

UNIVERSITÀ DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA ELETTRONICA

**Monitoraggio dei consumi di
energia elettrica dei poli didattici
DEI e DIE mediante architettura
Pin-Energy**

Laureando:
Tommaso CALDOGNETTO

Relatore:
Prof. Paolo TENTI

Correlatore:
Ph.D. Marco STELLINI

Anno Accademico 2009/2010

Sommario

Questo lavoro di tesi ha permesso la realizzazione di un sistema per il monitoraggio della rete elettrica dei Dipartimenti di Ingegneria dell'Informazione e di Ingegneria Elettrica dell'Università di Padova. L'obiettivo è quello di fornire uno strumento per l'analisi dei flussi di energia all'interno dei Dipartimenti e porre così le basi per ulteriori ricerche nell'ambito delle smart-grid.

Nella parte introduttiva viene descritto il progetto all'interno del panorama internazionale. Successivamente si presenta l'architettura adottata per il monitoraggio dei consumi di energia, i dispositivi che la compongono e le loro funzioni. Viene inoltre presentata nel dettaglio l'installazione dell'infrastruttura all'interno dei Dipartimenti. Infine si riportano i primi risultati delle operazioni di monitoraggio eseguite mostrando alcune analisi dei dati raccolti.

Il sistema realizzato costituisce una prima interfaccia tra l'infrastruttura elettrica e quella informatica. L'interazione tra i sistemi così ottenuta permette di rilevare in modo diretto lo stato elettrico dei punti monitorati della rete, inoltre rappresenta il punto di partenza verso la gestione automatica delle risorse di una futura micro-smart-grid.

Indice

Sommario	iii
1 Introduzione	1
2 Architettura del sistema di monitoraggio	7
2.1 Nemo D4-L+ e TA	9
2.1.1 Funzionalità Nemo D4-L+	9
2.1.2 Trasformatori amperometrici	12
2.2 Modulo iPin-Energy	17
2.3 Pincushion	18
3 Caso in studio	23
3.1 Caratteristiche dell'installazione	23
3.2 Primi risultati delle misure	30
3.2.1 Monitoraggio del consumo di potenza	30
4 Soluzioni alternative	35
4.1 Google PowerMeter	35
4.2 Microsoft Hohm beta	37
4.3 AlertMe	38
4.4 Intel HEM Dashboard	39
5 Conclusioni e sviluppi futuri	41
A Istruzioni di amministrazione di Pincushion	43
A.1 Gestione degli utenti	43
A.1.1 Creazione di gruppi di utenti	43
A.1.2 Creazione nuovo utente	44
A.2 Gestione delle istanze e sottoistanze	45
A.2.1 Aggiungere modulo iPin-Energy	45
A.2.2 Configurazione modulo iPin-Energy	45
A.3 Amministrazione degli oggetti web	48
A.4 Amministrazione delle viste	49
A.4.1 Creazione di viste	49
A.4.2 Impostazione delle viste	51
A.5 Creazione di grafici	52
B iPinClient	55

Capitolo 1

Introduzione

“Today power generation currently accounts for 40% of the US’ carbon footprint, so we, as a world, must find a way to do more with less, and we have to do it quickly.”

John McDonald, GE—2008 IEEE
Energy 2030 Conference

LA RETE DI DISTRIBUZIONE e il sistema di gestione dell’energia elettrica è in una fase di profonda evoluzione.

Durante gli ultimi decenni i progressi tecnologici hanno permesso una espansione economicamente conveniente della rete di distribuzione, comunque mantenendo la struttura originale concepita agli inizi del ventesimo secolo. La semplice espansione della rete è stata sufficiente, nel recente passato, per servire il crescente numero di utenze e dar impulso all’utilizzo dell’elettricità per un gran numero di applicazioni. Come conseguenza tali eventi hanno contribuito a formare un sistema di gestione complesso che non risponde più in modo efficiente alle necessità attuali in termini di affidabilità e flessibilità, ma hanno inoltre dimostrato il ruolo fondamentale che riveste l’energia elettrica nello sviluppo della società moderna[17]. Risulta quindi necessario un aggiornamento del sistema elettrico, soprattutto in termini architettureali.

Un programma di ammodernamento del sistema, oltre ad essere scaturito da motivi tecnologici e motivi legati allo sviluppo economico, è sollecitato da questioni ambientali. Infatti la produzione di energia elettrica è uno dei processi tra i più gravosi dal punto di vista dell’emissione di CO₂, come evidenzia il diagramma in figura 1.1a, e i recenti obiettivi per la riduzione dell’emissione dei gas serra [7], [6] impongono una migliore gestione dell’energia.

Per definire meglio le necessità a cui dovrà far fronte una opportuna ristrutturazione si deve considerare un ultimo punto; cioè l’impiego nel prossimo futuro dell’energia elettrica in luogo dell’energia proveniente da combustibili fossili in settori come il trasporto ed il riscaldamento, proprio per ridurre le emissioni inquinanti. Tale fenomeno, chiamato elettrificazione (dall’inglese *electrification*), porterà inevitabilmente ad un uso intensivo delle strutture per la gestione dell’elettricità, le quali dovranno anche essere affiancate da nuovi servizi e funzionalità al fine di massimizzare l’utilità dell’eterogeneo insieme di risorse.

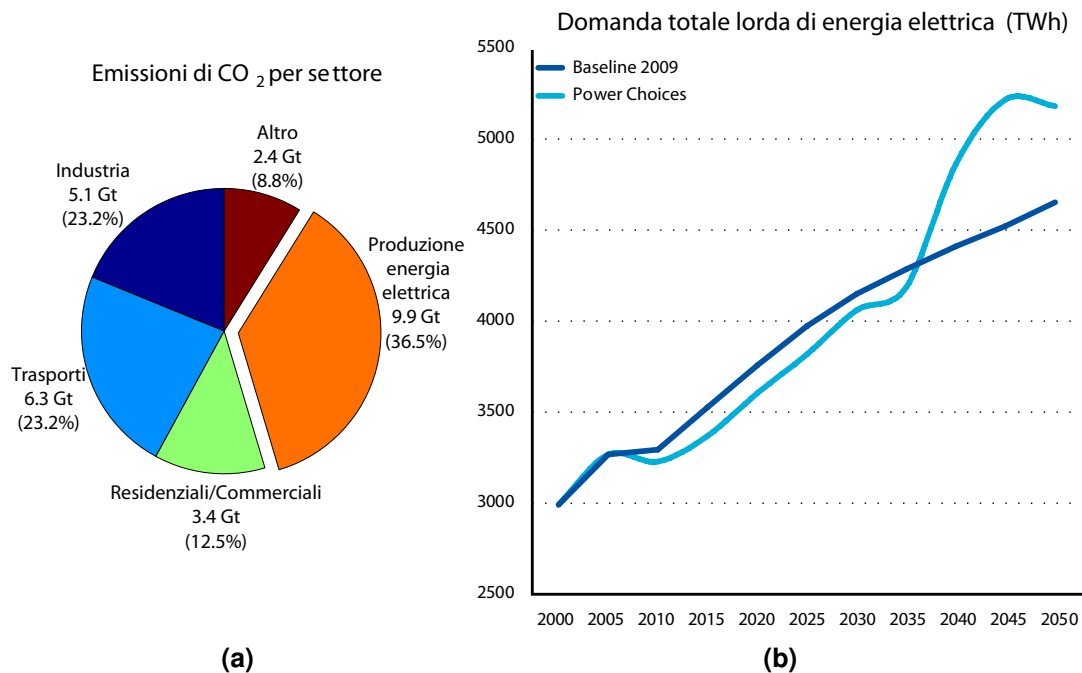


Figura 1.1: (a) Quote emissioni CO₂ distinte per settore, dati 2005; (b) Prospettive relative ai consumi elettrici: *Baseline 2009* indica l'andamento stimato senza i provvedimenti 'Power Choices'; *Power Choices* indica l'andamento conseguente alle politiche sull'energia e l'ambiente concordate dai paesi membri/affiliati Euroelectric. Fonte: Euroelectric [6]

In merito riportiamo la figura 1.1b, che illustra l'andamento previsto dei consumi di energia elettrica.¹ Nella figura sono indicate due curve: 'Baseline 2009' e 'Power Choices'. La prima, scura, mostra il trend dei consumi stimati se fossero mantenute le politiche energetiche/ambientali stabilite a livello europeo fino alla primavera del 2009, la seconda, più chiara, descrive l'andamento dei consumi di energia conseguenti ai nuovi regolamenti. Gli investimenti previsti nell'applicazione delle recenti tecnologie per l'aumento dell'efficienza giustifica l'iniziale riduzione dei consumi rispetto all'andamento Baseline 2009, mentre il successivo rapido aumento dei consumi tracciato da 'Power Choices' sarà causato dall'elettrificazione, soprattutto nell'ambito dei trasporti.

A fronte della situazione appena delineata si è formata una nuova concezione di rete elettrica, più efficiente e flessibile, a cui si fa riferimento con l'espressione *Smart Grid*.

Per quanto riguarda una definizione del termine, si premette che non ne esistono di ufficiali, tanto meno sono oggi disponibili standard internazionali in merito. Tuttavia l'interesse e la diffusione delle conoscenze sull'argomento sono in rapida crescita. L'affermazione trova riscontro nella figura 1.2 che riporta il numero di articoli pubblicati negli anni riguardanti le 'Smart Grid' e reperibili nel noto archivio digitale di pubblicazioni tecnico-scientifiche IEEE *Xplore*.

Ritenendo comunque opportuno riportare una definizione generale, si propone la seguente, tratta dal sito [11], poiché significativa della direzione

¹I dati e le convenzioni sono tratti dal rapporto Euroelectric sulle politiche energetiche studiate per la riduzione dell'impatto dei gas serra [6].

