessi ad un modem garantiscono un accesso dial-up. Alternativamente è possibile usare il dispositivo i.lon 1000 IP Server che garantisce una connettività remota via internet, intranet o VPN.

I Gateway invece permettono a sistemi di controllo proprietari di essere interfacciati con il sistema *LonWorks*. Il programma operativo del gateway crea una interfaccia con il protocollo di comunicazione proprietario del sistema estraneo e traduce i messaggi da un protocollo all'altro per permetterne il passaggio tra i due sistemi. E' possibile in alcuni casi che un gateway converta i messaggi di comando dal sistema estraneo in variabili di rete usati dal sistema *LonWorks*. Un gateway, in ogni caso, non va confuso con un dispositivo della rete: esso infatti è un oggetto esterno

che connette ad una sistema diverso. Anche se i messaggi possono passare tra i due sistemi, la connessione è ben distante dall'essere trasparente e solitamente introduce un collo di bottiglia per le informazioni e utilizza sistemi operativi separati e strumenti di rete per l'integrazione.

I Web server sono speciali tipi di gateway che procurano una interfaccia tramite browser web ad una rete *LonWorks*. I web server hanno un transceiver *LonWorks* per connettersi alla rete *LonWorks* e un server HTTP che può essere connesso ad una rete IP come internet. Il server HTTP gestisce le pagine web che possono essere visualizzati da un qualsiasi browser web. Il server IP Echelon i.LON 1000 fornisce questo tipo di web server, integrato con un router *LonWorks/ IP*.

### 2.3.11 Topologia

La topologia per una rete *LonWorks* può essere essenzialmente di due tipi: topologia Bus o topologia libera (Figura 2.2). La prima è quella che permette tipicamente di raggiungere distanze più elevate ed è composta di un canale di comunicazione detto Backbone channel, solitamente caratterizzata da una velocità di trasmissione dati più elevata rispetto ai rami periferici che vi sono direttamente collegati

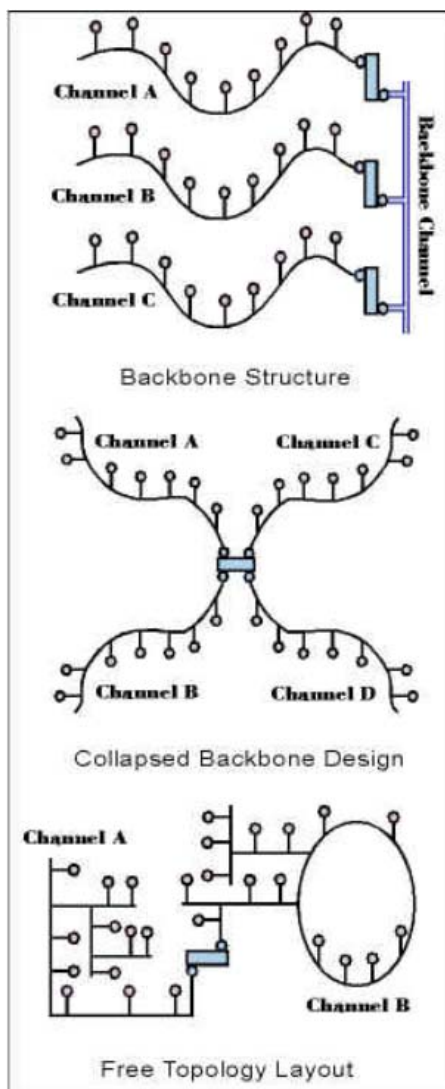


Figura 2.2  
Topologia tipica delle reti LonWorks.  
Le tre immagini si riferiscono relativamente a  
topologia Bus backbone, topologia Bus  
"collapsed backbone" e topologia libera.  
Fonte:  
<http://www.automatedbuildings.com/news/mar02/art/adept/adept.htm>

tramite router. I nodi sui rami periferici sono tutti collegati in parallelo, tipicamente tramite doppino TP/FT-10, con configurazione entra-esce che richiede ai capi di ogni ramo una impedenza di terminazione per mantenere l'impedenza caratteristica della linea di 50 Ohm.

Di questa configurazione si possono avere anche delle varianti come quella chiamata "Collapsed Backbone" visibile sempre nella medesima figura.

La seconda configurazione, detta a topologia libera, consente la libera espansione della rete senza dover tenere conto di come i nodi siano connessi l'uno con l'altro, facilitando di molto il collegamento ed abbassando i costi di installazione e manutenzione. D'altra parte la topologia libera impone limiti più stringenti sulla lunghezza dei rami e richiede una impedenza di terminazione all'inizio di ogni subnet. I valori delle impedenze di terminazione per le diverse topologie sono indicate nella seguente tabella.

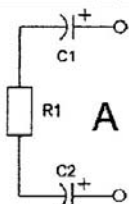
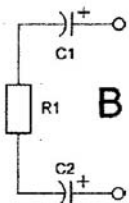
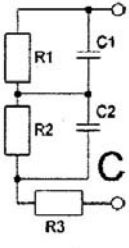
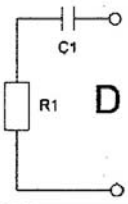
	Terminator Schematics	R1	R2	R3	C1	C2	Z @ 1kHz (approx.)
Free Topology (TP/FT-10, TP/LP-10)		52.3Ω ±1%, 1/8W			100 μF, 50V	100 μF, 50V	55
Bus Topology (TP/FT-10, TP/LP-10)		105Ω ±1%, 1/8W			100 μF, 50V	100 μF, 50V	54
Bus Topology (TP/XF-78, TP/XF-1250)		59Ω ±1%, 1/8W	340Ω ±1%, 1/8W	102Ω ±1%, 1/8W	0.15 μF, 50V metal polyester	0.33 μF, 50V metal polyester	170
Powerline Transceiver Types		100Ω ±5%, 1/4W			0.47 μF, ±1%, non- polarized		220

Tabella 2.2  
Impedenze di terminazione per la rete LonWorks.  
Fonte: "LonWorks Handbook", Echelon Corporation.

## 2.4 Hardware controllo consumi UNIBO

Le varie sottoreti presenti nei differenti poli dell'università sono tutte veicolate al server centrale mediante lo smart server i.LON 100. Questo smart server permette di rendere accessibili tutte le informazioni dei nodi sottostanti da browser web tramite indirizzo IP.

La topologia tipica delle sottoreti è di tipo bus, con i dispositivi collegati tra loro in entra-esce tramite cavo arrotolato TP/FT-10 e poi connessi allo smart server che viene poi collegato al server centrale tramite cavo dati Ethernet, per distanze inferiori ai 90 metri e in assenza di media tensione, altrimenti tramite fibra ottica. Il costo dello smart server è di circa 700€ quindi, nel caso si dovessero gestire diversi dispositivi situati in luoghi differenti dello stesso edificio, si procede col posizionare lo smart server nel quadro principale per poi raggiungere le varie utenze come UTA, Centrali termiche, locali pompe e altri luoghi che richiedono dispositivi Lon con cavo arrotolato, a patto che questi siano a distanza massima di 90 metri. In questo modo la configurazione risultante della sottorete è una stella, che permette però di evitare l'acquisto di uno smart server per ogni locale, con conseguenti notevoli risparmi.

L'ulteriore vantaggio dei controllori basati su rete *LonWorks* è che mantengono l'ultimo programma operativo attivo anche in assenza di comandi dal server: in caso di malfunzionamento di quest'ultimo, i nodi continuano ad operare come se non fosse successo nulla per poi riprendere la comunicazione e il salvataggio dei dati sul server centrale una volta ripristinato.

### 2.4.1 Controllo vettore elettrico

La cabina di media tensione vicina agli uffici dei tecnici dell'Università di Bologna è stata utilizzata come laboratorio per provare le diverse soluzioni che la tecnologia presentava. Il gateway di campo supporta nativamente sia il protocollo *Modbus* che *LonWorks* e, dopo una iniziale prova con il primo citato, i tecnici hanno deciso di passare al secondo in quanto permetteva di verificare le interruzioni parziali in maniera continua e disponeva di una maggiore facilità di programmazione.

Ovviamente la qualità e la quantità dei componenti hardware necessari dipendono dal grado di dettaglio che si vuole raggiungere nella gestione dei flussi di potenza ma la configurazione ottimale è stata individuata come la seguente:

- conta impulsi su contatore di media tensione: Enel mette a disposizione sul contatore di media tensione un'interfaccia impulsiva denominata "Scheda ES" e questa viene utilizzata per valorizzare energia attiva, energia reattiva e potenza;
- in aggiunta al conta impulsi è utile installare un dispositivo di misurazione dell'energia tipo NEMO HD96+ (Figura 2.3 e 2.4) con due interfacce impulsive ed una interfaccia LON sul generale lato BT del trasformatore in modo da avere informazioni più dettagliate anche sull'andamento di tutti i parametri elettrici, oltre a poter effettuare in questo modo il controllo delle perdite del trasformatore stesso. Il costo approssimativo di ogni NEMO completo di interfacce si aggira attorno ai 1000 € e richiedono l'inserzione diretta di TA in linea che però non può essere di tipo aperto quindi implica il disservizio per l'installazione;
- misuratore di energia LON sulle partenze dei quadri di bassa tensione con TA ad inserzione. In questo caso sono stati testati gli Schneider Electric A9MEM3275 (Figura 2.6) il cui costo è pari a circa 250 €.

Ovviamente a questi costi vanno aggiunte le spese per i cablaggi che non possono essere calcolate a corpo ma vanno conteggiate per ogni singola cabina. Non è possibile per normativa (CEI 99-4) portare fuori dalle cabine di media tensione cavi per il trasporto dati, quindi è necessaria in questo caso, o in caso la distanza dai locali di misura sia superiore ai 90 metri, la posa di fibra ottica.

Per il conteggio degli impulsi dalla scheda dell'Enel è stato usato il controllore logico programmabile Distech ECL-350 (visibile in Figura 2.5). Dotato di ingressi analogici e digitali universali, si è rivelato un dispositivo versatile ed economico (circa 200€) a cui basta impostare il numero di impulsi relativi ad un determinato consumo per ottenere la valorizzazione di energia attiva e reattiva.

Tutti i dispositivi *Lonworks* all'interno della cabina sono collegati in entra-esce mediante doppino standard TP/FT-10 con topologia Bus allo smart server i.LON (Figura 2.5), per poi essere trasmessi tramite fibra ottica al Gateway.

Questa configurazione consente una conoscenza generale relativa ai consumi di un edificio infatti il consumo puntuale relativo alle diverse utenze non è facilmente scorponabile. Un maggior grado di dettaglio è ottenibile aggiungendo dei dispositivi di misura sulle principali partenze dei quadri BT dei relativi edifici.



Figura2.3  
Vista frontale di quattro dispositivi Nemo HD96+.



Figura2.4  
Vista posteriore dei quattro dispositivi NEMO HD96+ con modulo di comunicazione LON.



**Figura 2.5**  
Nella figura si possono vedere lo smart server i.LON 100 in alto a sinistra e il controllore Disctech ECL350 in basso a destra.



**Figura 2.6**  
Misuratore Schneider A9MEM3275.

## 2.4.2 Controllo vettore termico

Come anticipato in precedenza, all'Università di Bologna è stato avviato, parallelamente al piano di monitoraggio delle cabine elettriche, un piano di monitoraggio e telecontrollo dei consumi termici dell'ateneo. Ovviamente non è possibile stabilire una configurazione generale in quanto ogni impianto presenta caratteristiche differenti che sono, di caso in caso, da valutare con il manutentore, però si è voluto portare un esempio con relativi costi di implementazione.

Per quanto concerne il telecontrollo delle caldaie vengono utilizzati controllori Distech Controls serie ECL (dovendo gestire un maggior numero di ingressi e uscite si è reso necessario utilizzare una versione più potente del piccolo ECL-350 visto in precedenza). Anche in questo caso i costi dipendono dalla quantità di punti da gestire come ingressi ed uscite fisiche, variabili logiche, ecc.

Solitamente le verifiche preventive da fare sono:

- presenza di valvole di non ritorno in caso di circuiti con doppia pompa (le pompe gemellari hanno già la valvola di non ritorno);
- presenza di teleruttori e salvamotori con contatto di stato nei quadri elettrici( Figura 2.8);
- sufficiente spazio sui collettori e sui tubi di mandata/ritorno per installare sonde a collare o presenza di pozzetti per sonde ad immersione, più precise di quelle a collare.

Per esempio in una centrale termica come quella di Figura 2.7, dotata di:

- 1 caldaia a metano;
- 1 gruppo frigo ad acqua;
- 4 circuiti con pompe gemellate;



**Figura 2.7**  
Centrale termica d'esempio. Sono visibili le pompe gemellate verdi di due dei quattro circuiti e la caldaia nell'angolo in basso a destra.



**Figura 2.8**  
Quadro elettrico dotato di teleruttori e salvamotori con contatto di stato.

Sono stati installati un ECL600 con espansione ECx400 (*Figura 2.9*) ed una serie di relè di supporto per la gestione dei teleruttori di potenza e del gruppo frigo; delle sonde a pozzetto come quella visibile in *Figura 2.10* sulle mandate di ogni circuito e sui ritorni e una sonda di temperatura esterna per effettuare la regolazione sull'effettiva differenza di temperatura tra interno ed esterno oltre che sulla temperatura dei ritorni.

Il costo dei soli regolatori si attesta circa sui 2.000€. Il costo di cablaggio, sonde di temperatura e start up è stato di circa 3.500€.

Come si spiegherà nel prossimo capitolo, la connessione della caldaia e del gruppo frigo sulla stessa piattaforma software permette di farli funzionare in maniera complementare e quindi garantire il maggior comfort termico per chi occupa l'edificio assieme al maggior risparmio possibile. I controllori della serie ECL permettono, grazie allo schermo integrato, di poter operare modifiche al programma e al funzionamento del circuito con controllo locale, che può essere utile al manutentore per la riparazione di guasti e altri controlli da effettuare in loco.

Gli impianti di controllo per le caldaie hanno garantito all'Università di Bologna dei risparmi nel consumo di gas tra il 10 e il 20%, permettendo così di rientrare dell'investimento in tempi molto brevi.



Ovviamente lo stesso tipo di circuito di comando può essere realizzato anche in presenza di teleriscaldamento nel qual caso non si dovrà tenere conto, durante il periodo di stand-by dell'impianto di riscaldamento, di programmare l'avviamento periodico della pompa di circolazione per evitare la condensa in caldaia.



**Figura 2.9**  
In basso si possono vedere il controllore ECL600 a sinistra con il relativo modulo di espansione ECX400. In alto a sinistra sono visibili i relè di appoggio ai teleruttori, mentre sulla destra in grigio si trova l'impedenza di terminazione.



**Figura 2.10**  
Sopra al termometro analogico è possibile vedere una sonda a pozzetto nel relativo alloggiamento. Questo tipo di sonde garantisce una rilevazione della temperatura molto più precisa delle sonde a collare.

### 2.4.3 Controllo UTA

Le Unità di Trattamento Aria (UTA) sono tra i dispositivi più utilizzati negli edifici e anche, solitamente, tra quelli più energivori, per questo motivo il loro controllo può far realizzare dei risparmi notevoli. L'esempio che verrà riportato di seguito riguarda l'impianto per il controllo della UTA a servizio della biblioteca di economia dell'università bolognese (Figura 2.13).

Il circuito di controllo di questo edificio accorpa tutti i principali impianti HVAC e comprende il circuito di teleriscaldamento, quello di condizionamento e L'UTA (Figura 2.11).



**Figura 2.11**  
Sono visibili a partire dall'alto e in senso antiorario il controllore ECL 600 relativo alla centrale termica, i due controllori ECL 600 relativi al controllo della UTA con relativa espansione ECX 400.

Per realizzarlo si è proceduto, come visto in precedenza, con i controllori della Distech collegati tramite appositi relè di supporto ai teleruttori di potenza e le varie sonde a pozzetto o collare sulle mandate dei circuiti di caldo, freddo e sui ritorni degli stessi. Ovviamente anche in questa cabina si trova l'ormai noto smart server i.LON a cui vengono connessi tutti i nodi della rete per veicolare le variabili di ingresso e di uscita al software ON.ENERGY.