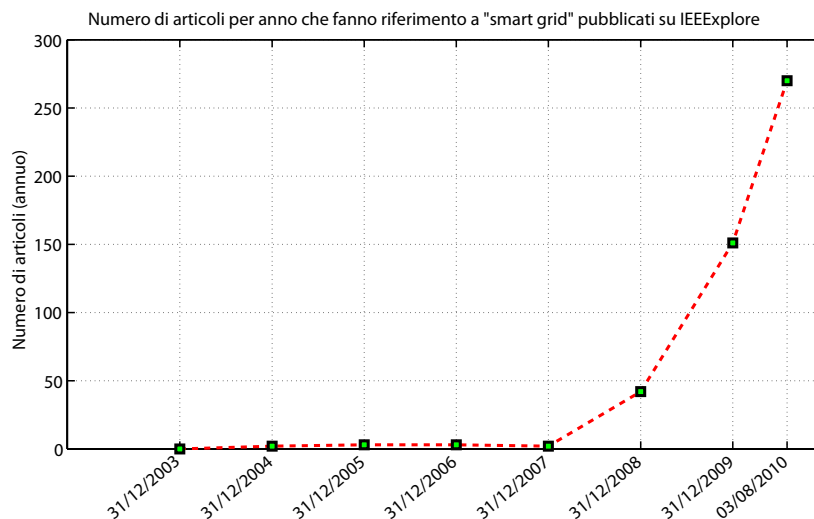


Figura 1.2: Numero di articoli distinti per anno di pubblicazione trovati nella biblioteca digitale IEEE *Xplore* che rispondono alla chiave di ricerca ‘Smart Grid’

dell’innovazione:

Con ‘Smart Grid’ si intende il sistema elettrico di prossima generazione caratterizzato da un più consistente impiego della tecnologia delle telecomunicazioni e dell’informazione nella generazione, distribuzione e consumo dell’energia elettrica.²

In particolare, il miglioramento dell’attuale sistema elettrico sarà ottenuto attraverso punti di monitoraggio ed elaborazione distribuiti che renderanno possibile una più precisa conoscenza dello stato della rete e un conseguente controllo degli impianti. Gli obiettivi perseguiti con tali strategie sono:

- rendere il più omogeneo possibile il flusso di energia tra i punti di produzione e quelli di assorbimento per limitare gli stress alla rete dovuti ai picchi di consumo;
- gestire in maniera più efficiente la generazione distribuita, anche in luoghi remoti, dell’energia, in particolare di quella originata da fonti di natura intermittente (e.g., turbine eoliche, pannelli fotovoltaici) che ora causano invece problemi di instabilità;
- aumentare l’affidabilità delle strutture e la qualità dell’energia fornita attraverso il monitoraggio dello stato della rete per limitare disturbi dovuti a voltage sag e undervoltage e prevenire gli outage;
- fornire servizi aggiuntivi ai consumatori affinché abbiano la possibilità di scegliere il fornitore dell’energia e siano agevolati all’assumere comportamenti conformi al risparmio e all’evitare eccessivi carichi della rete.

²Originale: ‘The Smart Grid has come to describe a next-generation electrical power system that is typified by the increased use of communications and information technology in the generation, delivery and consumption of electrical energy.’

Si nota come questi obiettivi, così come sono stati in prevalenza posti e divulgati anche dalle istituzioni[17], necessitano di agire sull'impianto elettrico di uno Stato o di un insieme di Stati. Eppure l'evoluzione può iniziare anche dal basso. Quanto discusso può infatti essere scalato ad ambienti più contenuti per formare *micro smart grid* o addirittura *nano smart grid*, le quali andrebbero poi a costituire dei blocchi elementari per il livello superiore [3].

In questo senso si muove il progetto verso le smart grid del gruppo di elettronica di potenza del Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova.

Il presente scritto intende documentare il lavoro svolto per iniziare una rete di monitoraggio, e possibile controllo, del sistema elettrico dei Dipartimenti DEI (Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione) e DIE (Dipartimento di Ingegneria Elettrica). Tale rete di monitoraggio risulterà di grande utilità per i successivi passi nel campo delle smart grid, sia per le informazioni che è in grado di fornire sia per l'architettura realizzata, riutilizzabile per futuri sviluppi.

La struttura realizzata si compone di undici punti di monitoraggio, installati in corrispondenza degli snodi più significativi della rete elettrica DEI/DIE. Una interconnessione dedicata dei punti di misura con il sistema informatico dei Dipartimenti consente di interagire con i dispositivi installati per la rilevazione, registrazione e successiva elaborazione dei valori acquisiti.

L'impostazione dell'architettura, denominata *Pin-Energy*, e gli elementi che la compongono sono stati forniti dall'azienda veronese Hyphen-Italia, mentre oggetto del lavoro di tesi che il presente scritto intende riassumere è lo studio di funzionalità, dislocazione, installazione e collaudo dei componenti dell'architettura attuata.

Il sistema che si è ottenuto risulta uno strumento finalizzato allo scopo di:

- comporre delle statistiche sull'impiego dell'energia elettrica all'interno del Dipartimento ed aiutare nell'individuare le componenti di consumo che rappresentano degli sprechi,
- contribuire all'attività di ricerca nelle smart grid potendo il sistema eseguire sia funzioni di misura e monitoraggio che, eventualmente, funzioni di decisione e di controllo.

Gli argomenti appena presentati sono sviluppati nel resto dello scritto secondo la seguente organizzazione:

Capitolo 2. Questo capitolo presenta l'architettura del sistema e ne descrive i componenti. Dopo una visione del sistema in generale si andranno a considerare in dettaglio i componenti di rilevazione, misura, comunicazione e di amministrazione dei dati. La sezione 2.3 è dedicata alla presentazione dell'applicazione software Pincushion; questa è accompagnata dall'appendice A, che si figura come una guida all'uso di Pincushion per quanto consta la maggior parte delle operazioni eseguite al fine del monitoraggio. Quest'ultima può risultare utile dato che non è reso disponibile dall'azienda produttrice un ausilio di siffatta forma.

Capitolo 3. Il capitolo considera l'installazione nello specifico. Vengono illustrate le posizioni dei punti di misura, le loro caratteristiche ed il significato dei dati raccolti. Successivamente vengono espone le dimostrazioni delle

funzionalità del sistema in esame e si propongono le prime analisi dei risultati ottenuti.

Capitolo 4. Il capitolo è dedicato a fornire una visione su altri metodi di monitoraggio dei consumi sempre nell'ambito delle smart grid. Sono brevemente discusse e confrontate soluzioni rappresentative proposte da aziende quali Google, Microsoft, AlertMe e Intel.

Capitolo 5. Quest'ultimo capitolo riassume l'attività svolta complessivamente, evidenzia i risultati ottenuti ed esplicita i punti ancora incompleti del lavoro iniziato. Inoltre sono riportate delle referenze ad esempi di realizzo dei dati per attuare politiche di risparmio energetico e sono discusse alcune potenzialità da esplorare del sistema, per possibili espansioni future.

Capitolo 2

Architettura del sistema di monitoraggio

La figura 2.1 illustra l'architettura del sistema implementato per il monitoraggio della rete elettrica dei poli didattici DEI e DIE.

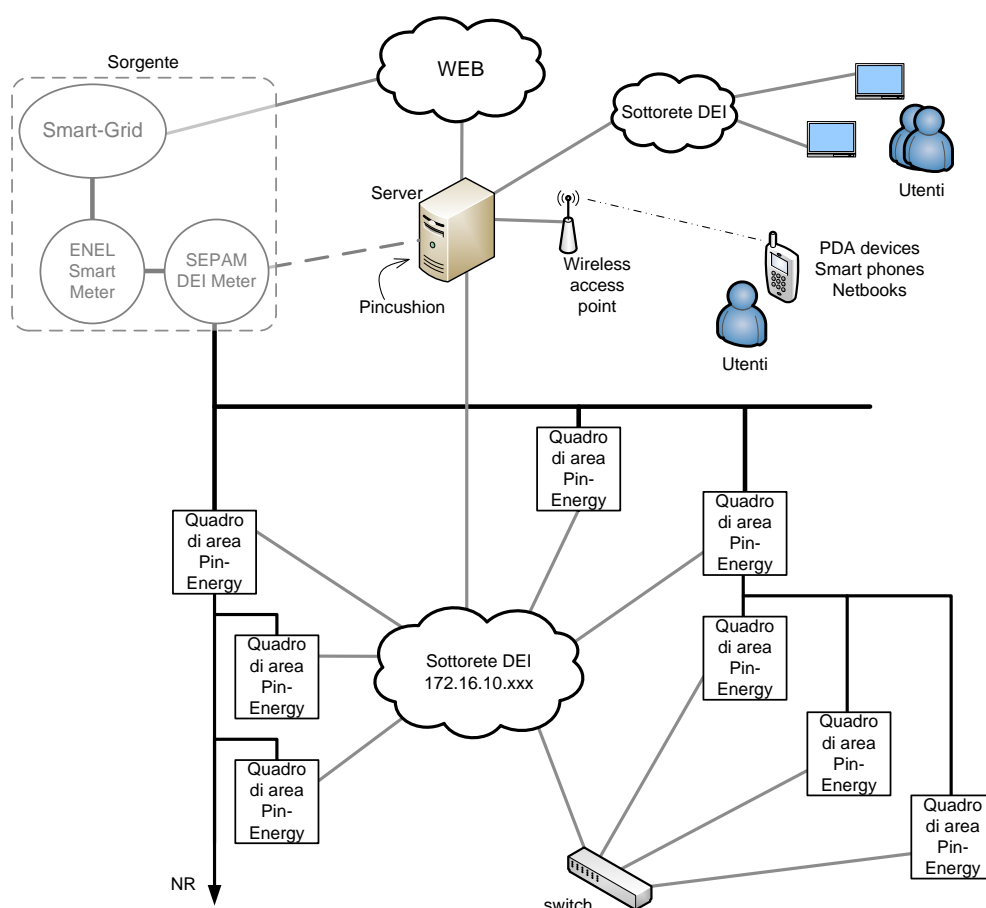


Figura 2.1: Schema della architettura complessiva del sistema di monitoraggio

L'immagine rappresenta schematicamente sia la rete di distribuzione elettrica nei Dipartimenti, sia l'infrastruttura informatica di comunicazione. Sono evidenziate con un tratto nero spesso le linee per la distribuzione dell'energia elettrica, mentre in grigio sono riportati i vari collegamenti per la comunicazione tra i di-

spositivi. I principali blocchi che compongono la parte elettrica sono il punto di allacciamento alla rete esterna, indicato con ‘Sorgente’, e i ‘quadri elettrici di area Pin-Energy’. La parte inerente alla struttura informatica comprende il server dipartimentale, la sottorete DEI 172.16.10.xxx e l’interfaccia web degli utenti con la relativa rete.