Un accorgimento adottato dai tecnici dell'ateneo Romagnolo è stato di installare inverter per il controllo dei motori dell'UTA, visibili in Figura 2.12, in modo da poter variare il flusso d'aria in maniera continua grazie all'uscita 0-10V dell'ECL600 e non avere il tipico funzionamento I/O. Essendo il quadro elettrico unico per tutti e tre gli impianti, è stato installato un pannello touch LOITECH (Figura 2.14) con interfaccia grafica per la visualizzazione delle variabili e la gestione del funzionamento dei vari dispositivi a livello locale, in modo da permettere la manutenzione ordinaria e straordinaria.

Di seguito si possono vedere le fotografie scattate presso il suddetto impianto.



**Figura 2.12**  
Inverter per il controllo dei motori dell'UTA.



**Figura 2.13**  
UTA a servizio della biblioteca del polo di economia dell'Università di Bologna



**Figura 2.14**  
Pannello touchscreen LOITECH per il controllo locale dell'impianto

#### 2.4.4 Telecontrollo cabina elettrica

Gli hardware fino ad ora descritti per il vettore elettrico permettono di effettuare il solo monitoraggio dei consumi senza avere un effettivo controllo remoto del sistema.

Grazie ad un progetto Schneider Electric, una cabina di trasformazione MT/BT da 15kV è stata anche telecontrollata permettendo la diagnostica ed il ripristino della tensione da remoto.

Il sistema è stato creato con una interazione di due protocolli dati: *LonWorks* e *Modbus* e la loro interazione è resa possibile dal software On.Energy adottato dall'Università di Bologna, che permette di gestirli entrambi e raggrupparli sotto un unico "cappello".

Per attuare il telecontrollo vi è necessità innanzitutto di avere un dispositivo che riesca a riconoscere gli stati degli interruttori e in questo caso è il TAC XENTA 411 visibile in Figura 2.15. Per avere anche il controllo degli output si è utilizzato il TAC XENTA 421A che oltre ad avere 4 ingressi digitali è dotato di 5 relè per uscite digitali (DOR). I due dispositivi appena citati riescono a rilevare lo stato di tutti gli interruttori della cabina (Figura 2.16) e, all'occorrenza, inviare segnali di allarme nel caso di malfunzionamento e l'eventuale segnale di ripristino per gli interruttori delle diverse linee. Oltre ai dispositivi di controllo, la cabina è ovviamente dotata di tutti gli strumenti di diagnostica e monitoraggio che, questa volta, sono però veicolati tramite protocollo di trasmissione *Modbus* (Figura 2.17).



**Figura 2.15**  
Dispositivo per il riconoscimento dello stato degli interruttori TAC Xenta 411. Protocollo dati Modbus.



**Figura 2.16**  
Dispositivo TAC Xenta 421A per il riconoscimento dello stato degli interruttori dotato di 4 relè di uscita per invio del segnale di ripristino. Protocollo dati LonWorks.



**Figura 2.17**  
Strumenti per misura Schneider Electric PM3250 con informazioni veicolate tramite protocollo Modbus.



**Figura 2.18**  
Interruttore bipolare ABB dotato di servomotore per il telecontrollo.

## 2.5 Software On.Energy

Il vero cuore del sistema SCADA è il software di gestione che permette di trattare tutti gli input veicolati dalla rete LON e di conseguenza configurare gli output da inviare ai vari dispositivi.

Il software per il controllo della rete è stato fornito da Onit Group di Cesena. Si tratta di un software user friendly che permette il monitoraggio in tempo reale di qualsiasi dato e lo mette a disposizione dell'utente attraverso un'interfaccia grafica intuitiva. Può essere utilizzato per monitorare impianti industriali, macchinari, linee di lavorazioni e per controllare sistemi di HVAC, illuminazione, controllo accessi, videosorveglianza; per gestire impianti di building automation, impianti da fonti rinnovabili, cogeneratori ecc. Un sistema di editing consente all'utente di creare dashboard personalizzate che, con le informazioni raccolte, permettono di:

- analizzare i dati e creare formule e indici;
- controllare le performance grazie alla gestione di allarmi e segnalazioni;
- la regolazione degli apparati secondo modelli e set point di riferimento;
- l'integrazione di tutti i sistemi di misura/automazione presenti in un unico ambiente operativo.

E' stato scelto dai tecnici dell'Università di Bologna in quanto particolarmente indicato per la gestione dei consumi degli edifici, mentre altri come MOVICON sono più indicati per effettuare building automation e gestione degli impianti, oltre ad avere possibilità di customizzazione limitata.

On.Energy permette di gestire input in diversi linguaggi e in questo modo poter integrare le funzionalità di architetture differenti.

Una delle funzionalità sicuramente più interessanti e potenti è quella di scheduling: grazie al software è possibile creare dei template che definiscono il comportamento delle unità in base ad alcuni parametri. In particolare nell'ateneo bolognese sono stati creati dei modelli basati sul calendario che differenziano l'anno in due macro intervalli temporali: autunno-inverno e primavera-estate. Quando si attiva il primo vengono messi in stand-by tutti i circuiti di condizionamento in modo da ridurre al minimo i consumi. Quando si passa dal primo al secondo, invece, vanno in stand-by tutte le caldaie e si attivano nuovamente i vari impianti di condizionamento.

Ovviamente il programma generale può essere "aggiustato" in modo da adattarsi alla fisica specifica di ciascun edificio: essendo ogni costruzione dotata di caratteristiche di ubicazione e dispersione differenti, possono essere creati dei programmi specifici per gestire le variabili locali in modo da rendere sempre confortevole la permanenza all'interno dell'edificio e ottenere risparmi di qualche decina di punti percentuali. Ad esempio alcune caldaie servono edifici che hanno caratteristiche tali da permettere lo spegnimento dell'impianto di riscaldamento durante la notte anche in inverno, mentre altre sono associate ad edifici di grande inerzia termica e quindi ne viene solamente ridotta la potenza tramite pompe a inverter che permettono la variazione continua del flusso, altrimenti non si avrebbe la condizione di comfort termico se venissero spente per poi essere accese il mattino seguente.

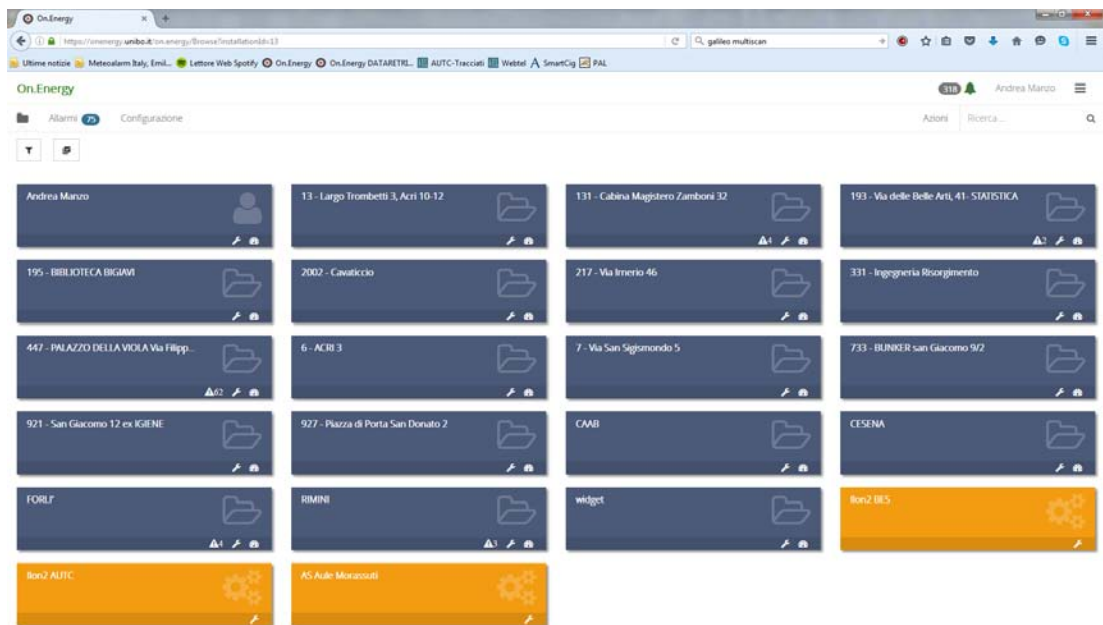
Il refresh dei dati può essere deciso dall'operatore tramite tool da web browser che determina l'impostazione del web server i.LON e si possono avere due diverse configurazioni:

- polling delle variabili ad intervallo predefinito;
- refresh della variabile solo in seguito ad una variazione definita.

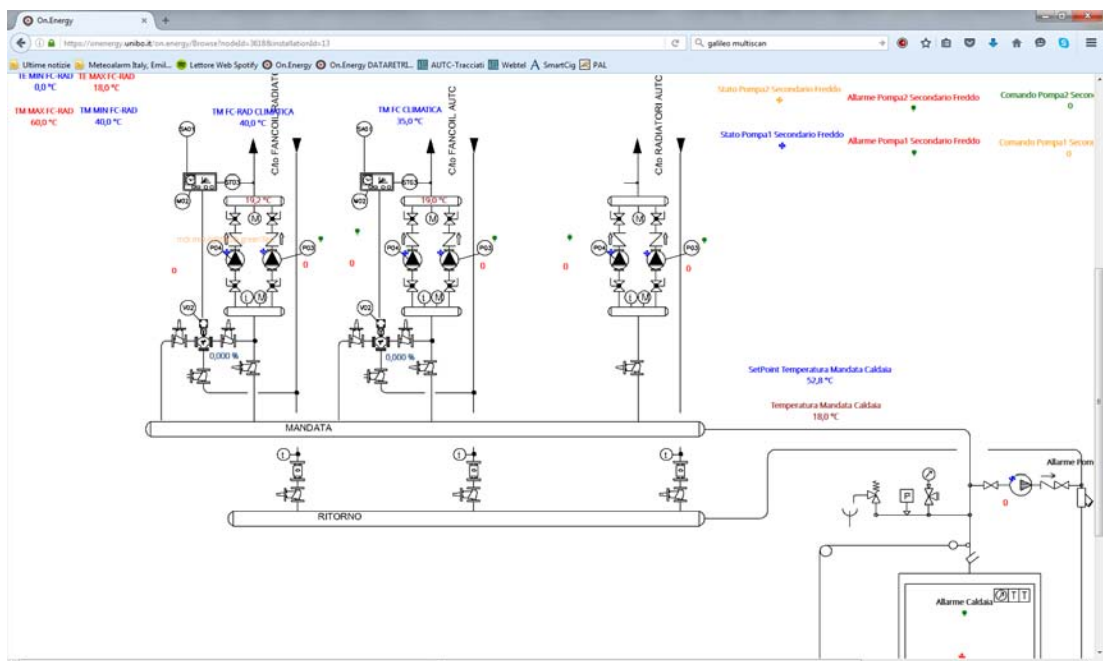
Questa ultima impostazione permette di ridurre drasticamente il traffico di dati in rete.

La configurazione delle variabili si effettua tramite il software LonMaker che permette di individuare i dispositivi connessi alla rete e di inviare le variabili che vengono ritenute opportune direttamente al web server, caratterizzandole con la tipologia e l'unità di misura, tramite la programmazione a blocchi funzionali. A quel punto si accede alla pagina di configurazione del web server tramite browser e si procede al binding delle variabili, cioè si effettua il collegamento tra l'entità software (variabile) e il suo valore. Successivamente dal software On.Energy è possibile riconoscere il web server tramite il suo indirizzo IP e quindi rendere visibile la variabile all'interno del programma per poterla utilizzare.

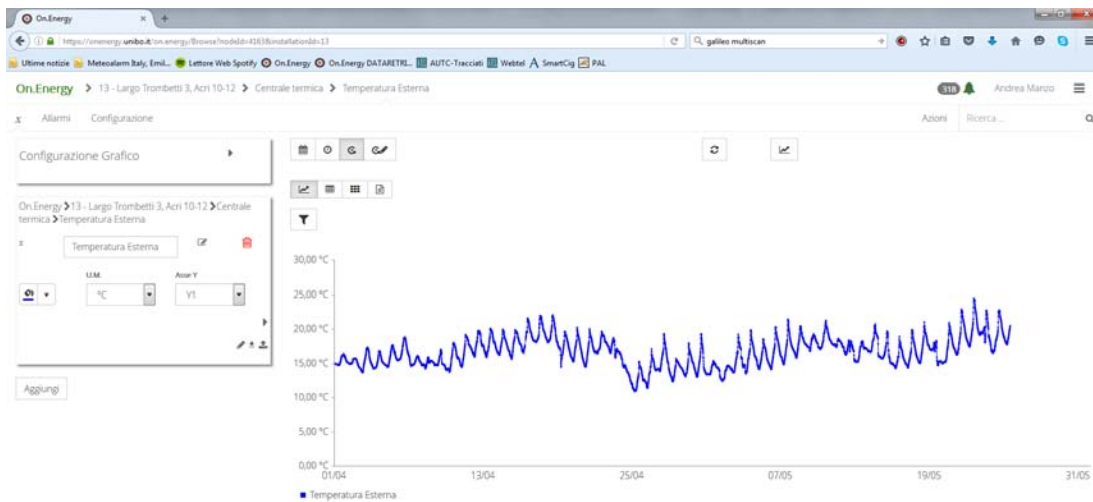
Di seguito si possono vedere alcuni screenshot del software cui seguirà la relativa spiegazione.



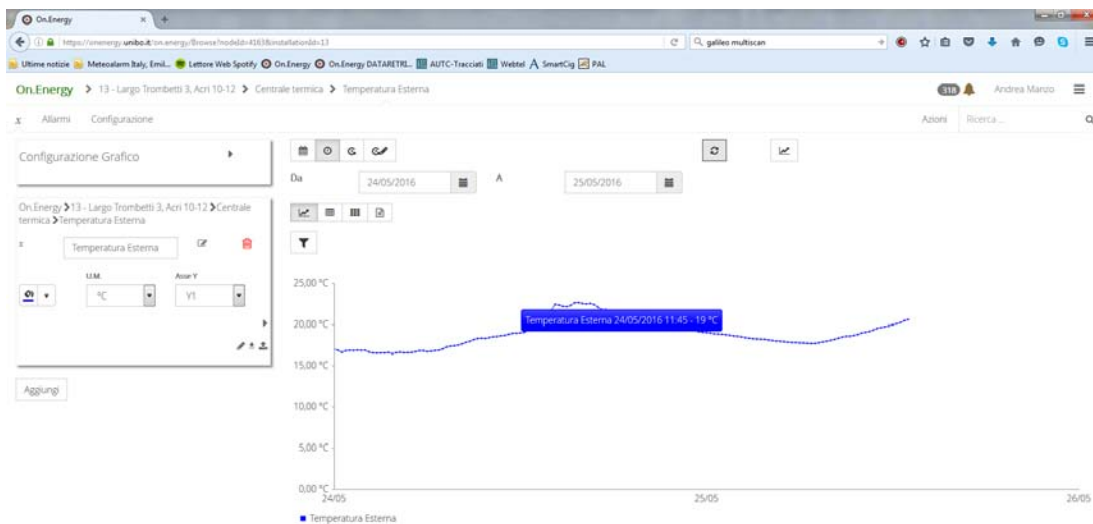
La home page si presenta con una serie di blocchi relativi ai differenti edifici cliccando sui quali si può accedere alle informazioni ed ai comandi relativi alla sottorete cui sono legati. Nella parte inferiore del blocco si può trovare anche una piccola icona triangolare che indica i segnali di allarme attivi nel blocco in questione.



In questo screenshot si possono vedere i comandi e le informazioni relativi all'impianto di telecontrollo del circuito di riscaldamento trattato nel paragrafo 2.4.2. L'immagine da visualizzare può essere decisa dall'utente ed in questo caso si è optato per lo schema cad dell'impianto. Le temperature e gli stati delle pompe sono visualizzabili direttamente affianco al dispositivo o tratto di circuito cui sono relativi.