La combinazione di tali blocchi, così come verrà descritta, permette di monitorare le caratteristiche dei flussi di energia elettrica che interessano le principali aree dei poli DEI e DIE.

Si considerano ora più in dettaglio il ruolo e le relazioni reciproche dei vari componenti.

Con il blocco *Sorgente* si comprendono, in una visione per qualche aspetto avveniristica, le strutture che realizzano l’interfaccia tra l’ente fornitore dell’energia e la rete elettrica dipartimentale di distribuzione. All’interno sono indicati i seguenti tre stadi

Smart-grid – è la rete di distribuzione esterna al Dipartimento, costituita dalle infrastrutture dedicate alla distribuzione e gestione dell’energia elettrica a vari livelli (e.g., provinciale, regionale, nazionale);

ENEL Smart Meter – è il dispositivo di proprietà dell’ente fornitore del servizio, che in questo caso è ENEL S.p.A., avente la funzione di misurare l’energia scambiata al punto di allacciamento. Dispone di tecnologia *Automatic Meter Reading, AMR*, per comunicare con l’ente fornitore; in questo modo hanno luogo le funzioni di diagnostica, lettura remota dei consumi, regolazione delle tariffe, ecc.;

SEPAM DEI Meter – è un dispositivo di misura, protezione, controllo e comando prodotto da Schneider Electric Italia. Lo strumento è disposto nei quadri centrali di amministrazione del sistema elettrico DEI/DIE ed è attualmente nelle fasi finali di installazione. Lo strumento rende possibile l’analisi dei flussi di energia elettrica distribuiti alle varie dorsali del campus. Lo schema di figura 2.1 indica anche un collegamento tratteggiato di SEPAM ai dispositivi informatici, questo verrà realizzato ad installazione compiuta e permetterà al dispositivo di contribuire al monitoraggio con un notevole apporto informativo.

È bene precisare che i primi due punti dei sopra elencati non presentano attualmente tutte le caratteristiche che permetterebbero di definirli ‘smart’, tuttavia risulta comoda tale anticipazione per consentirci di presentare alcuni interessanti concetti.¹

Il successivo componente dell’architettura, i *quadri elettrici di area Pin-Energy*, sono i quadri elettrici a cui fanno capo i gruppi principali di utenze. Alcuni esempi possono essere il quadro elettrico di alimentazione dell’impianto di condizionamento dell’aria, il quadro dell’area uffici o i quadri che alimentano carichi particolarmente significativi, come dei laboratori. Per quanto riguarda la qualifica ‘Pin-Energy’ qui si conviene di attribuirla a tutti i quadri che sono stati provvisti dell’apparato di misura e comunicazione delle grandezze elettriche che lo interessano.

¹La messa in opera dei concetti a cui si fa riferimento è, tra l’altro, un obiettivo per alcuni paesi Europei e addirittura una realtà per molti altri. Si veda a proposito [23].

I quadri elettrici Pin-Energy sono tra di loro interconnessi a livello informatico dalla sottorete DEI 172.16.10.xxx. Tale sottorete permette la comunicazione tra i dispositivi elettronici preposti alla misura delle grandezze elettriche e l'infrastruttura informatica, per la raccolta dei dati. Tramite questa rete è anche possibile l'interrogazione da remoto e l'invio di comandi o istruzioni di configurazione ai moduli sistemati all'interno dei quadri.

Al più alto livello dell'architettura troviamo i *server*. Su queste macchine è installata l'applicazione per la comunicazione con i moduli dei quadri Pin-Energy e la gestione di dati raccolti. I servizi forniti sono di tipo Web Server, cioè consentono di consultare le pagine web dell'applicazione da parte degli utenti autorizzati. Gli utenti a tal fine possono collegarsi al servizio impiegando la rete interna al Dipartimento.²

Quanto finora descritto rappresentano, a livello di sistema, gli elementi dell'architettura. Per i dettagli implementativi si individuano le seguenti operazioni: misura, acquisizione, comunicazione, memorizzazione, elaborazione e presentazione. Tali operazioni sono svolte da più moduli; in particolare sono realizzate dai seguenti componenti:

- modulo Nemo+TA – svolge le operazioni di misura;
- modulo iPin-Energy – svolge le funzioni di acquisizione e comunicazione;
- applicazione Pincushion – svolge le operazioni di memorizzazione, elaborazione e presentazione.

Questi tre componenti sono quelli che compiono le funzionalità del sistema e ne definiscono le caratteristiche; data l'importanza, si dedica il presente capitolo alla loro descrizione.

2.1 Nemo D4-L+ e TA

In questa sezione si descrivono il modulo Nemo D4-L+ e i trasformatori amperometrici. L'insieme di questi elementi, che sono collegati all'impianto da monitorare, costituiscono l'hardware di misura del sistema; per tale motivo, la conoscenza delle loro caratteristiche è fondamentale per determinare la qualità delle misure eseguite poiché fissano la accuratezza, la precisione e la banda del sistema.

2.1.1 Funzionalità Nemo D4-L+

Lo strumento preposto alla misura delle grandezze elettriche è il dispositivo Nemo D4-L+, illustrato in figura 2.2. Questo è uno strumento multifunzione per reti a bassa e media tensione che consente la misura delle principali grandezze elettriche relative ad un sistema monofase o trifase (a tre o quattro fili). In particolare è in grado di effettuare le seguenti misure:

1. tensioni di linea

²Nell'eventualità, il collegamento all'applicazione è realizzabile anche dall'esterno, attraverso appositi protocolli in grado di stabilire un tunnel tra l'utente e il particolare server DEI. In ogni caso, l'attuale link da aprire è <http://energy.dei.unipd.it/pincushion>.

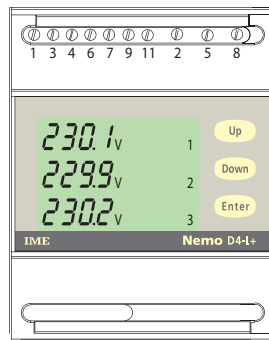


Figura 2.2: Interfaccia utente del modulo Nemo D4-L+. Rielaborazione dell'immagine proposta dal foglio tecnico [12]

2. correnti di linea
3. tensioni concatenate
4. potenze attive di linea
5. potenze reattive di linea
6. potenza attiva, reattiva o apparente del sistema
7. corrente di neutro, frequenza, fattore di potenza³
8. correnti medie di linea
9. picco delle correnti medie di linea
10. potenza media e picco di potenza media
11. tempo di funzionamento
12. energia attiva nel tempo di funzionamento
13. energia reattiva nel tempo di funzionamento
14. energia attiva parziale

Le misure sopra elencate sono realizzate attraverso dei collegamenti voltmetrici e dei collegamenti amperometrici, illustrati in figura 2.3.

I *collegamenti voltmetrici* servono per stimare il valore delle tensioni relative alle tre fasi rispetto al neutro e vengono indicati con i simboli L1, L2, L3 e N. I *collegamenti amperometrici* sono effettuati uno per ciascuna fase e servono per la stima delle relative correnti. Le misure delle tensioni e delle correnti efficaci vengono effettuate ogni 1.2 s.

³Il calcolo del fattore di potenza può essere rappresentato dalla relazione

$$PF = \frac{\|\mathbf{P}\|_1}{\|\mathbf{V}_{\text{rms}}\|_2 \|\mathbf{I}_{\text{rms}}\|_2},$$

dove \mathbf{P} è il vettore delle potenze attive, \mathbf{V}_{rms} è il vettore dei valori efficaci delle tensioni stellate e \mathbf{I}_{rms} è il vettore dei valori efficaci delle correnti di fase.

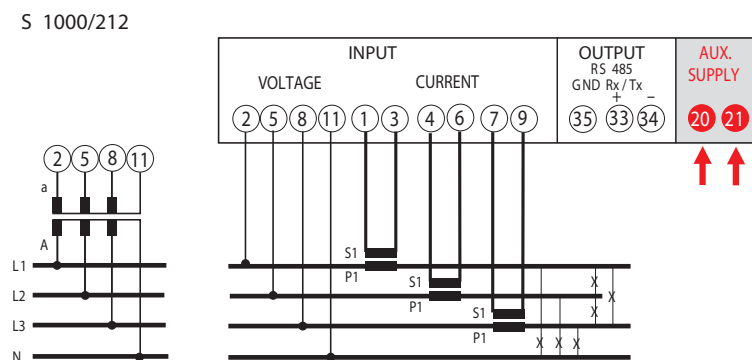


Figura 2.3: Schema di inserzione del modulo Nemo in una rete trifase con neutro. Tratto dal manuale [13]

I valori acquisiti dal modulo Nemo vengono visualizzati dal display dello strumento stesso. Lo strumento dispone anche di una interfaccia RS485 i cui parametri di comunicazione sono impostabili dall'utente.⁴ Questa interfaccia verrà utilizzata per le comunicazioni dati verso il modulo iPin-Energy.

Relativamente alla precisione e ai range di valori consentiti, i manuali tecnici forniscono alcune indicazioni. In particolare, il buon funzionamento del dispositivo è garantito per valori di tensione compresi nel range [80, 450] V, valori di corrente compresi in [1, 5] A e valori di frequenza compresi in [47, 63] Hz. In queste condizioni di lavoro le misure di tensione e corrente sono garantite con una precisione $\pm 0.5\%$ mentre quelle di frequenza con precisione $\pm 0.2\%$.