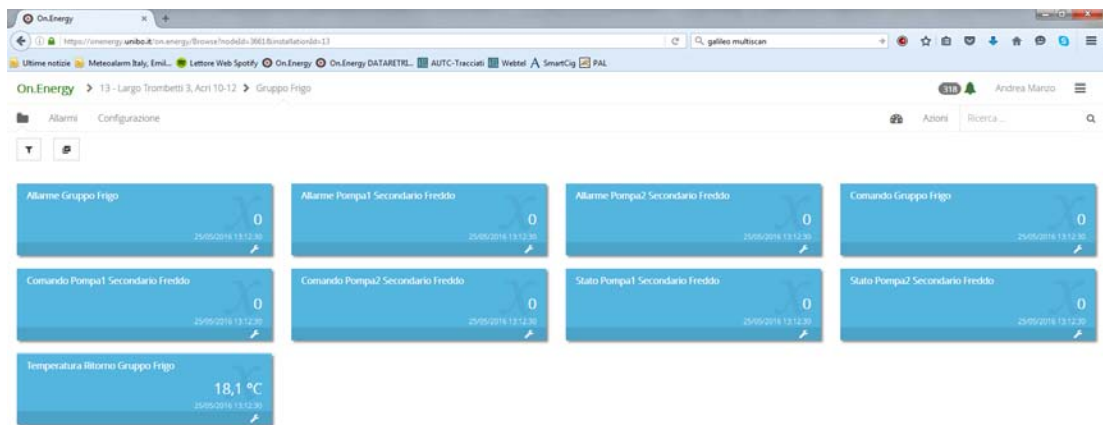


Cliccando sul blocco relativo alla temperatura esterna rilevata se ne può vedere lo storico con relativo grafico che, in questo caso, è relativo ai mesi di aprile e maggio.

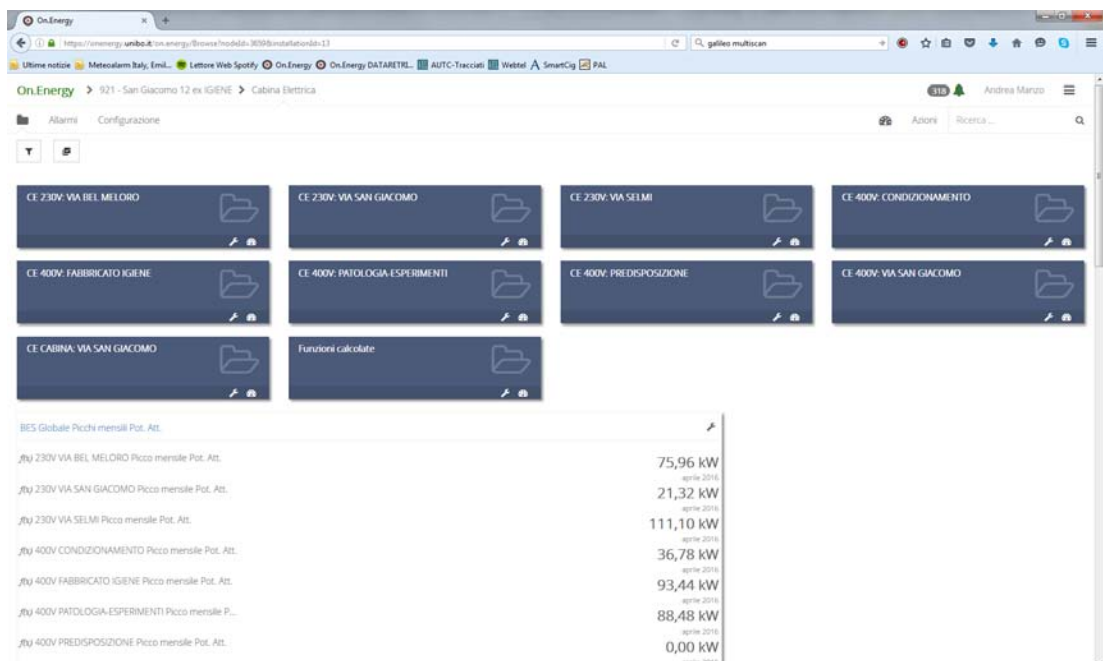


Volendo entrare più nello specifico si possono anche restringere i campi temporali e, passando il cursore sul grafico, far comparire una finestra con ora, data e temperatura istantanea.





Entrando nel sottomenu del medesimo stabile si possono trovare i blocchi relativi agli stati degli allarmi del gruppo frigo, con indicatore relativo alla temperatura. Al momento dello screenshot l'impianto era spento come si può notare dagli stati delle pompe che indicano lo "0".



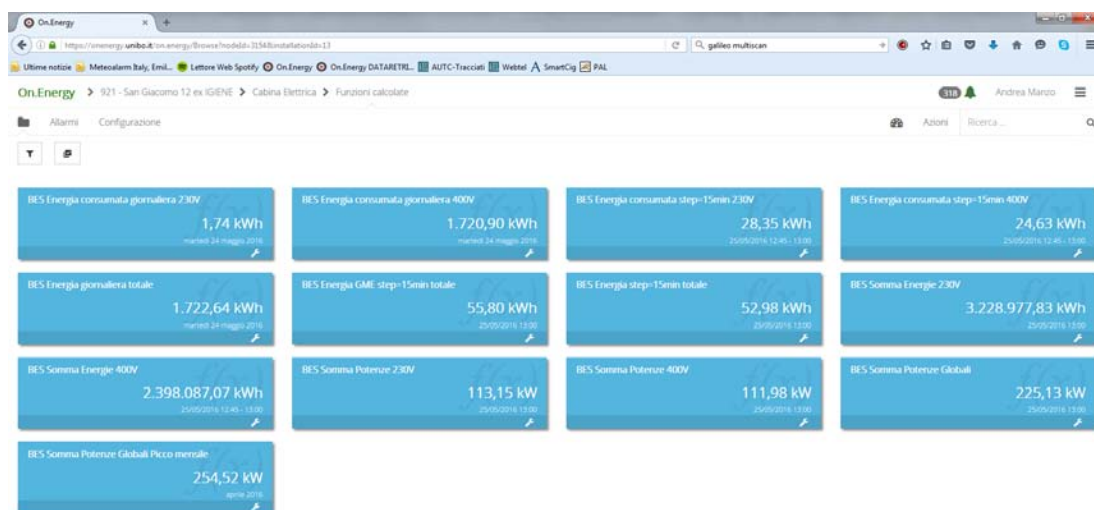
Nel menu che si riferisce alla cabina di trasformazione MT/BT, di cui si è parlato nel paragrafo 2.4.1, si possono trovare i blocchi concernenti i vari edifici serviti da dispositivi di monitoraggio, oltre ad una funzione accessoria con il calcolo dei picchi di consumo di potenza attiva relativi alle varie utenze e all'impianto di condizionamento.



Abbassando il cursore nella schermata precedente si possono trovare i grafici riguardanti gli andamenti dei consumi delle utenze divisi in forniture a 230 V e 400 V, nonché la visualizzazione a blocchi funzionali della ripartizione dei consumi. Tutte queste funzioni sono disponibili grazie all'elaborazione che il software opera sulle grandezze in ingresso e vengono create dall'utente in base alle sue necessità.



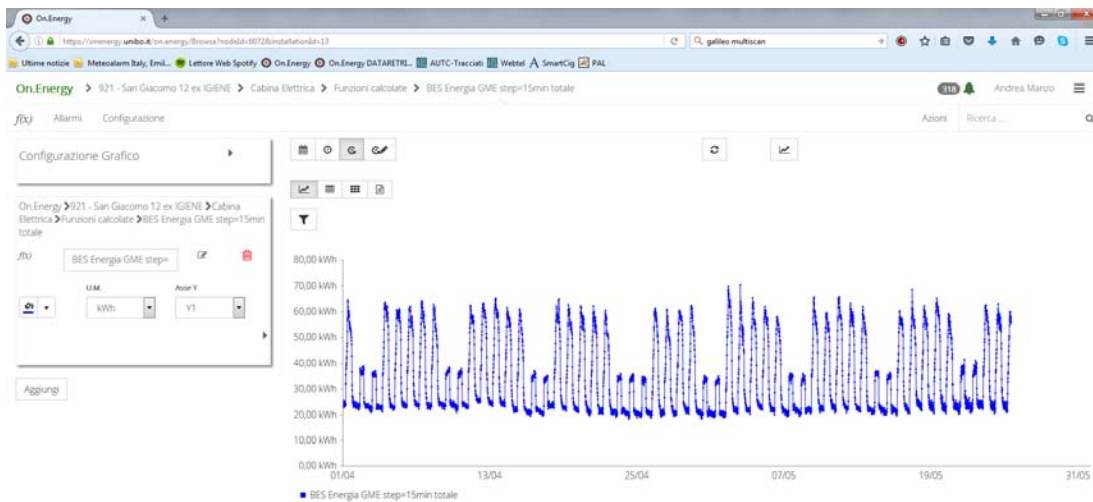
Cliccando sul grafico si possono cambiare i parametri di visualizzazione e gestire il layout come si ritiene opportuno.



Come anticipato ad inizio del paragrafo, la vera “forza” di questo software di gestione consiste nella possibilità di creare funzioni complesse a partire dalle variabili di ingresso dei dispositivi di misura. Nello screenshot si possono vedere le funzioni create dai tecnici dell’Università di Bologna per il monitoraggio completo della cabina che sono:

- energia giornaliera consumata dalle utenze alimentate a 230 V;
- energia giornaliera consumata dalle utenze alimentate a 400 V;
- energia consumata dalle utenze alimentate a 230 V a step di 15 min;
- energia consumata dalle utenze alimentate a 400 V a step di 15 min;
- energia giornaliera totale;
- energia valutata dal contaimpulsi a step di 15 minuti;
- energia valutata dal dispositivo NEMO a step di 15 minuti;
- energia totale consumata dalle utenze alimentate a 230 V;
- energia totale consumata dalle utenze alimentate a 400 V;
- potenza totale delle utenze alimentate a 230 V;
- potenza totale delle utenze alimentate a 400 V;
- potenza totale globale;
- picco di potenza mensile globale.

La possibilità di creare tali funzioni permette un utilizzo versatile che incontra le esigenze specifiche di ogni utente



Entrando nel blocco relativo ad una di queste funzioni, se ne possono visualizzare i grafici dello storico; ad esempio in figura è visibile il grafico relativo alla potenza attiva valorizzata dai contimpulsi collegato alla scheda ES del contatore di MT a step di 15 minuti.

Definizione variabili

Unità di misura del risultato dell'espressione:

Esempio Espressione:

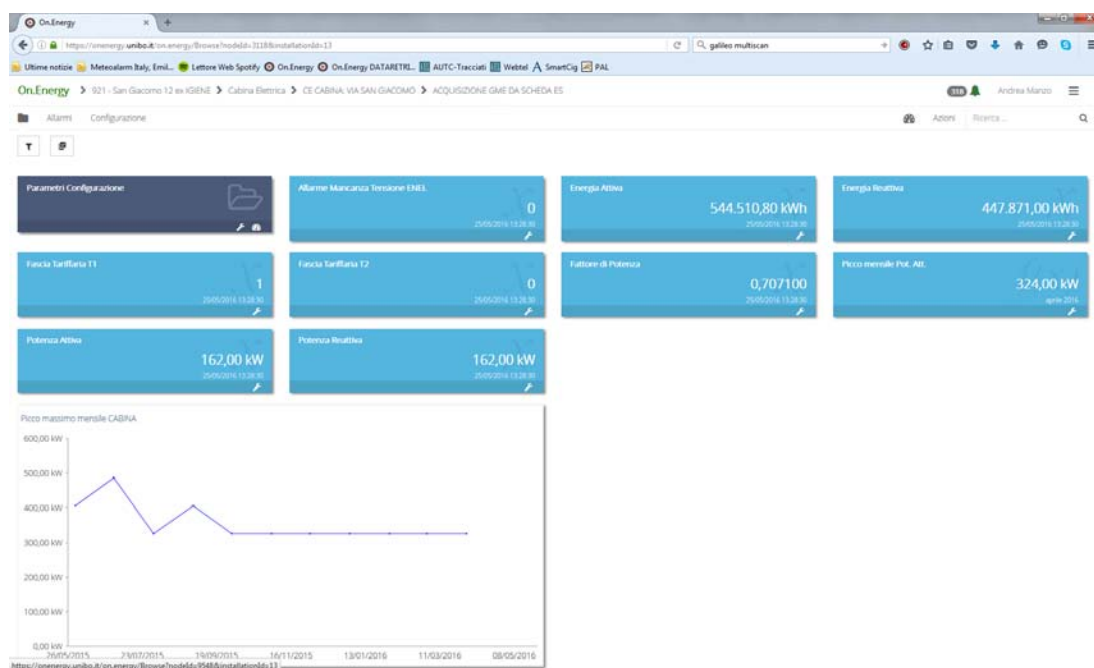
Funzione	Descrizione	Esempio
Abs	Restituisce il valore assoluto di un numero specificato.	Abs(-1)
Acos	Restituisce l'angolo il cui coseno è il numero specificato.	Acos(1)
Asin	Restituisce l'angolo il cui seno è il numero specificato.	Asin(0)
Atan	Restituisce l'angolo la cui tangente è il numero specificato.	Atan(0)
Cos	Restituisce il coseno dell'angolo specificato.	Cos(0)
Sen	Restituisce il seno dell'angolo specificato.	Sen(0)
Tan	Restituisce la tangente dell'angolo specificato.	Tan(0)
Exp	Restituisce e elevato alla potenza specificata.	Exp(0)
Log	Restituisce il logaritmo di un numero specificato.	Log(1, 10)
Log10	Restituisce il logaritmo in base 10 di un numero specificato.	Log10(1)
Ln	Restituisce il logaritmo in base e di un numero specificato.	Ln(1)
Max	Restituisce il più grande dei due numeri specificati.	Max(1, 2)
Min	Restituisce il più piccolo dei due numeri.	Min(1, 2)
Power	Restituisce un numero specificato elevato alla potenza specificata.	Power(3, 3)
Sqrt	Restituisce la radice quadrata di un numero specificato.	Sqrt(2)

Espressione:

Normal  Condizione

Espressione:  $x^2 + y^2$

L'editor di funzioni si presenta come visibile nello screenshot e permette la scelta delle variabili tra quelle visibili al web server, sulla sinistra, e un ambiente sulla destra che permette di inserire le funzioni di cui si ha necessità con una breve spiegazione sul metodo di immissione.



Entrando nel sottomenu relativo alla cabina elettrica del medesimo sito, si possono vedere tutti i parametri relativi alla valorizzazione di potenza attiva e reattiva da parte del contaimpulsivo collegato alla scheda ES, oltre al grafico relativo al picco massimo mensile di potenza attiva.

Si possono trovare nell'ordine:

- allarme mancanza tensione ENEL;
- valorizzazione energia attiva;
- valorizzazione energia reattiva;
- fascia tariffaria;
- fattore di potenza;
- picco di potenza attiva mensile;
- potenza attiva istantanea;
- potenza reattiva istantanea.



## CAPITOLO 3 – RETI DI CONTROLLO IN UNIPD

Il seguente capitolo presenterà brevemente la situazione energetica dell'Università di Padova e i progetti adottati per ridurre il consumo. Dopo un breve accenno ai sistemi attivi per il controllo delle caldaie, verrà illustrato nel dettaglio la rete di monitoraggio dei consumi elettrici al polo DEI, dove i tecnici sono riusciti ad adattare un vecchio sistema di controllo proprietario alle necessità odierne. Ne verranno quindi presentati il software e gli hardware.

### 3.1 Situazione energetica UNIPD

L'Università degli studi di Padova rientra nella categoria di soggetti che devono, secondo il decreto 4 luglio 2014 n. 102, effettuare periodicamente la diagnosi energetica e nominare una figura di riferimento responsabile per l'uso razionale dell'energia, altrimenti detto Energy Manager.