Per completezza, in merito alla accuratezza delle misure, va precisato che lo strumento presenta un 'autoconsumo di tensione' e un 'autoconsumo di corrente'. Essi indicano l'assorbimento di potenza apparente da parte del modulo Nemo quando è collegato ai circuiti di misura in situazioni di corrente e tensione nominali. Notevole importanza assume il valore dell'autoconsumo di corrente, che deve essere il minore possibile, idealmente zero, per non introdurre impedenze in serie al circuito e quindi influenzare i valori dei dati acquisiti. I fogli tecnici [12] dichiarano un valore massimo di autoconsumo di corrente pari a $S = 0.5$ VA per fase, ciò significa che quando attraverso i due morsetti amperometrici scorre la corrente nominale, pari a $I_{in,n} = 5$ A, il modulo Nemo assorbe dal morsetto di misura al più 0.5 VA. Equivalentemente, si può anche dire che il modulo massimo della impedenza Z_{MAX} di ingresso dello strumento ha valore inferiore a

$$|Z_{MAX}| = \frac{S}{I_{in,n}^2} = 0.05 \Omega.$$

In 'Note per l'installazione' 2.1.2 si riprenderà questo punto e si proporrà un esempio di come le grandezze che determinano l'autoconsumo possano modificare la qualità delle misure di corrente.

In linea di principio i dispositivi multifunzione del tipo considerato possono operare anche senza l'ausilio di altri componenti, tuttavia nelle installazioni vengono combinati con *trasformatori amperometrici*, in sigla, TA, per realizzare la rilevazione della corrente.

⁴A proposito si veda anche la tabella 3.1 nella sezione 3.1.

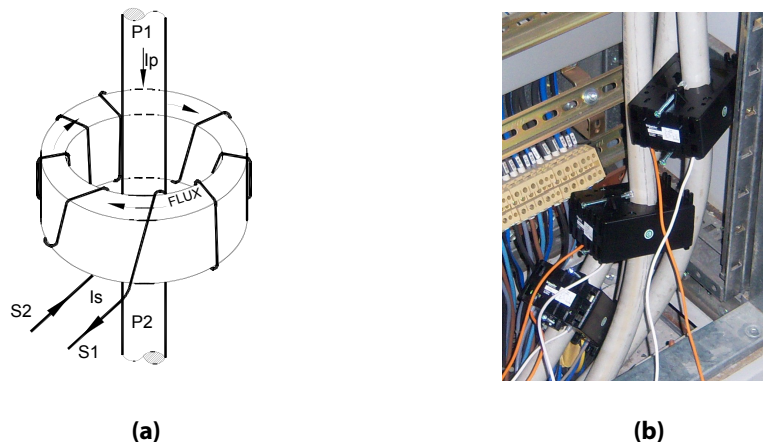


Figura 2.4: Trasformatori amperometrici: la figura (a) è una schematizzazione della struttura interna dei trasformatori impiegati; la figura (b) ritrae la disposizione dei componenti in una installazione

2.1.2 Trasformatori amperometrici

I *trasformatori amperometrici* vengono impiegati per svolgere le seguenti funzioni:

- riportare al secondario, secondo un coefficiente di proporzionalità, la corrente dell'avvolgimento primario normalizzata in un range di valori standard (1 A o 5 A),
- realizzare l'isolamento degli strumenti di misura dalle gravi correnti circolanti nei circuiti che alimentano i carichi.

La figura 2.4 mostra una rappresentazione schematica di un trasformatore amperometrico ed un esempio di installazione sui cavi che alimentano un carico trifase (è individuabile un TA per ciascuna fase). Dalle figure può risultare poco evidente l'avvolgimento primario, infatti questo è costituito dalla sola spira formata dal circuito chiuso 'generatore-cavi di collegamento-carico'.

I trasformatori amperometrici che consideriamo sono trasformatori il cui funzionamento è di tipo elettromagnetico, quindi nelle modellizzazioni valgono quasi tutte le notazioni e relazioni conosciute per i più diffusi trasformatori di tensione. Ora ci si sofferma, più che sulla descrizione dei principi del funzionamento, sulle caratteristiche che interessano le misure e l'installazione di tali dispositivi.

I paragrafi successivi presenteranno prima un modello comune per la descrizione del comportamento dei TA, poi una serie di parametri caratteristici utilizzati sia dagli standard che dai produttori per definire le prestazioni dei componenti; in fine si riporteranno delle note riguardanti l'installazione.

Modello del TA. Sull'affermazione fatta precedentemente, che le correnti primaria e secondaria stanno in rapporto di proporzionalità, si basano le misure eseguite dagli strumenti multifunzione standard che impiegano i trasformatori amperometrici per sentire la corrente. Tuttavia, in certi casi, può essere utile una descrizione più precisa del comportamento di tali dispositivi, che tenga anche conto degli errori dovuti alla non idealità del componente.

Un modello conveniente della trasformazione che avviene in un TA è il seguente

$$\bar{I}_p = C_t (1 + a) e^{-i\varphi_e} \bar{I}_s, \quad (2.1)$$

dove

\bar{I}_p e \bar{I}_s sono i fasori delle correnti primaria e secondaria rispettivamente;

C_t è il rapporto nominale di trasformazione, cioè $C_t := I_{p,n}/I_{s,n}$;

a è il coefficiente di correzione del valore nominale del fattore di trasformazione C_t ;

φ_e è il ritardo della corrente primaria rispetto alla corrente secondaria.

Per come sono stati definiti, i coefficienti a e φ_e possono essere ricavati da misure sulle correnti primaria e secondaria dalle relazioni

$$a := \frac{I_p}{I_s} \frac{1}{C_t} - 1, \quad \text{e} \quad \varphi_e = \arg(\bar{I}_s) - \arg(\bar{I}_p). \quad (2.2)$$

Si intuisce che se si volesse procedere con tale metodo di caratterizzazione, le misure dovrebbero essere eseguite in condizioni ben definite poiché diverse variabili possono influenzare il comportamento di un TA, come, ad esempio, temperatura, umidità, qualità dei collegamenti, età del componente, degrado dell'isolamento dovuto a stress subiti durante situazioni anomale della rete, ecc.

Caratterizzazione di TA secondo gli standard. Se dal punto di vista della modellizzazione risulta comodo quanto descritto nel paragrafo precedente, dal punto di vista pratico non è necessario caratterizzare precisamente i parametri di un TA, quali a e φ_e : il lavoro sarebbe impegnativo e porterebbe a risultati difficilmente utilizzabili. Esiste invece una serie di standard, come IEC 60044-1 e IEEE C57.13, emanati per regolare la costruzione dei trasformatori di misura e definirne le modalità di caratterizzazione. In questo modo, noto lo standard a cui l'implementazione del componente fa riferimento,⁵ le prestazioni generali vengono univocamente definite.

Lo standard a cui fanno riferimento i trasformatori amperometrici da noi impiegati è IEC 60044-1 e può essere consultato nel caso i fogli tecnici dei dispositivi non siano sufficientemente esaurienti.

Tali standard impiegano diversi parametri per la definizione delle prestazioni dei trasformatori amperometrici; poiché sono particolarmente importanti anche per la scelta del componente note le specifiche dell'applicazione, di seguito se ne riportano i principali:

- correnti nominale primaria e secondaria – sono i range di valori delle correnti primarie e secondarie sui quali si basano le misure delle prestazioni del trasformatore; è importante scegliere dei trasformatori tali che i valori di corrente che devono rilevare siano compresi nei valori nominali per assicurarsi che la misura venga effettuata in uno dei punti di lavoro per i quali il trasformatore è stato progettato;

⁵Ogni componente in commercio fa riferimento ad uno standard. Di norma è dichiarato dal costruttore nei fogli tecnici del componente.

- classe di precisione – è una misura approssimativa dell'accuratezza del componente; in particolare è definita come

$$CL = \frac{|C_t I_s - I_{p,n}|}{I_{p,n}} \cdot 100, \quad (2.3)$$

dove

I_s è la corrente misurata al secondario;

$I_{p,n}$ è la corrente primaria nominale.

Dunque la classe di precisione esprime l'errore percentuale, rispetto alla corrente nominale del primario, introdotto dal trasformatore nella stima della corrente primaria nominale; CL è funzione della potenza richiesta al secondario del trasformatore e viene usualmente espressa dal produttore attraverso delle tabelle [14]—queste tabelle evidenziano che all'aumentare della potenza erogata diminuisce la classe di precisione del componente;

- fattore di conversione C_t – è il rapporto di trasformazione definito come

$$C_t = I_{p,n}/I_{s,n}; \quad (2.4)$$

il parametro può essere ricavato dall'ipotesi che ogni trasformatore ideale è tale che la somma algebrica delle potenze entranti, o uscenti, è pari a zero, cioè

$$V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s.$$

Nel caso specifico, un TA reale è progettato affinché le correnti primaria e secondaria stiano nella relazione

$$I_p \cdot N_p = I_s \cdot N_s,$$

dove N_p e N_s sono rispettivamente il numero di spire dell'avvolgimento primario e secondario, ed il rapporto N_s/N_p sia il più possibile determinato e costante entro il range di funzionamento nominale.⁶ Nel caso dei trasformatori qui impiegati (si veda figura 2.4) $N_p = 1$, quindi $C_t = N_s$ e

$$I_p = C_t \cdot I_s, \quad \text{o addirittura} \quad i_p = C_t \cdot i_s, \quad (2.5)$$

dove con i_s e i_p si sono considerati i valori istantanei delle correnti. Si osserva che le caratteristiche di stabilità e determinismo del valore C_t influenzano la classe di precisione del componente;

- potenza nominale al secondario – è la potenza apparente erogata dal trasformatore, alla corrente secondaria nominale, in riferimento alla quale viene indicata l'accuratezza dello strumento, per un determinato fattore di potenza; è espressa in volt-ampere e, data la corrente nominale in uscita, determina il limite superiore dell'impedenza di carico per non degradare la classe di accuratezza (si evidenzia che l'impedenza di carico tiene conto anche di quella intrinseca all'avvolgimento secondario, che dovrà essere sommata a quella delle connessioni e dello strumento di misura);

⁶In effetti, nel caso dei trasformatori reali il rapporto di conversione non è sempre uguale al rapporto spire in quanto questo può essere modificato a fronte delle non idealità, che sono da compensare. Dunque, un semplice conteggio delle spire del secondario potrebbe portare a stime falsate del coefficiente di trasformazione.

- errore composito – viene definito come

$$\epsilon_c = \frac{100}{I_p} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (C_t \cdot i_s(t) - i_p(t))^2 dt}, \quad (2.6)$$

dove

T è il periodo del segnale misurato;

C_t è il fattore di trasformazione;

i_p , i_s sono i valori istantanei delle correnti al primario e al secondario rispettivamente;

I_p è il valore efficace della corrente primaria;

il parametro di errore ϵ_c rappresenta, in percentuale rispetto al valore efficace della corrente primaria, il valore efficace dell'errore nella stima della corrente che si commette nell'adottare il modello delle espressioni (2.5). ϵ_c viene impiegato per stimare gli errori dovuti alla presenza di componenti armoniche nella corrente i_s non presenti in i_p , introdotte da un possibile comportamento non lineare del componente, oppure per definire altri parametri, come il fattore di sicurezza;

- fattore di sicurezza – indicato con FS, indica il numero di volte che la corrente primaria deve essere maggiore della corrente primaria nominale affinché la corrispondente corrente all'avvolgimento secondario determini un errore composito ϵ_c maggiore o uguale del 10% rispetto alla situazione nominale; in altre parole, si sta considerando una corrente primaria che causa la saturazione del nucleo del trasformatore facendone diminuire la permeabilità e quindi aumentando il fattore di conversione C_t —è un modo passivo per limitare la corrente secondaria in condizioni di funzionamento anomale, proteggendo così il circuito di misura dalle sovra-correnti.

Note per l'installazione. Nel posizionare i trasformatori amperometrici nel circuito è importante rispettare i versi di percorrenza delle correnti al fine di misurare correttamente il fattore di potenza e di conseguenza le potenze attiva e reattiva e calcolare correttamente i consumi per unità di tempo.

I fogli tecnici e le custodie stesse dei dispositivi riportano le informazioni necessarie per l'installazione. In figura 2.5 è illustrato un esempio di corretto collegamento di un trasformatore, si nota la corrispondenza tra le marcature sulla custodia del dispositivo e le indicazioni dello schema.

Oltre al posizionamento del dispositivo, è fondamentale fare attenzione anche al carico applicato all'avvolgimento secondario del trasformatore: i fili di collegamento tra TA e strumento di misura devono essere di lunghezza minima e di sezione adeguata per mantenere l'impedenza entro i limiti imposti dal parametro 'potenza nominale al secondario'.

Esemplare degli effetti negativi del carico sull'accuratezza delle misure sono alcuni risultati sperimentali ottenuti in laboratorio, mostrati in tabella 2.1. L'esperimento consisteva nel misurare mediante un multimetro Agilent U1241A la corrente al secondario di alcuni TA per correnti al primario imposte. Come

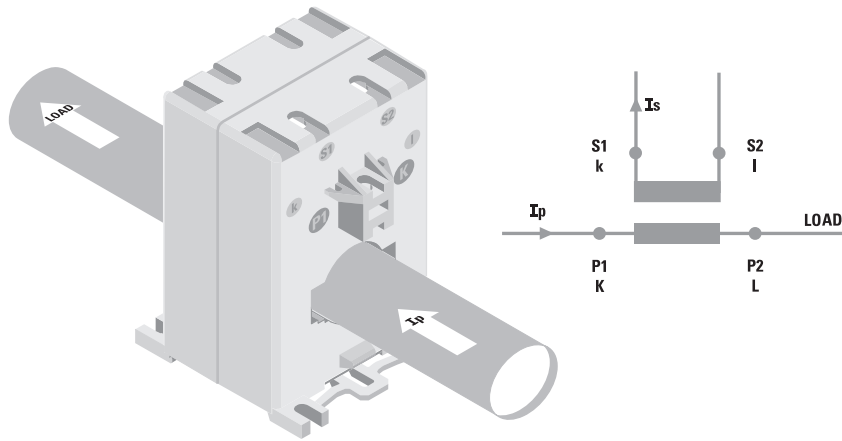


Figura 2.5: Versi dei collegamenti dei TA. Immagine tratta dal manuale [14]

Tabella 2.1: Valori delle correnti al secondario I_s , in mA, in risposta alle fissate correnti al primario I_p per alcuni modelli di TA

I_p	IME		HOBUT	
	IME TAI233 80/5	287-3131 40/5	287-3169 80/5	287-3175 120/5
$\simeq 0.27$ A	9,8	11,3	7,7	7,3
2.19 A	69,3	129,1	83,5	68,5
4.02 A	130,0	247,1	159,3	130,8

si può notare dalla lettura della tabella, i valori misurati al secondario dei TA portano a stime della corrente primaria che si discostano significativamente dai valori effettivi. Questo è dovuto all'impedenza di ingresso del multimetro che è sufficientemente alta per modificare il comportamento dei trasformatori, sebbene sia dichiarata dal costruttore inferiore a $0.5\ \Omega$. Analizziamo ora un caso—considerando il foglio tecnico [14] del trasformatore IME TAID50B800 impiegato, la potenza nominale erogata deve essere inferiore a 4 VA per mantenere una misura, per esempio, di classe 3; ciò implica un carico con impedenza Z tale che

$$Z \leq \frac{P_n}{I_{sn}^2},$$

cioè

$$Z \leq \frac{4\ \text{VA}}{(5\ \text{A})^2} = 0.16\ \Omega,$$

inferiore alla resistenza di ingresso del multimetro. (Nei calcoli sono stati utilizzati i dati forniti dai fogli tecnici.)

La forte deviazione dal comportamento nominale non si è invece verificata quando il multimetro è stato sostituito da un modulo Nemo D4-L+, poiché tali dispositivi hanno resistenza di ingresso molto bassa (inferiore a $0.02\ \Omega$) e sono appositamente progettati allo scopo.

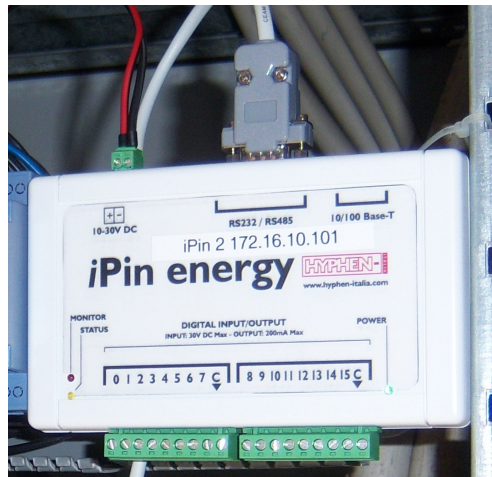


Figura 2.6: Foto modulo iPin-Energy

2.2 Modulo iPin-Energy

Il modulo iPin-Energy realizza l'interfaccia tra l'hardware di misura e l'applicazione software. La sua funzione principale nell'architettura in esame è quella di raccogliere via RS485 i valori acquisiti dallo strumento di misura Nemo e quindi inviarli, attraverso rete di tipo ethernet, al server che ospita l'applicazione Pincushion.

Il modulo si presenta come in figura 2.6 e dispone di

- un ingresso per alimentazione a $10 \div 30$ V DC protetto da inversione di polarità;
- 16 canali digitali optoisolati configurabili come ingressi o come uscite in grado di accettare in ingresso segnali fino a 30 V e di fornire correnti fino a 200 mA;
- porta seriale RS485 per la comunicazione con lo strumento multifunzione;⁷
- connettore di rete ethernet RJ45, 10/100 base T per la connessione alla rete Pin-Energy.

Come detto precedentemente, la principale funzione svolta dal modulo è quella di interfacciare lo strumento Nemo ai sistemi informatici; tuttavia l'hardware che costituisce l'elettronica dei moduli iPin è in grado di eseguire autonomamente anche altre operazioni, come la gestione di linee digitali e analogiche. In particolare, attraverso Pincushion e l'applicazione iPinClient,⁸ si può ottenere

- il controllo delle linee digitali configurate come uscite;
- la lettura dei valori logici presenti sulle linee digitali configurate come ingressi;

⁷A dispetto delle potenzialità del protocollo RS485, pienamente supportate anche da Nemo D4-L+, i moduli iPin-Energy possono gestire un solo strumento di misura.

⁸Ad iPinClient è dedicata l'appendice B; si trascureranno in ogni caso i dettagli relativi alle impostazioni dei canali analogici poiché non sono stati impiegati nella nostra realizzazione.

- il campionamento dei segnali applicati alle linee analogiche.

Le potenzialità di queste risorse hardware e della possibilità di controllarle da remoto con le applicazioni software sono evidenti; sarebbe infatti possibile *agire* sul campo al verificarsi di determinati eventi *acquisiti* dal modulo iPin-Energy e successivamente *individuati* per mezzo di Pincushion, realizzando così delle funzionalità di supervisione e controllo.

2.3 Pincushion

Pincushion è un sistema software web-based destinato al building-management. Esso dispone di un gran numero di funzionalità per il controllo e la supervisione di luoghi di lavoro e di processi industriali; trova infatti applicazione nella gestione degli accessi di persone a locali, nella video-sorveglianza, nella segnalazione di eventi eccezionali e nell'avvio di processi industriali.

Ogni particolare interazione dell'applicazione con gli strumenti 'a contatto' con il mondo fisico avviene per mezzo di dispositivi di interfaccia. Nel caso in esame il dispositivo di interfaccia è il modulo iPin-Energy, che interagisce da una parte con lo strumento multifunzione, dall'altra con la rete a cui è connesso il server che ospita l'applicazione; ma esistono diversi altri casi. Ad esempio potremmo operare con moduli per il brandeggio di telecamere o per il controllo degli stati di apparecchiature. Appare chiaro che il sistema è articolato, per questo motivo ci si limiterà alla descrizione di Pincushion dal punto di vista del sistema Pin-Energy.

Dal punto di vista dell'applicazione al monitoraggio dei consumi elettrici, Pincushion è il software impiegato per la configurazione dei punti di acquisizione e per la gestione dei dati provenienti dai vari punti di misura. In particolare Pincushion registra i dati raccolti dai moduli iPin-Energy in un apposito data base e permette all'utente di strutturare e consultare tali dati.