CONSUMI SPECIFICI ANNUI DI FONTI PRIMARIE DEL SOGGETTO CHE EFFETTUA LA COMUNICAZIONE				
Gasolio	45000	litri	38,6	tep
Olio combustibile	0	t	0,0	tep
Benzine	0	t	0,0	tep
Oli vegetali	0	t	0,0	tep
Gas di petrolio liquefatti (GPL)	0	t	0,0	tep
Pellet	0	t	0,0	tep
Legna macinata fresca (cippato)	0	t	0,0	tep
Gas naturale	3603416	Nm <sup>3</sup>	2.954,8	tep
Gas Naturale Liquefatto (GNL)	0	t	0,0	tep
Biogas	0	Nm <sup>3</sup>	0,0	tep
Elettricità approvvigionata dalla rete elettrica	35507,414	MWh	6.639,9	tep
Elettricità prodotta in loco da idraulico, eolico e fotovoltaico*	0	MWh	0,0	tep
Calore consumato da fluido termovettore acquistato**	171,42	MWh <sub>t</sub>	17,7	tep
Altri combustibili (specificare)	0	t	0,0	tep
	0	GJ/tonnellata		
Altri combustibili (specificare)	0	t	0,0	tep
	0	GJ/tonnellata		
Altri combustibili (specificare)	0	t	0,0	tep
	0	GJ/tonnellata		
Altri combustibili (specificare)	0	t	0,0	tep
	0	GJ/tonnellata		
Altri combustibili (specificare)	0	t	0,0	tep
	0	GJ/tonnellata		
Altri combustibili (specificare)	0	t	0,0	tep
	0	GJ/tonnellata		
<b>Totale</b>			<b>9.651,0</b>	<b>tep</b>

**Tabella 3.1**  
Consumi di energia primaria dell'università di Padova, convertiti in tep, relativi all'anno 2014.

I dati relativi ai consumi energetici dell'università vengono estratti dalle bollette mensili e, una volta convertiti in tep, inviati al portale dell'agenzia FIRE. Non vi sono sistemi globali che permettano di controllare da remoto l'effettivo consumo registrato per l'anno e l'unico modo per verificare che le fatturazioni fornite dall'ente siano corrette, consiste nell'avere una persona che si rechi fisicamente nel posto ove è ubicato il contatore e ne effettui la lettura, con tutti i margini di errore possibili che questo tipo di approccio può presentare: non contemporaneità della lettura, impossibilità di verificare lo storico dei consumi, errore umano ecc.

Una struttura come l'Università di Padova ha l'ulteriore difficoltà data della disomogeneità spaziale e "temporale" delle strutture, ovvero molti edifici differenti collocati in luoghi differenti e costruiti in momenti diversi, che implicano l'adozione di tecnologie diverse.



Il presente modulo consente di calcolare, per singolo vettore energetico, i consumi in tonnellate equivalenti di petrolio (tep) del soggetto nominante per verificare l'eventuale superamento delle soglie di legge che obbligano il soggetto alla nomina (per l'industria 10.000 tep, per gli altri settori 1.000 tep). Le celle in giallo consentono di inserire le quantità di fonti o vettori impiegate, la cui conversione in tep appare nella quarta colonna.  
 Nel foglio "condizioni di calcolo" è possibile visionare i coefficienti di conversione adottati da FIRE in base a quanto previsto al punto 13 della nota esplicativa della circolare MiSE del 18 dicembre 2014.  
 Si ricorda che la nomina dell'energy manager si effettua esclusivamente accedendo al portale NEMO: <https://nemo.fire-italia.org>.

Fonte o vettore energetico	Quantità da convertire	Unità	Quantità convertita in tep
Gasolio	38.350,0	t litri	- 32,981
Olio combustibile		t	-
Gas di petrolio liquefatti (GPL) stato liquido		t	-
Gas di petrolio liquefatti (GPL) stato liquido		litri	-
Gas di petrolio liquefatti (GPL) stato gassoso		Sm <sup>3</sup>	-
Gas di petrolio liquefatti (GPL) stato gassoso		Nm <sup>3</sup>	-
Benzine autotrazione		t litri	- -
Oli vegetali		t litri	- -
Pellet		t	-
Legna macinata fresca (cippato)		t	-
Gas naturale	2.913.490,0	Sm <sup>3</sup> Nm <sup>3</sup>	2.435,678 -
Gas Naturale Liquefatto (GNL)		t	-
Biogas		Sm <sup>3</sup> Nm <sup>3</sup>	- -
Elettricità approvvigionata dalla rete elettrica	37.450,2	MWh	7.003,189
Elettricità prodotta in loco da idraulico, eolico e fotovoltaico		MWh	-
Calore consumato da fluido termovettore acquistato	178,1	MWh GJ	18,347 -
<b>Totale consumi espressi in TEP</b>			<b>9.490,2</b>

**Tabella 3.2**  
Consumi di energia primaria dell'università di Padova, convertiti in tep, relativi all'anno 2015.

Le strutture dell'Università di Padova sono infatti dislocate nelle province di Padova (in prevalenza), Vicenza, Venezia e Belluno, per un totale di 114 punti di consegna elettrici, di cui 21 in media tensione, e 115 per il gas. I punti di prelievo in MT sono responsabili del consumo di 29 GWh annui su un totale di 36,5 GWh totali per l'ateneo, risultando essere quasi 80% dell'energia totale.

Il consumo totale di gas ed energia elettrica dipende dagli anni di riferimento e dalle condizioni climatiche e il nostro ateneo si attesta all'incirca sui 9'500 tep di consumo annuo, come visibile dalla *Tabella 3.1* relativa ai consumi dell'anno 2014 e in *Tabella 3.2* relativa ai consumi per l'anno 2015.



Nel 2008 l'Università ha cominciato la metanizzazione degli impianti di riscaldamento obsoleti che dovrebbe concludersi nel corrente anno 2016. Questo ha già portato alla riduzione di circa 2 Milioni di € della bolletta data dalla somma di gas e gasolio, grazie alla migliore efficienza delle caldaie che sono state sostituite con i nuovi modelli a condensazione.

Di base la bolletta elettrica dell'Università di Padova si aggira sui 5'000'000€, mentre quella del gas attorno ai 2'500'000€ per un totale di 7'500'000€ all'anno di spesa per l'energia, senza contare la piccola parte per il teleriscaldamento di Bressanone (BZ).

### **3.2 Telecontrollo caldaie TELECOSTER**

Il sistema di controllo delle caldaie dell'Università di Padova è del tipo TELECOSTER dell'azienda Coster. Il controllo e la regolazione della temperatura delle caldaie è stato delegato a ditte esterne all'università che effettuano il controllo da remoto per essa. La regolazione viene effettuata basandosi sulla temperatura esterna e sulla differenza tra temperatura di mandata e temperatura di ritorno, senza la presenza di sonde ambiente nelle aule. Quando la differenza di temperatura tra la mandata di aria calda e il ritorno è molto elevata significa che l'edificio non ha ancora raggiunto il regime termico, mentre quando il  $\Delta t$  raggiunge valori bassi implica che la temperatura è quella di regime.

Durante l'autunno la regolazione viene effettuata partendo da temperature di mandata più basse, per poi alzarle in base alla misurazione rilevata dalla sonda esterna man mano che si procede verso il periodo invernale.

I periodi di accensione e spegnimento di caldaie e impianti di condizionamento sono complementari e vengono effettuati manualmente. Da ottobre ad aprile vengono accese le caldaie mentre da metà giugno a metà settembre vengono attivati i condizionatori. Questo approccio non permette la facile riattivazione di uno dei due sistemi con conseguente disagio termico nel momento in cui le temperature non fossero quelle previste per le medie stagionali. Inoltre lo spegnimento dei condizionatori da quadro principale non permette il funzionamento del dispositivo di diagnostica ad esso collegato.

Lo svantaggio più importante e presto evidente è che il controllo delle caldaie in maniera separata non permette di avere una panoramica sull'interazione che i diversi vettori energetici hanno: un brusco abbassamento della temperatura esterna in estate può rendere necessario lo spegnimento dell'impianto di condizionamento in favore di quello di riscaldamento, ma al momento non è possibile a causa del diverso "centro di controllo" che opera sui due differenti sistemi, inoltre lo spegnimento delle caldaie in estate impedisce di attuare il post riscaldamento dell'aria in immissione con conseguente disagio termico per chi si trova nelle vicinanze della bocchetta del condizionatore.

Essendo spegnimento e accensione dei circuiti di riscaldamento non automatici, vi è la necessità di avere una persona che decida quando e come disporre l'attivazione o meno e questo può portare a degli errori umani che implicano un consumo non richiesto delle risorse. Emblematico è il caso del riscaldamento che è rimasto attivo il 25 dicembre 2015, nonostante l'ateneo fosse ovviamente vuoto.

#### **3.2.1 Caratteristiche**

Il sistema "TELECOSTER" è di tipo ad intelligenza distribuita. Questo significa che ciascun impianto è completamente autonomo dal sistema di telegestione e funziona indipendentemente se questo è

connesso o meno. Tutte le logiche di funzionamento sono residenti nei microprocessori dei singoli apparecchi installati presso gli impianti, che per questo motivo vengono definiti "stand alone".

### 3.2.2 Architettura del sistema

L'architettura del sistema è basata sul concetto di intelligenza distribuita e prevede:

- unità periferiche: sono definite unità periferiche gli impianti controllati. Sono collocate sul territorio e composte dalle apparecchiature preposte alla acquisizione dei dati e allo svolgimento delle procedure autonome di regolazione e comando degli impianti. Queste sono configurabili secondo le proprie caratteristiche, in modo da adattarle agli organi in campo da comandare e secondo le misure da effettuare. La comunicazione fra unità periferiche e la postazione centrale può essere indifferentemente: tramite linee telefoniche commutate, tramite linee telefoniche digitali GSM oppure tramite reti ethernet con protocolli di comunicazione TCP/IP;
- postazione centrale: normalmente ubicata presso la sede del gestore, dalla quale può essere controllato l'intero sistema, è composta da singolo operatore o da più operatori collegati in rete con logica "Client - Server" ciascuno abilitato secondo il livello di accesso concesso. Comunica con le unità periferiche utilizzando i mezzi sopra descritti;
- postazione centrale di sola visione: normalmente ubicata (o ubicate quando fossero più di una) presso la sede del committente, dalla quale sarà possibile controllare il funzionamento degli impianti, effettuare o non effettuare modifiche di programmazione e di tarature in funzione del livello di accesso al software. Anche questa è composta da singolo operatore o da più operatori collegati in rete con logica "Client - Server" con livelli di accesso legati a password. In grado di comunicare direttamente con le unità periferiche tramite linee telefoniche commutate, tramite linee telefoniche digitali GSM oppure tramite reti ethernet con protocolli di comunicazione TCP IP, oppure di collegarsi al server del sistema ubicato nella postazione centrale tramite rete;
- rete di trasmissione dati: per il collegamento delle varie unità periferiche alla postazione centrale, costituite da bus locali, linee telefoniche, modem o reti ethernet.

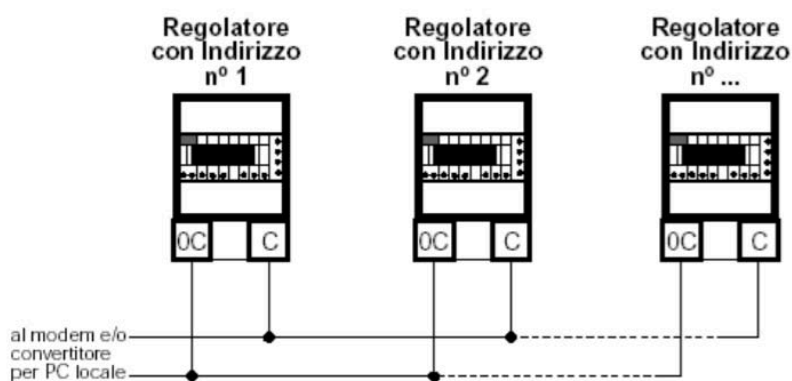
### 3.2.3 Comunicazione

Il sistema TELECOSTER prevede tre livelli di comunicazione:

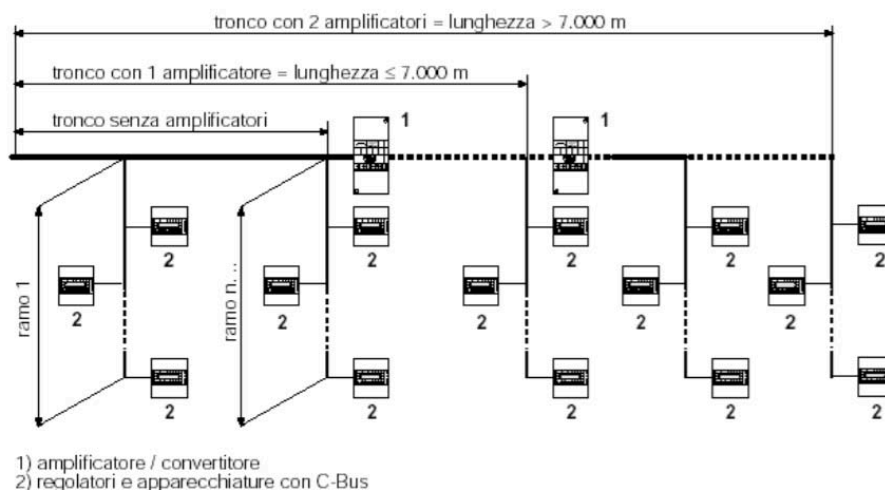
- comunicazione delle apparecchiature verso il mondo esterno, C-BUS (Figure 3.1 e 3.2): ogni apparecchiatura è dotata di un Bus di comunicazione verso il mondo esterno. Questo Bus è particolarmente robusto per risolvere tutti i problemi di distanza utilizzando fili normali (es. non schermati) come, ad esempio, in impianti di teleriscaldamento dove si può arrivare fino a centinaia di km con normali fili lungo i tubi. È ovvio che casi di distribuzione con centrali termiche e sottocentrali sono completamente risolti. È, inoltre, disponibile un'interfaccia C-BUS / RS232 che consente l'inserimento in questa rete bus di PC di gestione locale o l'inserimento di questa rete bus in sistemi di reti superiori;
- comunicazione tra apparecchiature, C-RING: le apparecchiature sono dotate di un secondo bus di comunicazione denominato C-RING per la comunicazione fra le apparecchiature, utilizzato per mettere a disposizione a più regolatori tutti i dati a loro comuni (es. misure di temperatura esterna, carichi di energia richiesta, ecc.) necessari all'ottimizzazione dei

consumi degli impianti e ad ottenere funzioni complicate che prevedono un accordo di lavoro fra più regolatori;

- comunicazione fra unità periferiche e postazioni centrali: la comunicazione fra le unità periferiche e le postazioni centrali può avvenire attraverso modem analogici e normali linee telefoniche (linee telefoniche commutate), oppure attraverso linee ISDN dove disponibili. E' possibile effettuare connessioni anche tramite rete GSM, ed anche attraverso le reti UMTS. L'uso del protocollo TCP IP permette di utilizzare virtualmente qualunque vettore standard per le connessioni, per esempio rete locale (LAN), fisica come Ethernet o virtuale come Internet. Al servizio del sistema sono disponibili una nuova serie di modem da tavolo e da centrale termica, compatibili con lo standard "HYES", anche con possibilità di condivisione di linea con altri apparecchi tipo telefono, fax e modem.



**Figura 3.1**  
Canale di comunicazione C-BUS.



**Figura 3.2**  
Topologia C-BUS.

### 3.3 Introduzione alla rete del polo DEI

Uno dei complessi di edifici ad avere un sistema di controllo per i consumi sul vettore elettrico è il polo di elettrotecnica ed elettronica DEI.

Inizialmente il sistema di controllo comprensivo di hardware e software era di tipo proprietario della ditta HYPHEN, che forniva il proprio gateway di campo e trasportava i dati in ethernet tramite il proprio server. Durante questo periodo era difficile per i tecnici del polo interfacciarsi con il fornitore in quanto ogni richiesta di elaborazione dati veniva rimandata e classificata come di difficile implementazione. Si è quindi deciso di abbandonare la strada del software proprietario per “arrangiarsi” con le risorse a disposizione e per questo motivo il software nella versione attuale è stato sviluppato internamente al DEI e si tratta di una personalizzazione di Nagios e Nagiosgraph per quanto riguarda la raccolta dati, in aggiunta ad una serie di pagine php per la presentazione.

Il polo è dotato di un punto di distribuzione in media tensione che poi si divide in sottoquadri che alimentano i diversi edifici:

- l’edificio di Geologia che, pur essendo di recente costruzione (tardo 2006) non ha implementato alcun tipo di controllo attivo;
- l’edificio DEI/G che è dotato di apparecchi di misura solo nella parte degli uffici grazie agli ultimi lavori di ristrutturazione, mentre la parte aule rimane una incognita ad eccezione dell’unità di condizionamento;
- gli edifici DEI/A e DEI/D dove sono state attuate delle misure di controllo relative a buona parte dei consumi elettrici, comprensivi dell’unità di condizionamento e con il dettaglio relativo al centro di elaborazione dati.

La rete di monitoraggio del polo DEI si basa sul protocollo dati *Modbus*. Questo protocollo è di tipo libero quindi permette, come *Lonworks*, di avere più aziende che forniscono prodotti per lo stesso. In cabina di media tensione possiamo infatti trovare l’Energy Meter PM710 di Schneider Electric, i cui dati sono veicolati al server tramite passerella ethernet EGX300; negli altri punti di monitoraggio invece ci si è affidati a dispositivi NEMO 4DL della IME con relativa interfaccia ethernet IME IF2E011.

Ad ogni interfaccia ethernet possono essere connessi più dispositivi con un indirizzo che va da 1 a 247, come nel caso della sala CED (Centro Elaborazione Dati) che è stata dotata di 5 dispositivi NEMO sotto una unica interfaccia ethernet. Questi sono stati installati nelle ultime settimane e non ancora online, anche se attualmente operativi, e garantiscono il controllo totale dei consumi nella sala.

### 3.4 Il protocollo di comunicazione MODBUS

*Modbus* è un protocollo di comunicazione seriale basato su struttura master-slave prodotto e pubblicato da Modicon nel 1979 (azienda ora parte di Schneider Electric) per mettere in comunicazione i propri controllori logici programmabili (PLC). È diventato uno standard de facto nella comunicazione di tipo industriale, ed è ora uno tra i protocolli di connessione più diffuso fra i

dispositivi elettronici industriali. Le principali ragioni di un così elevato utilizzo del *Modbus* rispetto agli altri protocolli di comunicazione sono:

- è un protocollo pubblicato apertamente e royalty free;
- facilmente implementabile dal punto di vista industriale.

Il protocollo viene usato per trasmettere informazioni tra dispositivi attraverso linee seriali. Il dispositivo che richiede l'informazione viene chiamato *Modbus* Master, mentre quello che la fornisce viene denominato *Modbus* Slave. In una linea *Modbus* standard si trova un Master e fino a 247 Slave, ognuno dei quali con un indirizzo unico compreso tra 1 e 247.

*Modbus* è un protocollo open e questo significa che è gratuito per i produttori implementarlo nei loro prodotti senza dover pagare royalties. Questo tipo di protocollo viene tipicamente utilizzato per trasmettere il segnale da strumentazione di misura ad un controllore centrale o un centro di elaborazione dati. *Modbus* è spesso usato per connettere un computer supervisore con un'unità terminale remota (RTU) in sistemi di controllo per acquisizione e supervisione dati (SCADA).

#### **3.4.1 Varianti *Modbus***

Esistono versioni *Modbus* sia per porta seriale, per Ethernet e per altre reti che supportano i protocolli Internet. Riportiamo di seguito le principali varianti:

*Modbus* RTU: questa è utilizzata nella comunicazione seriale (RS-232 or RS-485) e si avvale di una rappresentazione binaria compatta dei dati. Il formato RTU gestisce i comandi/dati con un controllo di ridondanza ciclico come meccanismo di controllo degli errori per garantire l'affidabilità dei dati. *Modbus* RTU è l'implementazione più comune a disposizione di *Modbus*. Un messaggio *Modbus* RTU dev'essere trasmesso in modo continuo senza esitazioni tra caratteri; i messaggi sono separati da brevi istanti di silenzio;

*Modbus* ASCII: questa variante è utilizzata nella comunicazione seriale e fa uso di caratteri ASCII per il protocollo di comunicazione. Il formato ASCII utilizza un controllo di ridondanza longitudinale. I messaggi sono in questo caso separati dal carattere due punti (':') e fine riga (CR/LF).

*Modbus* TCP/IP o *Modbus* TCP: questa è utilizzata per le comunicazioni *Modbus* su TCP/IP.

Il funzionamento di *Modbus* è del tipo a registri, quindi l'acquisizione degli input e programmazione degli output deve essere eseguita manualmente richiamando uno ad uno i registri di memoria nei quali questi vengono immagazzinati. È un approccio un po' datato che rende più complicata l'integrazione di questo tipo di protocollo in altri sistemi; nonostante questo inconveniente rimane comunque uno dei più robusti e utilizzati protocolli in circolazione.

#### **3.4.2 Comunicazione tra dispositivi**

Con questo standard, i dispositivi comunicano utilizzando una tecnica master-slave in cui un solo dispositivo (il master) può iniziare le operazioni (chiamate query). Gli altri dispositivi (gli slave) rispondono fornendo i dati richiesti al master, o l'azione richiesta nella query ricevuta realizzando il ciclo descritto in figuraZZZ. Il master può occuparsi di un singolo slave o spedire un messaggio in broadcast a tutti gli slave. Ciascuno di questi restituisce un messaggio (chiamato response) per la query che lo riguarda. Quando il master invia delle query di tipo broadcast non sono previste risposte.

Il protocollo *Modbus* stabilisce il formato per la query inserendo in esso l'indirizzo del dispositivo destinatario (o broadcast), un codice di funzione che definisce l'azione richiesta, i dati da inviare e un campo per il controllo degli errori. Anche il messaggio di risposta dello slave è strutturato dal protocollo *Modbus*. Esso contiene i campi per la conferma dell'azione richiesta dalla query, i dati da restituire, e uno di controllo degli errori. Se si fosse verificato un errore in ricezione del messaggio, o se lo slave non fosse in grado di eseguire l'azione richiesta, verrà generato un messaggio di errore e inviato come risposta al master.

### 3.4 Il software pinserver

Come anticipato nel paragrafo di introduzione, si è passati da una rete di tipo proprietario alla rete basata su protocollo *Modbus* ed è stato scelto di appoggiarsi al freeware Nagios. E' stato creato un programma in Python che tramite SNMP interroga gli OID dei dispositivi e li presenta in Nagios, software nato per il controllo delle reti, che può quindi ottenere i dati dei vari strumenti che sono connessi al server tramite passerella web. Questi vengono poi storicizzati e graficati attraverso Nagiosgraph, anche esso un software libero che permette la creazione di grafici, customizzato dai tecnici con il pulsante di download per la raccolta dati in csv. Le pagine di visualizzazione PHP sono state anche esse realizzate al DEI e permettono la visualizzazione dell'intero polo con i dispositivi disponibili per la lettura da remoto, oltre alla rappresentazione delle principali grandezze elettriche nella configurazione "stella delle tensioni" con relative potenze attive, reattive, apparenti, nonché fattore di potenza e frequenza.

In Figura 3.3 si può vedere uno screenshot del software di gestione "pin server" che permette di monitorare i consumi elettrici ove presente il dispositivo collegato alla rete.

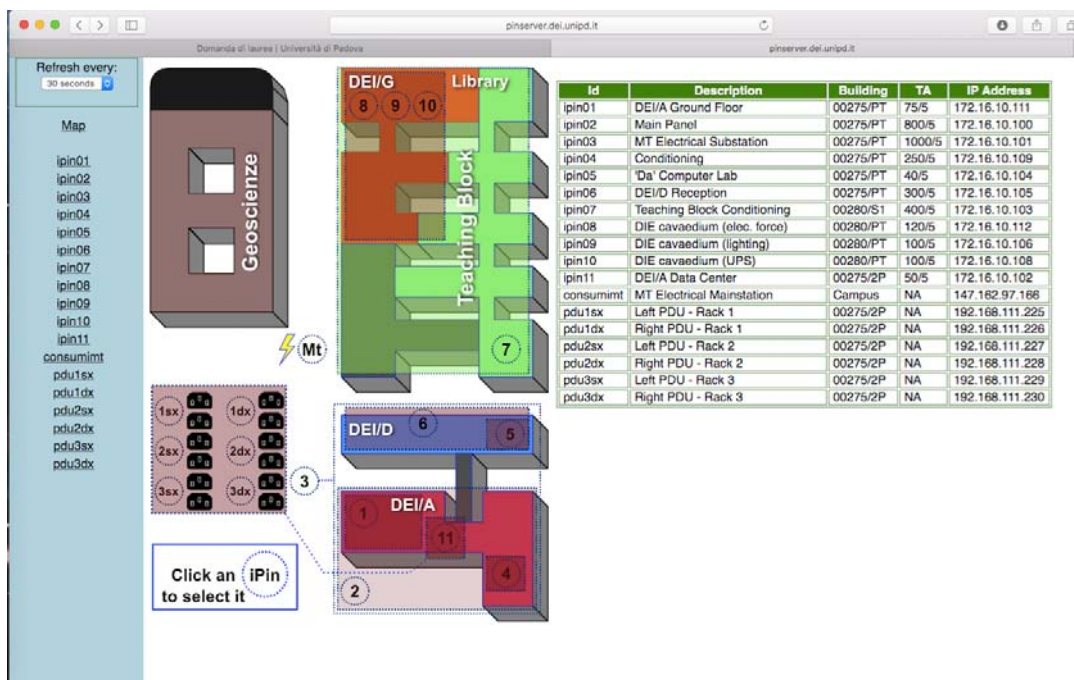


Figura 3.3 Screenshot del software di gestione per il polo DEI.

Il software nella pratica effettua la lettura delle variabili, la rappresentazione grafica delle principali grandezze e la raccolta dei dati, oltre alla possibilità di definire dei range di accettabilità delle variabili con la conseguente notifica di allarme nel caso di valori anomali delle stesse.

La storicizzazione dei dati è programmabile e, date le esigenze di sola lettura, è stata lasciata come da default ovvero:

- per i primi due giorni si ha una media dei valori ogni mezz'ora;
- dopo una settimana vengono mediati con intervalli di 6 ore;
- storicizzati per un anno.

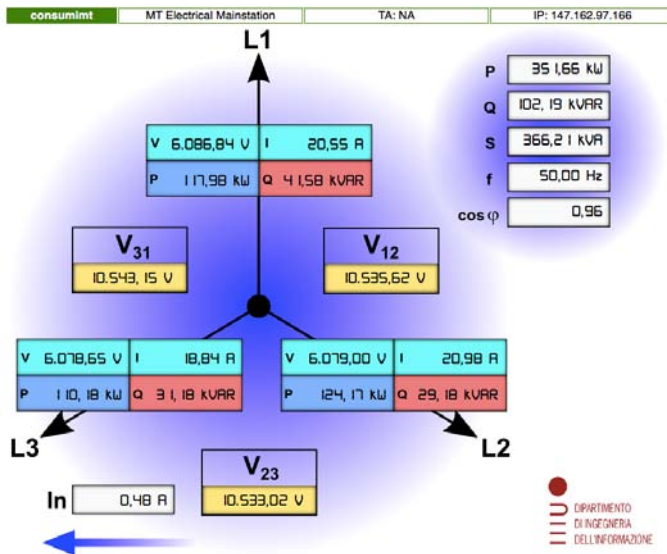
Come visibile sulla tabella a destra della schematizzazione grafica del polo, i punti di monitoraggio sono classificati in base alla loro ubicazione e per il polo DEI troviamo i seguenti:

- ipin01: DEI/A Ground Floor;
- ipin02: Main Panel;
- ipin03: MT Electrical Substation;
- ipin04: Conditioning;
- ipin05: "DA" computer Lab;
- ipin06: DEI/D reception;
- ipin07: Teaching Block Conditioning;
- ipin08: DIE cavaedium (elec. force);
- ipin09: DIE cavaedium (lighting);
- ipin10: DIE cavaedium (UPS);
- ipin11: DEI/A data center;
- consumimt: MT Electrical Mainstation;
- pdu1sx: Left PDU - Rack 1
- pdu1sx: Right PDU - Rack 1
- pdu1sx: Left PDU - Rack 2
- pdu1sx: Right PDU - Rack 2
- pdu1sx: Left PDU - Rack 3
- pdu1sx: Right PDU - Rack 3

Salta subito all'occhio come il più recente polo di Geoscienze non posseda alcun sistema di monitoraggio dei consumi e come sull'edificio DEI/G sia stata completata solo la parte di controllo relativa a luce, forza motrice e UPS dal lato uffici, mentre sul lato aule è stato attuato il controllo esclusivamente dell'unità di condizionamento. Purtroppo la mancanza di queste informazioni vanifica in parte la possibilità di indicizzare i consumi e quindi di verificare quali, nel dettaglio, siano le utenze energivore. L'unico blocco di edifici con un buon grado di implementazione è quello composto da DEI/A e DEI/D.

E' altresì vero che, per quanto incompleta dato che mancano informazioni sui consumi globali dei principali edifici, questa rete presenta un buon grado di implementazione con la possibilità di conoscere anche i consumi parziali di alcuni edifici. Questa soluzione ha infatti già dato i suoi frutti: è proprio grazie a questa che si è potuto constatare un funzionamento, durante la ore notturne e nei giorni festivi, dell'aula computer al piano terra dell'edificio DEI/D e quindi disporre lo spegnimento.

### 3.4.1 La cabina di Media Tensione



**Figura 3.4**  
Terna delle tensioni e correnti relative al consumo della cabina MT del polo DEI.

Cliccando sul pin associato alla cabina di media tensione è possibile visualizzare la terna delle tensioni e correnti istantanee, le potenze attiva, reattiva, apparente di ogni fase e totali e il fattore di potenza. La schermata che si apre è quella della figura a sinistra (Figura 3.4). Cliccando successivamente su uno dei parametri è possibile vederne lo storico. E' interessante poter vedere quale sia l'andamento dei prelievi di potenza che si visualizza cliccando sul consumo istantaneo P e mostrato in Figura 3.5.

Sul primo grafico si ha l'andamento giornaliero, il secondo grafico ha l'andamento settimanale mentre il terzo e quarto sono rispettivamente relativi all'andamento mensile e annuale del prelievo di potenza attiva.



**Figura 3.5**  
Andamento giornaliero, settimanale, mensile e annuale del prelievo di potenza attiva relativo alla cabina MT.



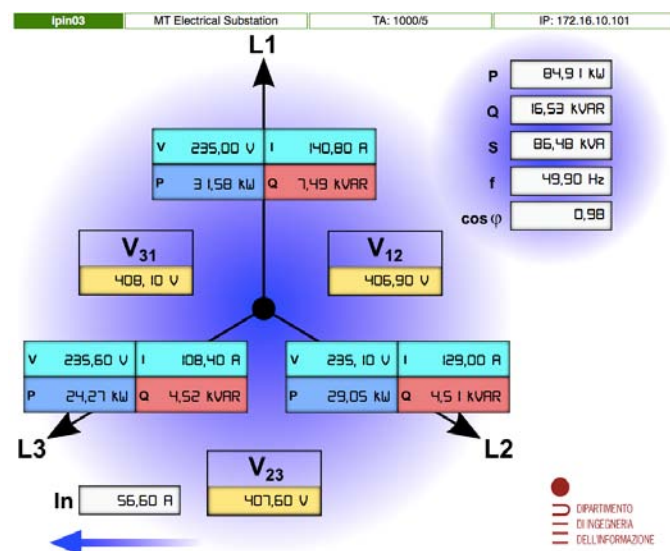
Sulla parte inferiore del grafico troviamo le informazioni relative al minimo e massimo consumo rilevato nel periodo di tempo indicato ed è inoltre possibile, con il menu sulla destra, modificare il periodo di visualizzazione del grafico e scaricare i dati in formato csv per elaborarli. Una ulteriore informazione presente su questa schermata, subito sopra al grafico del consumo giornaliero, è il dispositivo hardware che viene utilizzato per il monitoraggio.

Da questi grafici relativi alla potenza impegnata, è possibile notare come la base di consumo nelle ore notturne sia di ben 150 kW. Purtroppo l'incompleta realizzazione del sistema non permette di capire esattamente a quali edifici e in quale parte possa essere assegnata.

Il maggiore consumo di energia elettrica è nei mesi estivi dove, in seguito all'accensione dei condizionatori, si arriva a picchi di quasi 500kW, ad eccezione di agosto in cui l'ateneo rimane chiuso. Ovviamente i consumi nei mesi invernali si abbassano in quanto non sono più necessari gli impianti di condizionamento anche se, come è logico, si alzano i consumi degli impianti di riscaldamento che non sono tuttavia alimentati a energia elettrica. La salita a gradini della potenza nell'andamento giornaliero è dovuto all'accensione delle UTA che sono tra gli impianti con maggiore consumo energetico presenti in ogni edificio e sempre attivi, dovendo garantire per legge un minimo di 5 ricambi di aria ogni ora.

Dal grafico del consumo mensile si nota come il primo giorno della settimana 17, lunedì 25 aprile, non sia caratterizzato da particolari consumi in quanto festivo.