L'accesso web a Pincushion avviene aprendo il link specifico ed effettuando il login.⁹ A questo punto l'utente può interagire con il sistema attraverso l'interfaccia grafica.

Nella 'Home Page' sono disponibili varie sezioni e comandi. La figura 2.7 riporta un esempio delle sezioni utilizzate nell'applicazione per organizzarne i contenuti; si individuano:

- la sezione *Viste*: in questa sezione sono riportate tutte le viste create dall'utente, eventualmente riunite per gruppo;¹⁰
- la sezione *Strumenti*: permette di accedere agli strumenti per il controllo degli accessi, il brandeggio delle telecamere, la visualizzazione delle riprese delle telecamere, la gestione del calendario o della rubrica di Pincushion (quest'ultima pensata per raccogliere i dati relativi al personale di una azienda o luoghi soggetti a visite da persone esterne). Infine può essere

⁹Per comodità si riporta anche qui il link attuale: <http://energy.dei.unipd.it/pincushion>.

¹⁰Per ciò che riguarda le viste si rimanda al paragrafo dedicato 2.3 e alla sottosezione in appendice A.4.

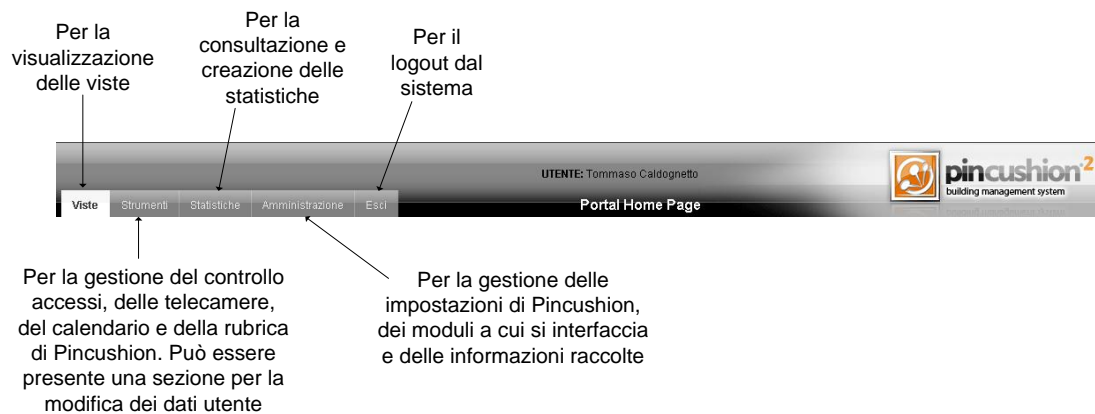


Figura 2.7: Menù disponibili in una tipica pagina Pincushion

presente il collegamento ad una pagina dove è possibile modificare alcuni degli attributi del proprio account come la password, il nome (anagrafico) e l'email, ma solo se queste operazioni sono consentite al particolare tipo di utente;

- la sezione *Statistiche*: permette di consultare le statistiche e i dati contenuti nei file di log; queste riguardano non solo il sistema monitorato ma anche i dati relativi agli eventi che interessano esclusivamente l'applicazione (ad esempio, il numero di accessi al sito, le operazioni effettuate dai singoli utenti, l'intensità di utilizzo delle risorse di Pincushion, ecc.);
- la sezione *Amministrazione*: è la sezione dedicata all'amministrazione di Pincushion; si accede a questa sezione quando si vogliono aggiornare le risorse (ad esempio, per aggiungere nuovi moduli iPin, per creare nuove viste, per caricare nuovi oggetti web o aggiungere nuovi utenti) oppure modificare le impostazioni del sistema (ad esempio quelle relative alla lingua dell'interfaccia o ai modi di visualizzazione e aggiornamento delle pagine);
- la sezione *Esci*: per fare il logout dal sito, si ritorna alla pagina di autenticazione; è utile al fine della esatta scrittura dei file di log e per un più comodo successivo accesso alla pagina: un utente che non effettua il logout, chiudendo semplicemente la pagina del browser, al successivo login una finestra di pop-up lo avvertirà che 'l'utente risulta già attivo nel sistema' e gli consentirà di scegliere se accedere con un altro utente effettuando nuovamente l'autenticazione oppure se forzare la chiusura delle sessioni associate a quell'utente.

Definito a grandi linee il software Pincushion, si descrivono ora alcuni concetti dell'applicazione di fondamentale importanza per le operazioni di monitoraggio eseguite. In particolare saranno dedicati alcuni paragrafi alla presentazione degli 'utenti', degli 'oggetti web', delle 'viste' e delle 'statistiche'. Si suggerisce l'appendice A per una descrizione dei dettagli delle impostazioni di Pincushion dal punto di vista operativo.

Utenti. Per accedere al portale Pincushion è necessario accreditarsi come *utente* digitando i propri username e password. La gestione degli utenti che possono

accedere a Pincushion è una operazione eseguibile solo da utenti con privilegi di tipo *amministrativo* e avviene nella sezione **Amministrazione** > **Utenti**, dove è possibile creare nuovi utenti oppure visualizzare o modificare le caratteristiche di quelli già esistenti.

Pincushion offre poi la possibilità di riunire gli utenti con caratteristiche simili in gruppi. I gruppi si distinguono in base ai privilegi di cui dispongono gli utenti che ne fanno parte; con l'assegnazione di un utente ad un gruppo se ne definiscono i privilegi, ciò consente di limitare le azioni e le responsabilità di chi ha accesso all'applicazione.

Modelli di istanza, istanze e sottoistanze. Le funzionalità di Pincushion sono distinte in *modelli di istanza*. Nel nostro caso il modello di istanza che si dovrà considerare è quello definito per la comunicazione con i moduli iPin, chiamato 'IPINMODULES'.

Per il modello di istanza iPin l'utente può creare diverse *istanze*, alle quali poi faranno riferimento i dispositivi che consentono all'utente di Pincushion di interagire con il campo. Questi dispositivi vanno collegati dall'utente alla particolare istanza e sono rappresentati a livello di applicazione dalle *sottoistanze*. La figura 2.8 illustra la gerarchia con cui Pincushion organizza questi oggetti.

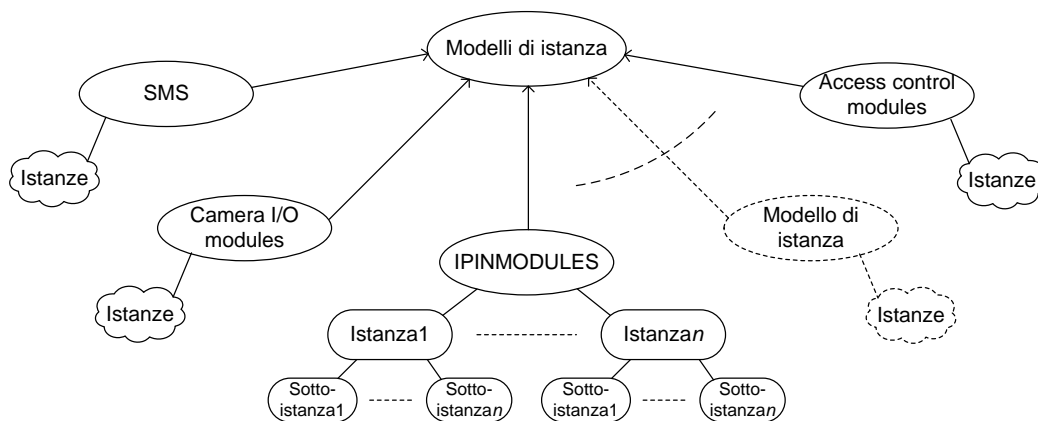
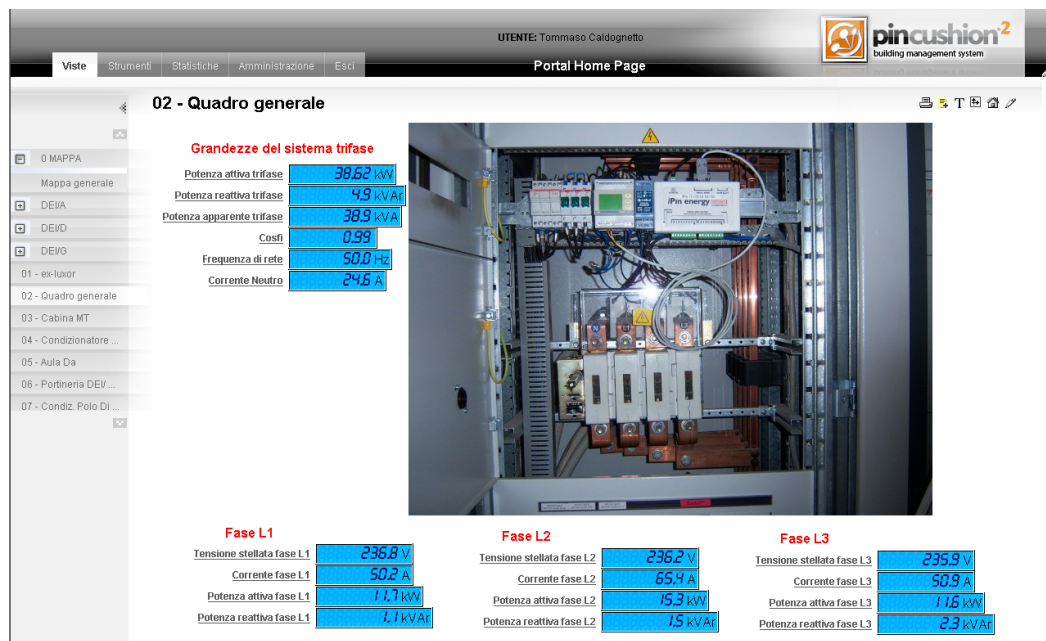


Figura 2.8: Illustrazione delle relazioni tra moduli istanza, istanze e sottoistanze; è schematizzata in modo più preciso la diramazione degli IPINMODULES

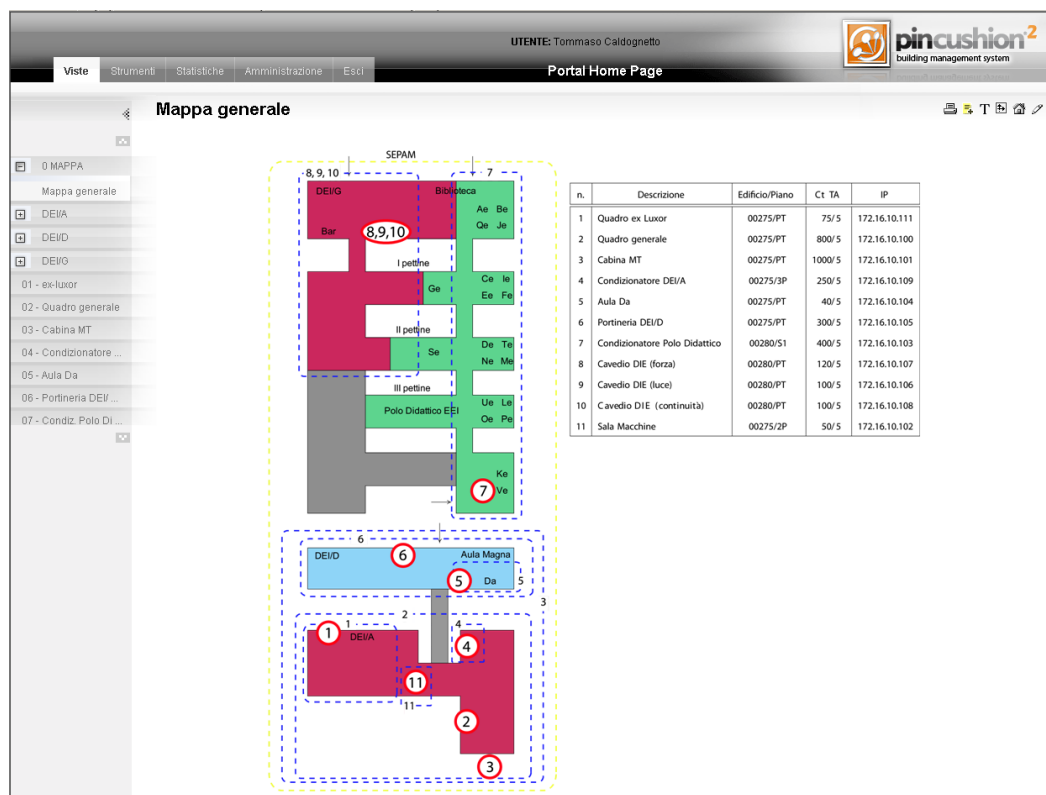
Riportando un semplice esempio, supponiamo il caso del monitoraggio della rete elettrica di una determinata area di un edificio E attraverso un numero n di moduli iPin-Energy. A tal fine si potrebbe creare l'istanza 'Edificio E ' di modello 'IPINMODULES', definendone così le funzionalità 'di misura di parametri elettrici', e a questa istanza aggiungere n sottoistanze iPin-Energy, che fanno riferimento ai moduli installati. Si osserva come ciò consenta di raggruppare per istanze misure correlate e di registrare nel sistema Pincushion i moduli fisici collegati alla rete.

La descrizione di come eseguire tali operazioni è riportata nella sezione in appendice A.2, dove si elencano i passaggi per aggiungere e poi configurare un nuovo modulo iPin-Energy.

Oggetti Web e Viste. Gli *oggetti web* permettono una flessibile personalizzazione delle pagine di Pincushion. Tali tipi di oggetti sono delle immagini,



(a) Esempio di vista che riporta le indicazioni delle misure provenienti dai moduli iPin-Energy



(b) Esempio di vista solamente descrittiva

Figura 2.9: Esempi di viste

registrazioni audio/video o collegamenti web che possono essere impiegati per evocare il senso dei dati visualizzati.

Attraverso la combinazione degli oggetti web e degli strumenti di visualizzazione delle informazioni messi a disposizione dall'interfaccia grafica è possibile creare delle pagine personalizzate di Pincushion, dette *viste*. Tali pagine possono essere rappresentative dello stato del sistema monitorato, ovvero è possibile creare delle pagine descrittive, utilizzabili per fornire delle indicazioni di lettura su altre viste. La figura 2.9 propone due esempi di viste.

Si fa riferimento alla sezione A.4 delle appendici per una descrizione delle procedure per la creazione e impostazione delle viste.

Grafici e report. Una importante caratteristica di Pincushion nell'ambito del monitoraggio dell'energia elettrica è la possibilità di creare dei grafici e dei report. In particolare l'utente può impostare dei grafici specificando l'intervallo di interesse e le grandezze da considerare (e.g., tensioni stellate, potenze attiva/reattiva di fase/monofase, correnti di fase, ecc.), come illustra la figura 2.10. Gli intervalli possono essere ampi a piacere e situati in una qualsiasi posizione significativa nel tempo. I report hanno invece la funzione di riportare i consumi energetici ed i conseguenti costi derivanti dalla fruizione dell'energia elettrica.

Nella sezione A.5 delle appendici si illustrano le procedure specifiche per la gestione di tali tipi di statistiche.

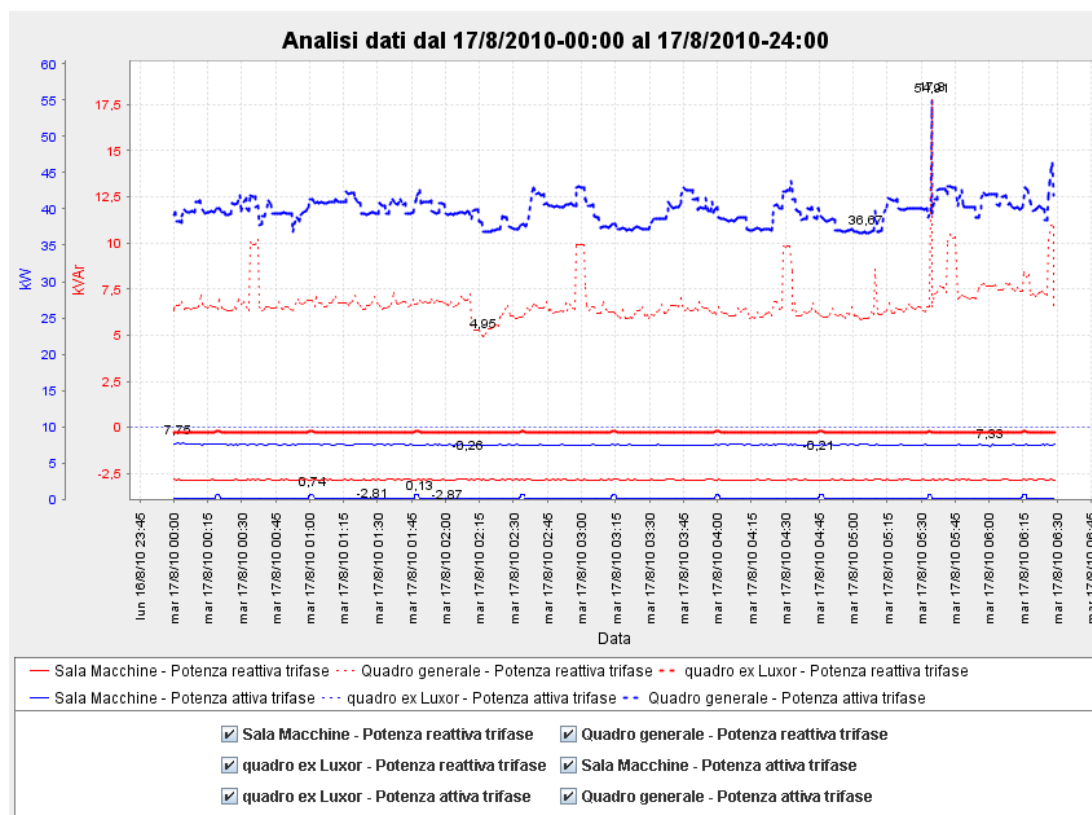


Figura 2.10: Esempio di grafico generato con Pincushion

Capitolo 3

Caso in studio

“Fundamentally we’re applying information technology to the existing electrical infrastructure”

Mark Brownstein
Director of the Energy Program
‘TIME magazine’, 3 Dic. 2009

In questo capitolo è presentata dal punto di vista realizzativo l’architettura Pin-Energy installata nei Dipartimenti DEI (Dipartimento di Ingegneria dell’Informazione) e DIE (Dipartimento di Ingegneria Elettrica) e sono esposti i primi risultati ottenuti dall’attività di monitoraggio.

Nella prima parte sono descritte le caratteristiche dell’installazione, ossia il significato dei punti di misura, l’ubicazione dei quadri elettrici monitorati, le caratteristiche dei componenti installati e le configurazioni delle connessioni tra i dispositivi. Il prospetto che ne risulta riassume quanto realizzato e si propone come ausilio per chi volesse conoscere l’infrastruttura di monitoraggio, specialmente al fine della sua gestione.

Nella seconda parte del capitolo sono riportati, mediante differenti analisi, i dati dei consumi di potenza elettrica rilevati dai punti attivi. Le forme con cui sono riportati i dati (‘power profile’, ‘load signature’ e ‘analisi spettrale’) permettono di evidenziare e commentare le particolarità principali dei segnali di potenza misurati, come, ad esempio, i valori medi, i valori di picco, le dispersioni attorno al valore medio, il fattore di potenza. In merito si precisa che quanto viene discusso sono gli aspetti ritenuti più significativi dei risultati delle misure, infatti il sistema permette lo studio di diverse altre grandezze.

3.1 Caratteristiche dell’installazione

La figura 3.1 rappresenta la mappa degli edifici DEI e DIE e riporta i punti sui quali sono stati installati i dispositivi di misura e comunicazione. Sono delimitate con delle linee tratteggiate e numerate i luoghi sede del consumo mentre i cerchi rossi numerati segnano le locazioni dei quadri elettrici Pin-Energy.