### 3.4.2 Gli edifici DEI/A e DEI/D



**Figura 3.6**  
Terna delle tensioni e correnti relative al consumo della sottostazione a servizio degli edifici DEI/A e DEI/D.

Come già anticipato nel precedente paragrafo, questo è l'unico complesso con rete di monitoraggio quasi completa che permette di scorporare la maggior parte dei consumi. Con lo stesso sistema descritto precedentemente selezioniamo il pin03 relativo alla sottostazione del complesso (Figura 3.6) e ne analizziamo i profili di carico (Figura 3.7). La linea in questione presenta uno squilibrio marcato, la corrente di neutro infatti è ben lontana da essere nulla.

Dalla curva settimanale possiamo vedere che una parte delle utenze rimane attiva anche durante le ore notturne con una base di consumo di circa una cinquantina di kW. Sottraendoli dal consumo della cabina di media possiamo dedurre che 100 dei 150kW che si rilevavano nelle ore notturne siano imputabili ai restanti due edifici.



**Figura 3.7**  
**Andamento giornaliero, settimanale, mensile e annuale del prelievo di potenza attiva relativo alla sottostazione a servizio degli edifici DEI/A e DEI/D.**

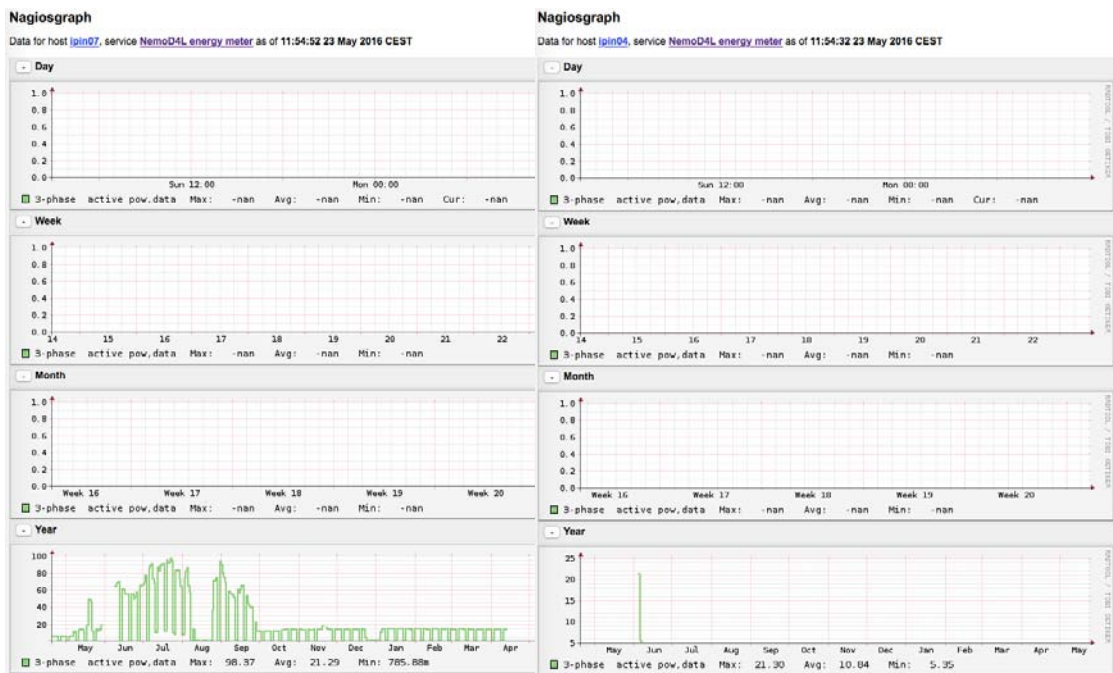
E' possibile cercare di individuare quali siano le cause di questo consumo di energia usando i dati scaricabili in tabella e raccogliendoli in un unico foglio excel per poterli elaborare.

Si è scelta la mezzanotte della giornata tra il 18 e 19 maggio e dal valore del contatore ipin02 sono stati sottratti i valori relativi agli altri contatori degli edifici, arrivando a calcolare che vi sono circa 40kW consumati durante le ore notturne. Non è possibile però, con questo grado di dettaglio, capire a quali cause siano da attribuire, anche se sicuramente una parte è dovuta all'illuminazione interna ed esterna di sicurezza.

Il dispositivo NEMO a monte del centro elaborazione dati (ipin11) non è al momento funzionante e le informazioni relative al consumo del centro elaborazione dati sono state calcolate come somma dei consumi delle Power Distribution Unit (PDU) che si trovano subito a valle, anche se non coprono la totalità delle utenze del centro.

### 3.4.3 Gli impianti di condizionamento

I due impianti di condizionamento dei quali si può conoscere il consumo sono quelli della parte aule del DEI/G e sugli edifici DEI/A e DEI/D, rispettivamente relativi ai pin 07 e 04, i cui andamenti sono visibili in Figura 3.8. Gli andamenti giornaliero, settimanale e mensile non sono disponibili al momento in quanto il quadro principale è privo di alimentazione; è però possibile vedere lo storico annuale dove si notano gli evidenti picchi di consumo nel periodo estivo, ad eccezione di agosto dove rimane spento in assenza di lezioni.



**Figura 3.8**  
**Grafi relativi al consumo degli impianti di condizionamento dell'edificio DEI/G parte aule, a sinistra, e degli edifici DEI/A e DEI/D a destra**

Quando per la prima volta fu attuato il monitoraggio dei consumi dei condizionatori, il pin2 relativo all'edificio DEI/A aveva un picco massimo dei consumi di circa 200kW in estate. Per ridurre tale consumo si è cercato di trovare delle soluzioni che permettessero agli occupanti degli edifici di regolare la temperatura a loro piacimento ma che consentissero comunque di avviare al comportamento energivoro.



**Figura 3.9**  
**Andamento de consumo nei giorni 16 e 17 marzo dell'impianto di condizionamento asservito alla parte aule dell'edificio DEI/G**

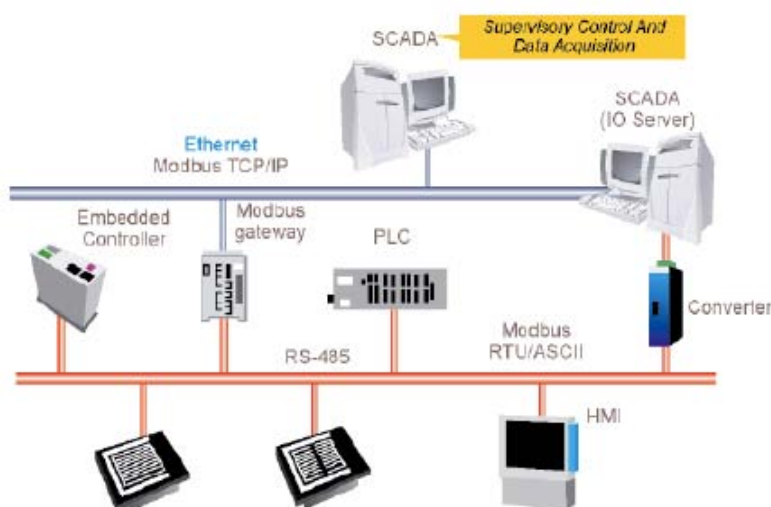
L'impianto di condizionamento dell'edificio in questione è del tipo a espansione diretta di gas, quindi ha dei tempi di raggiungimento del funzionamento a regime molto rapidi. E' stato per questo motivo possibile inviare due impulsi di spegnimento, uno alle 14.00 e uno alle 20.00, con reset della temperatura a 26°C. In questo modo se un utente accende il condizionatore la mattina e poi uscendo se ne dimentica, questo viene spento in modo automatico alle 14.00. Allo stesso modo l'ulteriore impulso di spegnimento delle 20.00 evita l'inutile accensione durante le ore notturne. Grazie a questa impostazione si è riusciti quasi a dimezzare il consumo storico dell'edificio, arrivando ad un picco che ora si attesta sui 110kW.

Nonostante la riduzione del consumo data da questo accorgimento, si può notare dalla Figura 3.9 come la necessità di spegnimento manuale abbia comportato il funzionamento dell'impianto di condizionamento del blocco aule anche nei mesi invernali. L'andamento a gradini del prelievo di potenza imputabile al condizionatore è dovuto all'approssimazione attuata da Nagios nella risoluzione degli input nel tempo.

### 3.5 Hardware per il monitoraggio del polo DEI

Il protocollo *Modbus* richiede un Gateway che permetta di "tradurre" lo stesso da *Modbus* RTU a *Modbus* TCP per essere veicolato tramite Ethernet. Per adempiere a questo compito sono stati utilizzati la passerella Web EGX300 di Schneider Electric per la cabina di media e l'interfaccia ethernet IME IF2E011 per i restanti dispositivi NEMO.

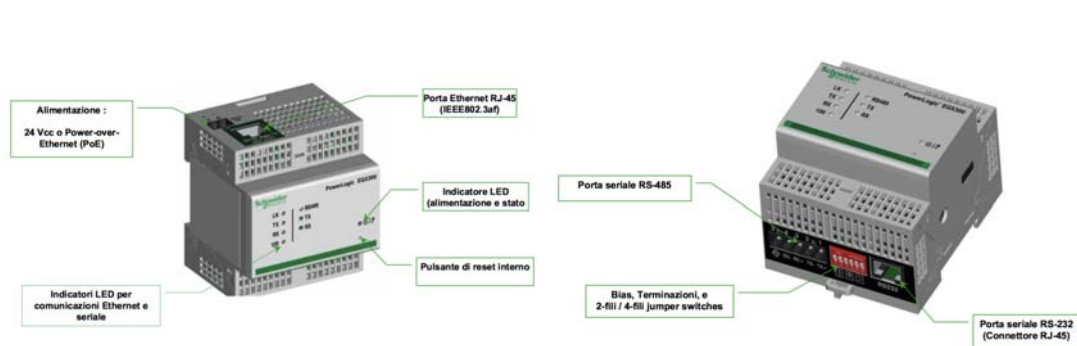
A queste sono collegati tramite cavo arrotolato con standard RS485 tutti i dispositivi per il controllo delle utenze, ottenendo in questo modo la topologia bus tipica che si può vedere in Figura 3.10.



**Figura 3.10**  
Topologia tipica di una rete SCADA basata su protocollo Modbus.

### 3.5.1 Schneider Electric Power Logic EGX300

PowerLogic EGX300 (Figura 3.11) è una passerella con server integrato che richiede un web browser e una rete ethernet per storicizzare o visualizzare i dati in tempo reale e su grafici di trend per un massimo di 64 dispositivi della famiglia PowerLogic (incluse altre passerelle, dispositivi sulla stessa rete e qualsiasi altro dispositivo comunicante in *Modbus* RS 485).



**Figura 3.11**  
Vista superiore e inferiore della passerella Schneider Electric Power Logic EGX300.  
Fonte: catalogo Schneider Electric.

Le pagine web precaricate su EGX300 e la memoria da 256 Mb mettono a disposizione schermate per la visualizzazione dei dati d'impianto elettrico e per l'archiviazione di link e file di documentazione come manuali d'installazione e diagrammi d'impianto.

Il web server integrato nella passerella EGX300 può essere sfruttato utilizzando un Internet browser per visualizzare i dati in tempo reale e ottenere l'accesso ai dati di consumo memorizzati a bordo con pagine HTML standard o definite dall'utente, mediante software PowerLogic per l'analisi dei dati o anche solo quando è utile o necessario visualizzare i dati energetici di un sistema in modo remoto.

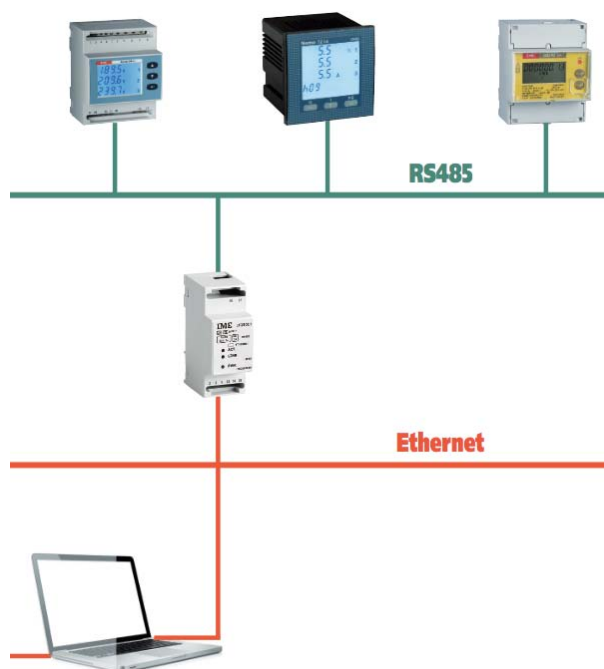
Le caratteristiche principali della passerella EGX300 sono:

- viste degli storici e dei dati in tempo reale per applicazioni multiple attraverso un qualsiasi web browser Microsoft-compatibile senza l'ausilio di nessun altro software;
- rilevamento automatico dei dispositivi per una configurazione facile e semplice;
- invii automatici dei dati storicizzati tramite e-mail o FTP direttamente al tuo PC per le tue analisi supplementari;
- selezione dell'intervallo di registrazione e delle grandezze elettriche che vuoi registrare;
- protezione dei dati attraverso password e accessi individuali alle pagine web, alla registrazione degli storici di allarme tramite una sicurezza personalizzabile grazie ai diversi livelli di accesso (sola lettura o accesso completo) con Filtraggio *Modbus*TCP/IP;
- IP30, montaggio su guida DIN;
- installazione semplificata di alimentazione tramite tensione ausiliaria diretta di 24 Vcc o attraverso PoE (Power over Ethernet);
- supporta i seguenti protocolli: *Modbus* RTU, *Modbus* ASCII, Jbus e PowerLogic;
- Porta 10/100BaseTx Ethernet;
- Porta seriale configurabile per RS485 (2/4 fili) o RS232 (RJ45) opto-isolate;
- temperature di funzionamento in ambienti industriali (da -25 a 70°C);

- compatibile con tutti i software di monitoraggio e gestione dell'energia della famiglia PowerLogic.

### 3.5.2 IME IF2E011

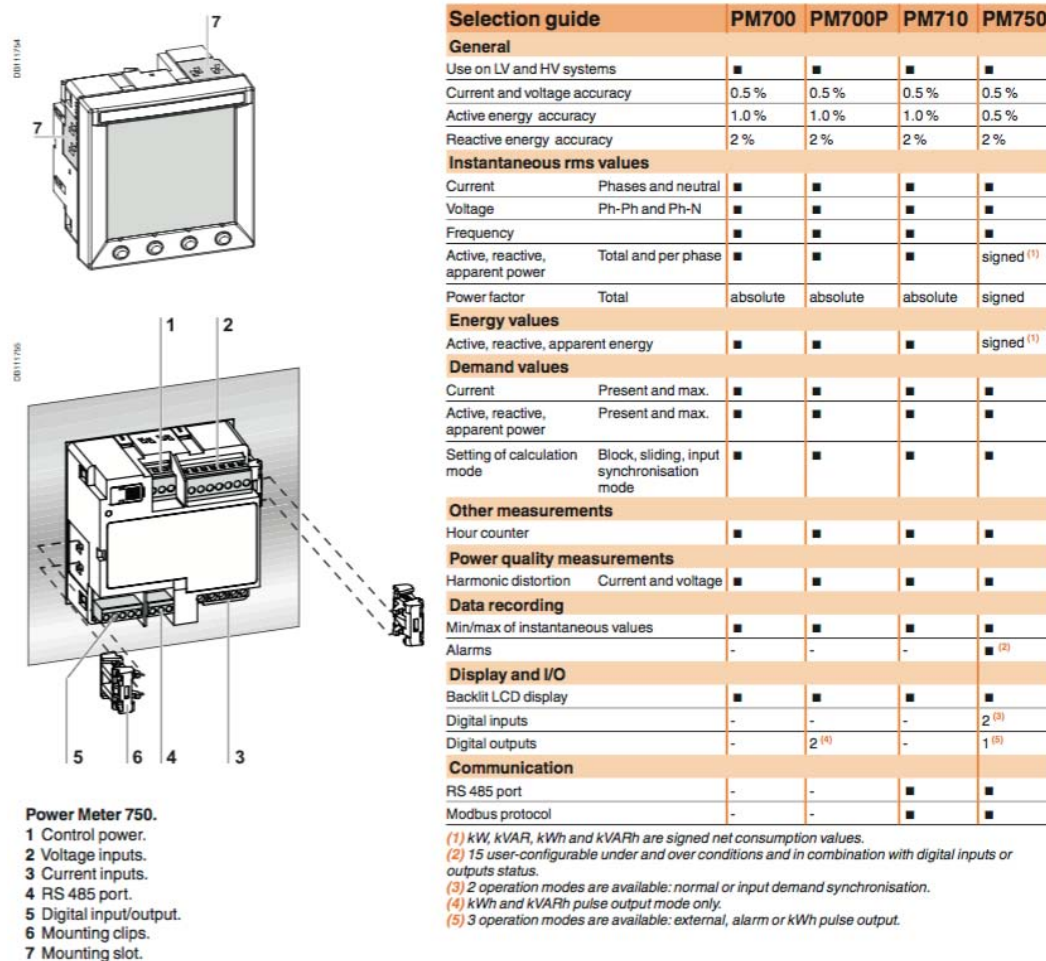
Il dispositivo è una interfaccia di comunicazione ethernet a due moduli che consente la conversione dal collegamento RS485 a Ethernet permettendo la programmazione e lettura dei principali parametri attraverso browser internet con accesso diretto tramite IP senza la necessità di software dedicato. L'interfaccia IF2E011 è in grado, in modalità "Bridge", di gestire una sola connessione TCP alla volta. Questo implica che non è possibile, da due postazioni differenti e con due programmi, accedere in modo contemporaneo alla rete di strumenti collegati. Questa limitazione non è presente in modalità "web" nel quale caso si nota solo un ritardo di risposta verso il richiedente quando l'interfaccia sia già impegnata a rispondere ad un altro partecipante.



**Figura 3.12**  
Schema di principio per l'inserimento dell'interfaccia IME IF2E011 in topologia tipica Modbus.

### 3.5.3 Schneider Electric PM710 Energy Meter

Il Power Meter 710 offre tutte le funzioni di misura necessarie al controllo di un'impianto elettrico in una dimensione estremamente compatta (96x96 mm sporgente solo 50 mm dalla superficie di montaggio). Il display retroilluminato permette la lettura delle grandezze sulle tre fasi anche in locali dalla scarsa illuminazione.



**Figura 3.13**  
**Dettaglio delle caratteristiche tecniche del Power Meter 710 di Schneider Electric.**

Le principali caratteristiche tecniche presentate nella scheda del produttore sono:

- Misura tensione: 480 V AC diretta o con TV esterno;
- Sporgente solo 50 mm dalla superficie di montaggio;
- Porte di comunicazione: 1;
- Display retroilluminato di facile lettura;
- User-friendly;
- Visualizzazione valori medi potenza e corrente, THD e valori min/max (versione base);
- IEC 62053-21 Classe 1 per l'energia attiva.

Che possono essere visualizzate con maggior dettaglio nella Figura 3.13.

### 3.5.4 NEMO D4-L Energy Meter

Il NEMO D4-L Energy Meter è uno strumento multifunzione per reti bassa tensione. Questi sono del tutto simili ai già visti Energy Meter della Schneider Electric, però possiedono in aggiunta l'uscita a impulsi per la valorizzazione delle potenze Attiva, Reattiva e Apparente.

- Le caratteristiche principali del dispositivo dichiarate dal Costruttore sono:
- Misura di tensione per linea trifase 50...450V (fase - fase)
- Misura di tensione per linea monofase 30...260V
- Inserzione su TA dedicati
- Rapporto TA e TV esterni programmabile
- Misura di Energia attiva cl.1
- Diagnostica, correzione sequenza fasi
- Uscita impulsi
- Comunicazione RS485
- Interfacce esterne: Comunicazione Ethernet (NT809 - NT891)

Il display retroilluminato permette la lettura dei dati relativi alle tre fasi anche in locali con scarsa illuminazione.

Come per il precedente dispositivo, nelle Figure 3.14 3 3.15 vengono riportate le caratteristiche tecniche fornite dal produttore.

MODELLO MODEL		Nemo D4-L	
LINEA NETWORK		bt / LV	
INGRESSO INPUT	CONNESSIONE CONNECTION	Monofase / Single-phase	✓
		Trifase, carico equilibrato Three-phase, balanced load	
		Trifase, carico squilibrato Three-phase, unbalanced load	✓
	DIAGNOSTICA, CORREZIONI SEQUENZA FASI / PHASE SEQUENCE CORRECTION, DIAGNOSTIC		✓
	VALORI NOMINALI RATED VALUE	Tensione / Voltage	400V
		Corrente / Current	1 + 5A
	INGRESSO CORRENTE INPUT CURRENT	TA dedicati / Dedicated CT	✓
		Isolato / Insulated	
	RAPPORTO PROGRAMMABILE PROGRAMMABLE RATIO	TV (kTV) / VT (kVT)	1...10
		TA/CT Portate / Ranges I <sub>pn</sub> / I <sub>sn</sub>	1...9'999
max. kTV x kTA / max. kVT x kCT		99'990	
Shunt			
Precisione / Accuracy EN/IEC61557-12		cl.1	
ENERGIA ATTIVA ACTIVE ENERGY	Precisione energia cc Energy accuracy dc		
	Positiva, totale e parziale Positive, total and partial	✓	
	Negativa, totale / Negative total		
ENERGIA REATTIVA REACTIVE ENERGY	Precisione / Accuracy EN/IEC61557-12I	cl.2	
	Positiva, totale / Positive, total	✓	
	Positiva, parziale / Positive, partial Negativa, totale / Negative, total		

Figura 3.10.4  
Dettaglio delle caratteristiche tecniche del dispositivo Nemo D4-L, parte 1.



VISUALIZZAZIONE DISPLAY	TENSIONE VOLTAGE	di Fase e concatenata / Phase and linked	✓
	CORRENTE CURRENT	di Fase e di neutro (calcolata) Phase and neutral (computed)	✓
		di Neutro (misurata) Neutral (measured)	
	FATTORE DI POTENZA POWER FACTOR	Media-media massima di fase Phase demand and max. demand	✓
		Trifase / Three-phase	✓
	POTENZA POWER	Di fase / Phase	
		Attiva, reattiva, apparente Active, reactive, apparent	✓
		Media e media massima Demand and max. demand	✓
	DISTORSIONE ARMONICA Corrente / Tensione HARMONIC DISTORTION Current / Voltage	Attiva e reattiva di fase Phase active and reactive	✓
		THD	
	FREQUENZA / FREQUENCY	Analisi / Analysis	
	MISURA C.C.' / D.C.' MEASURE		✓
	CONTAORE / RUN HOUR METER		✓
	SEQUENZA FASI ERRATA / WRONG PHASE SEQUENCE		
TEMPERATURA / TEMPERATURE			
USCITE OUTPUT	IMPULSI / PULSES		■
	RELE' ALLARMI / ALARM RELAYS		
	RELE' ALLARMI + INGRESSI DIGITALI / ALARM RELAYS + DIGITAL INPUTS		
	ANALOGICA / ANALOGUE		
COMUNICAZIONE COMMUNICATION	RS232		
	RS485 MODBUS RTU		■
	RS485 + MEMORIA / RS485 + MEMORY		
	PROFIBUS		
	LONWORKS		
	M-BUS		
	BACNET		
	ETHERNET		RS485+IF2E001
TRASMISSIONE RADIO 868MHz / 868MHz RADIO TRANSMISSION			

Figura 3.10.5  
Dettaglio delle caratteristiche tecniche del dispositivo Nemo D4-L, parte 2.

### 3.5.5 Power Distribution Unit (PDU)

Le Power Distribution Unit sono delle multiprese tipicamente usate per proteggere gli elaboratori da guasti e sovraccarichi. Le PDU Monitored, come quelle del data center del polo DEI/A, consentono una misurazione attiva per ottimizzare i consumi energetici e per la protezione delle apparecchiature collegate. L'utente può definire le soglie di allarme per la segnalazione di potenziali sovraccarichi, in modo da prevenire guasti critici agli apparati informatici attenuando il rischio di danni a livello locale e remoto.

Le PDU forniscono inoltre dati sull'utilizzo di energia elettrica permettendo ai responsabili di data center di prendere decisioni informate in termini di bilanciamento del carico e di corretto dimensionamento degli ambienti informatici. A seconda dei modelli possono essere dotate di una porta per sensore di temperatura e umidità.



Figura 3.16  
Esempio di PDU Monitored.



## Capitolo 4 - STUDIO DI FATTIBILITA'

Nel seguente capitolo si discuteranno le azioni che dovranno essere intraprese all'Università di Padova per creare una rete di monitoraggio globale che comprenda i diversi vettori energetici. Verranno individuati gli interventi più significativi con relativo costo approssimativo di implementazione e valutazione dei benefici attesi.

### 4.1 Differenze tra le reti degli atenei

A fronte di quanto visto nei capitoli precedenti risulta evidente come la situazione dei due atenei presi in esame sia completamente differente: la creazione della rete di monitoraggio dell'Università di Bologna è stata concertata da un progetto globale che ha permesso di adottare una strategia condivisa nelle scelte tecnologiche e strategiche, garantita dal vantaggio di non avere alcun progetto a monte che vincolasse all'adozione di tecnologie pregresse. A differenza di questa, le reti di monitoraggio dell'Università di Padova sono frutto di iniziative frammentate che hanno portato negli anni a sviluppi tecnologici differenti i quali, ad oggi, rendono più complicate le azioni di coordinamento che comunque saranno necessarie al fine di comprendere la reale situazione energetica ed operare un controllo concertato sul consumo globale.

Nonostante la presenza di alcune reti basate sul protocollo *Modbus*, a Bologna si è presto deciso di passare al più flessibile *LonWorks* che ha reso le operazioni di implementazione della rete molto più rapide grazie alla programmazione a blocchi funzionali e possibile la verifica delle microinterruzioni. A Padova la rete di telecontrollo delle caldaie opera secondo un protocollo di comunicazione proprietario mentre le applicazioni di monitoraggio sui consumi elettrici del polo DEI adottano il protocollo *Modbus*.

Il software di gestione degli atenei è una sostanziale differenza tra i due sistemi: On.Energy offre nativamente funzioni di monitoraggio energetico unite all'importante possibilità di customizzazione volta alla soddisfazione delle esigenze dell'utente finale che permettono di ottenere, oltre alla generazione di allarmi e storicizzazione dei dati, la creazione di template che implicino azioni di comando sugli impianti e la possibilità di creazione di formule con le variabili disponibili mediante interfaccia grafica user friendly. In questo modo le informazioni che l'utente può ottenere sono di tipo complesso e differenti dalla mera visualizzazione delle variabili disponibili dei dispositivi di misura. Un'altra importante caratteristica è la possibilità di raccogliere le diverse sottoreti basate su diversi protocolli sotto un unico ambiente operativo che facilita di molto le operazioni di concertazione dei consumi. Il software Nagios su cui si basa la piattaforma dell'Università di Padova è stato pensato per la verifica dell'integrità di rete, quindi inadatto a svolgere mansioni di gestione energetica complesse. Da la possibilità di creare allarmi quando i parametri escono dai range impostati dall'operatore e permette la storicizzazione dei dati e la visualizzazione di grafici relativi all'andamento delle diverse variabili, però non permette l'utilizzo di template e la creazione di formule mediante interfaccia grafica. Il software di gestione della rete TELECOSTER è proprietario e funzionalmente studiato per gestire esclusivamente la rete di controllo delle caldaie.

## 4.2 Azioni per l'uniformità della rete UNIPD

### 4.2.1 Piattaforma software

Il problema principale dell'Università di Padova consiste, come precedentemente descritto, nell'avere diversi tipi di reti che non interagiscono tra loro. Il primo passo per garantire una copertura globale delle reti consiste nel dotarsi di un software di gestione che permetta di ottenere tale situazione. L'Università di Bologna, dopo aver indetto un bando per la fornitura, ha scelto di appoggiarsi a On.Energy fornito da Onit Group S.r.l. di Cesena. L'acquisto del software, comprensivo di server di proprietà e tutto il necessario per la messa in esercizio, ha comportato una spesa che si aggira tra i 15 e i 20'000€. Ovviamente la necessità di appoggiare la rete di controllo TELECOSTER delle caldaie implica che tra la i criteri di scelta debba necessariamente esserci l'interoperabilità; però non è possibile stabilire a priori quale costo abbia l'adattamento del sistema sopracitato che dovrà essere valutata con il fornitore del servizio informatico.

BENEFICI ATTESI:

- la raccolta delle informazioni in un unico ambiente operativo;
- possibilità di programmare accensione e spegnimento automatici e complementari degli impianti HVAC;
- controllo del sistema caldaie ad opera di personale interno all'ateneo, con password di accesso per i tecnici manutentori di ogni polo in modo da operare un controllo puntuale;
- visione globale dei consumi per l'energy manager che può in questo modo programmare azioni di efficientamento energetico globali.

### 4.2.2 Monitoraggio cabine MT

Il passo successivo comprende l'implementazione di reti di controllo per il vettore elettrico, almeno inizialmente, per le utenze più energivore alimentate tramite cabina di MT, che sono 21 nell'ateneo patavino. Il prezzo per l'implementazione di tale rete non può essere previsto a priori con buon grado di precisione in quanto, oltre al contaipulsi per il contatore MT, il dispositivo NEMO sul lato BT del trasformatore e il server i.LON, sarebbe comunque necessario installare un dispositivo di misura multifunzione per ogni partenza dei quadri di BT che alimenta i diversi edifici e, dipendentemente dal grado di dettaglio che si vuole raggiungere, anche sulle principali partenze di ogni quadro BT dei diversi edifici. Il costo della posa della fibra ottica non può essere calcolato a corpo ma varia per ogni cabina. I dispositivi utilizzati all'Università di Bologna sono i server i.LON 100 che hanno un costo di circa 700€ l'uno, i dispositivi di misura multifunzione Nemo 96HD+ che costano circa 1'000€ completi di interfaccia LON e, per quanto concerne i quadri BT, gli Schneider Electric A9MEM3275 da circa 250€. Ove presente la scheda ES sul contatore di MT del fornitore, è possibile usare un ECL350 per la valorizzazione a impulsi dell'energia attiva e reattiva anziché il dispositivo NEMO, comportando un notevole risparmio in quanto il costo del controllore logico è di circa 200€.

Globalmente, i tecnici dell'Unibo hanno stimato una spesa di circa 6'500€ a cabina tenendo conto dell'uso del web server i.LON, il controllore ECL350 utilizzato come contaipulsi, il dispositivo NEMO 96HD+ e i vari cablaggi. La spesa per l'Università di Padova si aggirerebbe quindi sui 130'000€, contando che la cabina di media del polo DEI è già servita da dispositivi analoghi. Rimane

la necessità di verificare che altri poli non si siano dotati autonomamente di reti simili. Questa spesa consentirebbe di monitorare circa l'80% del totale consumo elettrico di ateneo.

Per il polo DEI, dove già esiste una rete basata sul protocollo *Modbus*, la soluzione più intelligente consiste nel completare la rete con i controlli relativi alle utenze che ne sono al momento sprovviste ovvero l'edificio di Geologia, la parte delle aule dell'edificio DEI/G e gli impianti UTA dei vari edifici che solitamente sono responsabili di una buona parte dei consumi elettrici.

In aggiunta alle cabine MT sarebbe consigliabile attuare delle politiche di monitoraggio anche sulle utenze caratterizzate da un consumo annuo superiore o uguale a 250'000 kWh. Escludendo le utenze fornite in MT, delle quali già si è parlato, rimangono altri 9 edifici all'Università di Padova che superano tale soglia. Ipotizzando un costo di 4'000€ a cabina BT per web server i.LON, dispositivo Schneider A9MEM3275 ed eventuali costi di cablaggio, si aggiungerebbero 36'000€ che permetterebbero in questo modo di coprire il 90% del totale consumo elettrico di ateneo attuando il controllo su appena 30 dei 114 punti di consegna.

#### BENEFICI ATTESI:

- nozioni sui profili di carico dei diversi edifici;
- riduzione del consumo elettrico tra il 2 e il 7%;
- allarmi preventivi in caso di guasti o parametri anomali che permettono di individuare e gestire rapidamente il malfunzionamento;
- informazioni sui rendimenti dei trasformatori;
- informazioni sui valori delle principali variabili elettriche e verifica delle microinterruzioni;
- riduzione dei consumi grazie all'individuazione di comportamenti energeticamente scorretti;
- verifica dell'efficacia degli interventi di efficientamento energetico.

### 4.2.3 Impianti HVAC

Il controllo integrato degli impianti di riscaldamento, condizionamento e ventilazione permettono di garantire un buon comfort all'interno degli edifici unito a dei risparmi importanti. All'Università di Bologna hanno verificato, a seguito dell'implementazione del controllo delle caldaie, un risparmio sulla bolletta del gas tra il 10 e il 15%. La verifica sulla riduzione del consumo elettrico non è ancora stata realizzata, però lo spegnimento dei condizionatori quando inutili e la regolazione delle UTA hanno sicuramente contribuito a ridurre i consumi negli edifici.

Il telecontrollo delle caldaie all'Università di Padova viene già effettuato da ditte esterne. Il vantaggio nel proporre una regolazione attuata all'interno dell'università permette l'effettiva azione dei tecnici che operano nell'edificio servito dalla medesima caldaia, in modo da ottenere un feedback in tempo reale e consentire di pianificarne il funzionamento in base all'effettivo uso delle strutture anche in caso di occupazione, o meno, straordinaria.

Il primo passo per la realizzazione del controllo sugli impianti HVAC consiste nello studio approfondito dell'esistente sistema TELECOSTER per verificare lo stato degli impianti, la necessità di dispositivi di controllo differenti, la possibilità di installare inverter per le pompe e, in caso fosse necessario, provvedere all'ammodernamento. Per una centrale di piccole dimensioni come quella descritta nel secondo capitolo, dotata di dispositivi Distech e web server i.LON, la spesa completa di start up è stata di circa 5'500€. Il prezzo per l'implementazione del controllo integrato di UTA e impianto di condizionamento non è calcolabile a priori dipendendo anche dall'ubicazione stessa degli impianti, e rimane da valutare assieme al manutentore per capire quali siano le necessità.

Il telecontrollo degli impianti di condizionamento è un altro intervento importante per ridurre i picchi di consumo estivi. Evidente è il caso del polo DEI dove con due segnali di spegnimento al giorno e la riprogrammazione a 26 gradi hanno, di fatto, quasi dimezzato il picco di consumo dell'edificio durante i mesi estivi.

#### BENEFICI ATTESI:

- aumento del comfort termico negli edifici;
- risparmio nella fornitura di gas tra il 10 e il 15%;
- diminuzione dei picchi di consumo elettrico estivi ad opera degli impianti di condizionamento;
- migliore capacità di regolazione degli impianti.

#### 4.2.4 Previsione globale

Globalmente sono ipotizzabili delle riduzioni di consumo conseguenti all'implementazione di una rete di monitoraggio leggermente inferiori a quelli dell'Università di Bologna, in quanto questi partivano da una totale assenza di sistemi di questo genere, per arrivare ad una copertura pressoché totale. I risparmi maggiori infatti sono conseguenti all'implementazione del controllo caldaie che all'UNIPD viene già effettuato, quindi rimane da valutare quanto questo possa essere efficace e come possa essere ulteriormente migliorato.

Si ritiene comunque verosimile, grazie all'esperienza dell'Università di Bologna, che a fronte di una spesa di 130'000€ per il controllo delle cabine MT e 20'000€ per il software di gestione si possano garantire dei tempi di ritorno nell'ordine dei 3 anni ed una riduzione globale della spesa energetica che può variare tra il 2 e il 7%. Si sono ipotizzati 3 scenari per dare una idea generale di quali possano essere i tempi di rientro dell'investimento:

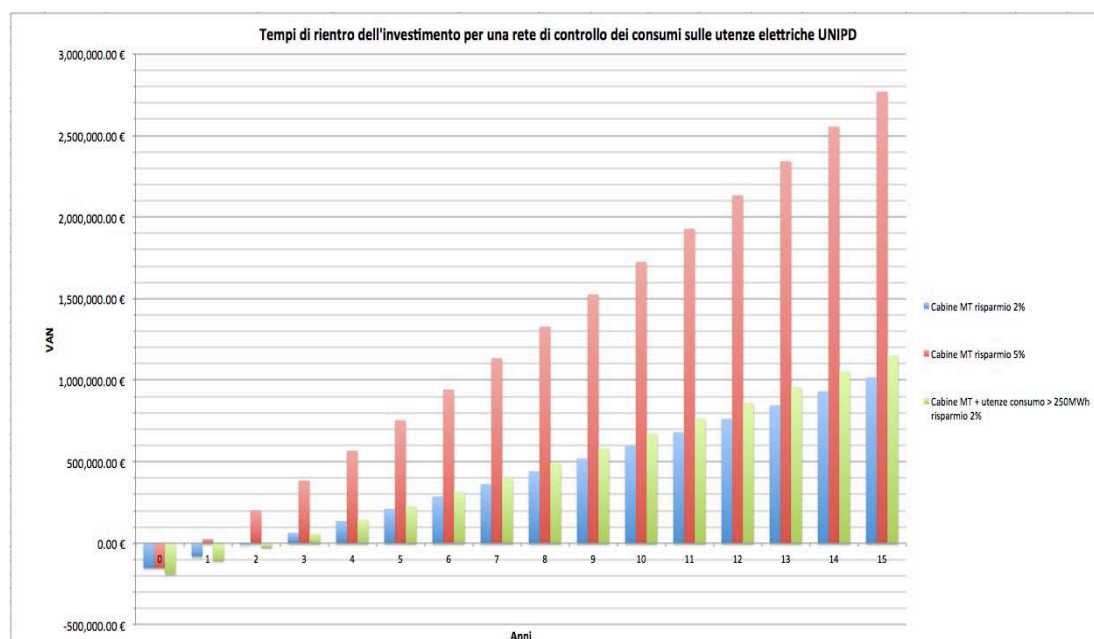
- copertura delle 20 rimanenti cabine MT con reti di monitoraggio e riduzione del consumo del 2%: investimento di 130'000€ per dispositivi e cablaggi e 20'000€ per il software di gestione;
- copertura delle 20 rimanenti cabine MT con reti di monitoraggio e riduzione del consumo del 5%: investimento di 130'000€ per dispositivi e cablaggi e 20'000€ per il software di gestione;
- copertura delle 20 rimanenti cabine MT + 9 edifici con consumo annuo superiore ai 250MWh e riduzione del consumo del 2%: investimento di 166'000€ per dispositivi e cablaggi e 20'000€ per il software di gestione.

I risultati ottenuti sono riassunti dalla Tabella 4.1 e il VAN dell'investimento è visibile in Figura 4.1. Per il calcolo sono stati adottati i tassi di inflazione (0,2%) e interesse (1,5%) target BCE. Il prezzo dell'energia è stato stimato a 0,12€/kWh con una percentuale di aumento annuo del 3%, le ipotesi sono state fatte per ottenere le condizioni più sfavorevoli al rientro dell'investimento.

tipo	investimento	% di copertura sul consumo totale	risparmio ipotizzato	anni rientro
cabine MT	€ 150.000,00	79,2%	2%	3
cabine MT	€ 150.000,00	79,2%	5%	1
cabine MT + edifici consumo > 250MWh	€ 186.000,00	90,8%	2%	3

**Tabella 4.1**  
**Riassunto risultati per l'investimento in una rete scada sulle utenze elettriche.**

Il terzo caso, che implica una spesa leggermente più alta nell'immediato, risulta essere vantaggioso nel lungo periodo: i risparmi ottenuti in questa situazione superano quelli derivanti dal solo controllo delle cabine MT già dal 5° anno di installazione.



**Figura 4.1**  
Tempi di rientro dell'investimento per una rete di controllo dei consumi sulle utenze elettriche UNIPD.

Investimenti di questo tipo per una struttura come l'Università di Padova comportano una spesa dal valore molto ridotto rispetto alla bolletta energetica e questo comporta che i tempi di rientro siano davvero brevi, nell'ordine di tre anni, anche con riduzione dei consumi ipotizzata molto bassa. I consumi sono stati ricavati dai flussi di fatturazione stimati dall'azienda fornitrice per il 2014 il cui riassunto è visibile in Tabella 4.2.

utenze	numero	Consumo annuo stimato [kWh]	percentuale su totale
MT	21	28.858.278,95	79,20%
BT	93	7.580.083,05	20,80%
consumo superiore 250 MWh	26	32.761.242,26	89,91%
consumo superiore 250 MWh + MT	30	33.087.695,64	90,80%
totale	114	36.438.362,00	100,00%

**Tabella 4.2**  
Riassunto flussi di fatturazione stimati per il 2014.

Le verifiche di questo genere sono molto complicate da fare a priori in quanto si viene a conoscenza dell'effettivo risparmio conseguibile solo successivamente all'installazione della suddetta rete. E' altresì certo che il futuro del risparmio energetico sia la piena comprensione del risparmio ottenibile e che il miglioramento delle condizioni di vita all'interno delle strutture sia, per quanto non monetizzabile, già di per se una motivazione importante per giustificarne la messa in opera. Un'altra possibile spinta viene dal fatto che, secondo le prospettive mondiali, il costo dell'energia sarà destinato a salire nei prossimi anni, per quanto si sia leggermente assestato nel corrente periodo, e il

rispetto dei vincoli imposti dall'Europa al 2020 per l'efficiamento energetico implicano l'adozione di atteggiamenti di risparmio che non possono essere attuati se non conoscendo a pieno l'andamento energetico delle strutture.





## Conclusioni

All'Università di Padova, a differenza di quella di Bologna, manca un piano di organizzazione globale che tenga conto delle diverse caratteristiche delle strutture per attuare un controllo integrato dei consumi e un telecontrollo degli impianti di riscaldamento, condizionamento e UTA. L'utilizzo di software di gestione differenti per la rete di telecontrollo delle caldaie e per quella di monitoraggio elettrico porta ad una impossibilità di visualizzazione globale dei consumi delle utenze e non permette di concertare i diversi impianti al fine di ottenere il minor spreco di energia e le migliori condizioni ambientali per gli utenti.

D'altra parte il vantaggio dell'Università di Padova potrebbe consistere nello sfruttare l'esperienza dell'Università di Bologna e implementare delle reti che permettano una maggiore versatilità e facilità di programmazione e gestione, basate sul protocollo di comunicazione *LonWorks*.

Una delle strade più facilmente percorribili per l'implementazione di tali sistemi, consiste nel completare le strutture già esistenti con le apparecchiature necessarie ad attuare una indicizzazione completa dei consumi ed implementare, nelle strutture che ne sono sprovviste, delle sottoreti basate sul protocollo *LonWorks*. Questo approccio permetterebbe di evitare costi inutili per rimpiazzare dispositivi già esistenti con altri del tutto simili e ottenere una visione globale che consenta di programmare interventi di efficientamento e verificarne l'effettiva utilità.

La differenza principale tra le due piattaforme software degli atenei sta nel fatto che quello padovano consente solamente la visualizzazione e la storicizzazione dei consumi, mentre quello bolognese consente, oltre alla supervisione dell'impianto, la possibilità di programmare azioni e creare dei modelli che modifichino effettivamente lo stato del sistema. L'adozione di un software più prestante e comunque personalizzabile come On.Energy permetterebbe di mantenere in attività i sistemi di controllo preesistenti, raggruppandoli però all'interno del medesimo ambiente operativo e quindi, pur con le limitazioni dovute alle differenti architetture, controllare i consumi, verificare e intervenire tempestivamente nelle situazioni di guasto, verificare la correttezza delle fatturazioni, poter aprire contenziosi con il fornitore in caso di mancata erogazione del servizio, nonché programmare i diversi impianti HVAC affinché attuino lo stand-by in modo automatico e garantiscano il miglior livello di comfort possibile all'interno delle strutture.

Pensando ad un immediato futuro, la creazione di modelli personalizzabili permetterebbe inoltre l'integrazione delle regolazioni termiche, attualmente gestite da ditte esterne, con il sistema di prenotazione aule che disporrebbe l'attivazione degli impianti di riscaldamento e condizionamento solo quando effettivamente necessari, creando in questo modo l'utilizzo più appropriato delle risorse disponibili e la realizzazione di risparmi consistenti.



## **Ringraziamenti**

Vorrei ringraziare innanzitutto Anghelina, per avermi dato sempre un motivo per sorridere.

Ringrazio i miei genitori per questa enorme possibilità ed avermi sempre aiutato anche nei periodi più difficili.

Ringrazio tutti i miei amici per avermi infuso la grinta necessaria a non arrendermi mai.

Rivolgo uno speciale ringraziamento a Roberto Battistini, Andrea Manzo e Vittorio Mattioli dell'UNIBO per il grande aiuto datomi e l'infinita disponibilità.

Ringrazio Francesco Baido, Federico Beccaro e Marco Filippi dell'UNIPD per la loro competenza e pazienza.

Infine volevo ringraziare il professor Arturo Lorenzoni, mio relatore, per aver risposto sempre velocemente alle mail, il sogno di ogni studente.

In questi lunghi anni che mi hanno portato alla conclusione del mio periodo di studi sono state molte le persone che mi hanno accompagnato lungo il percorso. Alcune lo hanno fatto per molto tempo, altre invece hanno proseguito per strade diverse. Sarebbe impossibile riportarle tutte ma desidero ringraziarle, perché ognuna di loro mi ha lasciato un momento, un ricordo, un motivo che mi permetterà di portarle sempre nel mio bagaglio di vita.

Grazie.

## **Bibliografia e sitografia**

<http://www.onit.it/industria/energia-e-iot>

<http://www.lonmark.org/>

<http://www.idea-automazioni.com/building-automation/lonworks.html>

<http://www.sistemibus.com/portal/articoli/lo-standard-lonworks/>

<http://www.metrologialeale.unioncamere.it/content.php?p=9.2>

[http://www.accredia.it/UploadDocs/2491\\_Tecniche\\_di\\_misura\\_dell\\_energia\\_e\\_dei\\_flussi\\_energetici\\_\\_\\_M\\_Dell\\_Isola.pdf](http://www.accredia.it/UploadDocs/2491_Tecniche_di_misura_dell_energia_e_dei_flussi_energetici___M_Dell_Isola.pdf)

[http://www.schneider-electric.it/medias/solutions/downloads/white-paper\\_active.pdf](http://www.schneider-electric.it/medias/solutions/downloads/white-paper_active.pdf)

[http://www.electrical-installation.org/enwiki/Energy\\_efficiency\\_and\\_electricity](http://www.electrical-installation.org/enwiki/Energy_efficiency_and_electricity)

<http://www.unibo.it/it/ateneo/chi-siamo/piano-della-sostenibilita-ambientale-2013-2016>

<http://www.vincenzov.net/tutorial/rs485/rs485-2.htm>

<http://www.cle.sm/rete485.pdf>

<http://www.echelon.com/training/lct06-lonworks-integration>

<http://www.lonmark.it/tecnologia-lon/>

<http://www.simplymodbus.ca/FAQ.htm#Modbus>

[http://www-ictserv.poliba.it/piscitelli/doc/appunti\\_so/intro\\_reti\\_controllo.pdf](http://www-ictserv.poliba.it/piscitelli/doc/appunti_so/intro_reti_controllo.pdf)

[http://www.energindustria.it/energindustria/riservatoenergy.nsf/951c7b69273a0ba3c1256d05002d4b84/c83fb768beee3435c125780f0054bff2/\\$FILE/ATT6MQ14.pdf/manuale\\_ACTARIS.pdf](http://www.energindustria.it/energindustria/riservatoenergy.nsf/951c7b69273a0ba3c1256d05002d4b84/c83fb768beee3435c125780f0054bff2/$FILE/ATT6MQ14.pdf/manuale_ACTARIS.pdf)

<http://pinserver.dei.unipd.it/>

<http://www.schneider-electric.it>

<http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/1678-redes-de-clps-parte-2>

<https://www.terna.it>

<https://www.ecb.europa.eu/ecb/html/index.it.html>

<https://www.wikipedia.org>

<http://www.assoelettrica.it/blog/?p=14451>

<http://www.imeitaly.com/uk/index.asp>

<http://www.fire-italia.org>

<http://www.automatedbuildings.com/news/mar02/art/adept/adept.htm>