Il significato dei punti di misura considerati è il seguente:

1. *Quadro laboratorio ex Luxor* (locale P.T. DEI/A) – questo punto consente di monitorare il carico rappresentativo di un laboratorio di ricerca;

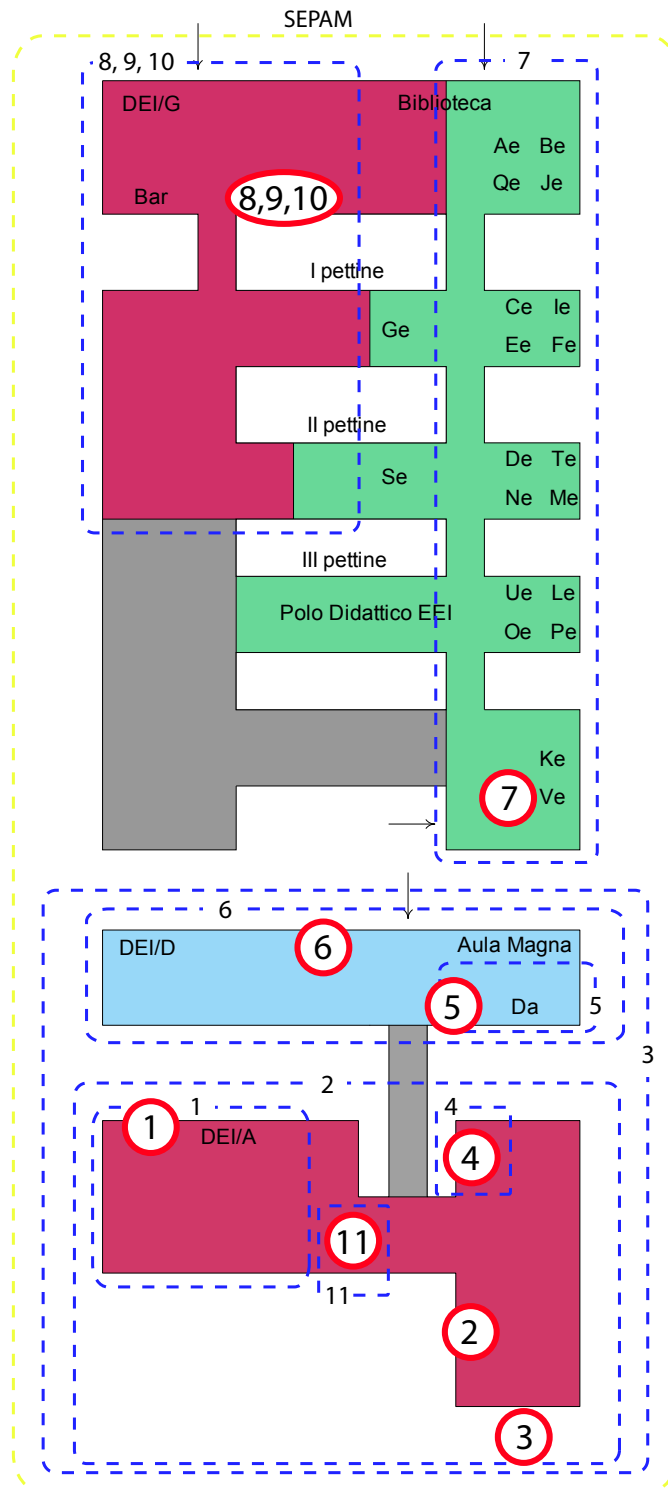


Figura 3.1: Mappa della disposizione all'interno dei Poli Didattici DEI/DIE dei punti di misura dei parametri elettrici. Le linee tratteggiate delimitano le aree dove ha sede il consumo; i numeri sulle linee tratteggiate e nei cerchi rossi stabiliscono la relazione tra aree di consumo e quadri elettrici Pin-Energy, rispettivamente

2. *Quadro generale edificio 00275* (locale P.T. DEI/A) – questo punto consente di monitorare il consumo complessivo del corpo DEI/A, è compresa l'energia per l'illuminazione e il condizionamento dei locali;
3. *Cabina MT* (esterna, adiacente al Laboratorio di Elettronica di Potenza edificio 00275) – questo punto consente di monitorare il consumo complessivo dei corpi DEI/A e DEI/D;
4. *Condizionatore edificio 00275* (locale III piano DEI/A) – questo punto consente di monitorare l'energia necessaria all'alimentazione dell'impianto di condizionamento dei corpi DEI/A e DEI/D;
5. *Aula Da* (locale P.T. DEI/D) – questo punto consente di monitorare l'energia necessaria all'alimentazione di un laboratorio informatico; sono compresi i consumi per l'alimentazione di due unità per il condizionamento dell'aria;
6. *Portineria DEI/D* (locale P.T. DEI/D) – questo punto consente di monitorare i consumi relativi all'area DEI/D. Afferiscono a questo quadro i consumi relativi ai laboratori di ottica, al laboratorio informatico 'Aula Da' e alla portineria;
7. *Condizionatore Polo Didattico edificio 00280* (locale seminterrato DEI/G) – questo punto consente di monitorare l'energia necessaria all'alimentazione dell'impianto di condizionamento dell'intero Polo Didattico DEI/G;
8. *Blindo sbarre DIE (forza) edificio 00280* (cavedio P.T.) – questo punto consente di monitorare i consumi relativi alla forza motrice del polo didattico DIE, cioè i consumi dovuti all'alimentazione dei dispositivi collegati alle prese elettriche;
9. *Blindo sbarre DIE (luce) edificio 00280* (cavedio P.T.) – questo punto consente di monitorare i consumi relativi agli impianti di illuminazione del polo didattico DIE;
10. *Blindo sbarre DIE (continuità) edificio 00280* (cavedio P.T.) – questo punto consente di monitorare i consumi relativi agli apparecchi del polo didattico DIE collegati alle prese alimentate dal gruppo di continuità;
11. *Sala Macchine edificio 00275* (locale II piano DEI/A) – questo punto consente di monitorare l'assorbimento di energia da parte della principale sala macchine informatiche del Dipartimento; sono esclusi i consumi dovuti al condizionamento del locale.

La figura 3.2 schematizza le relazioni tra i quadri. Si osserva che dal punto di allacciamento ENEL si ramificano i diversi collegamenti verso i nodi 3, 7, 8, 9 e 10. Successivamente, al nodo 3, sono connessi i punti 2 e 6, e così via. Alcuni collegamenti sono tuttora non rilevati e vengono indicati con NR. Lo schema descritto è molto importante in quanto consente una iniziale *disaggregazione* dei consumi.

Ciascuno dei quadri elettrici relativi ai punti appena elencati è stato dotato di:

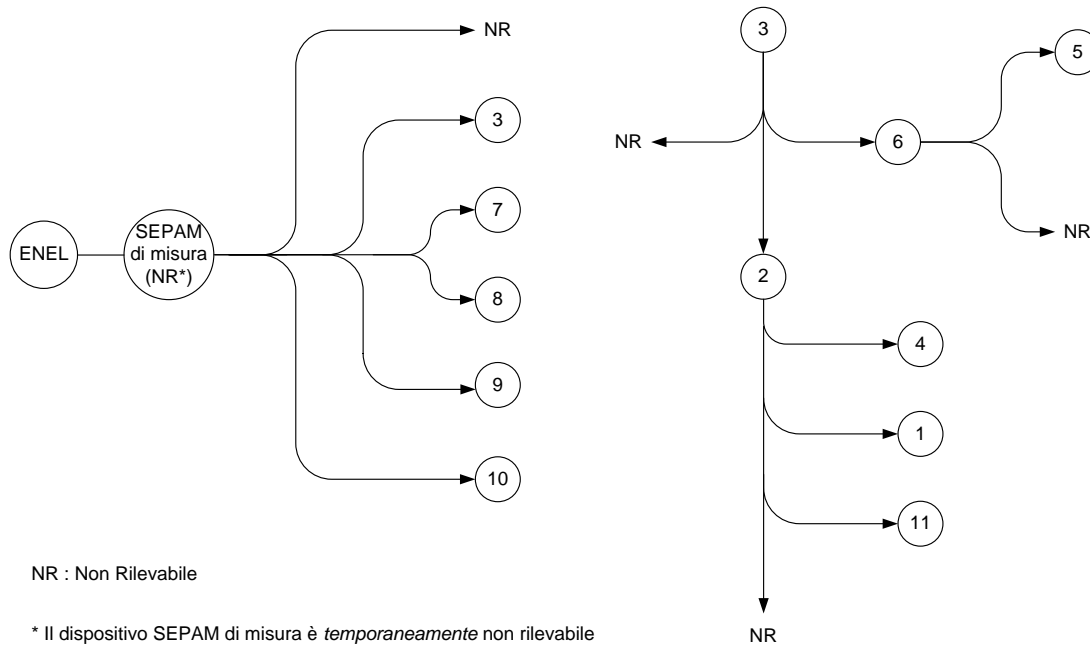


Figura 3.2: Schema delle interdipendenze tra i quadri elettrici monitorati

- un trasformatore amperometrico per ciascuna fase monitorata. I TA hanno corrente nominale scelta sulla base dei flussi di energia che interessano il quadro; il particolare modello può essere ricavato dai rapporti di trasformazione riportati in tabella 3.2, che verrà presentata più avanti, sapendo che:
 - i punti di misura 1, 4, 7 impiegano TA prodotti dall'azienda Schneider con rapporti di trasformazione: 40/5 [21], 75/5 [18], 400/5 [20], 250/5 [19];
 - i punti di misura 6 impiegano TA prodotti dall'azienda IME [14];
 - i punti di misura 5, 8 impiegano TA prodotti dall'azienda Hobut [10].

Nei punti di misura 2 e 3 erano già predisposti trasformatori amperometrici IME;

- un modulo IME Nemo D4-L+ per reti di media/bassa tensione;
- un modulo Hyphen iPin-Energy configurato sulla sottorete 172.16.10.xxx;
- un modulo alimentatore Cabur XCSD15B, necessario per il funzionamento del modulo iPin-Energy;
- un modulo sezionatore per l'isolamento della circuiteria di misura durante eventuali situazioni anomale.

Le modifiche ai quadri ed i collegamenti dei dispositivi installati seguono quanto indicato dallo schema generale di figura 3.3. Per una illustrazione dedicata all'inserimento dello strumento multifunzione si può far riferimento alla figura 2.3.

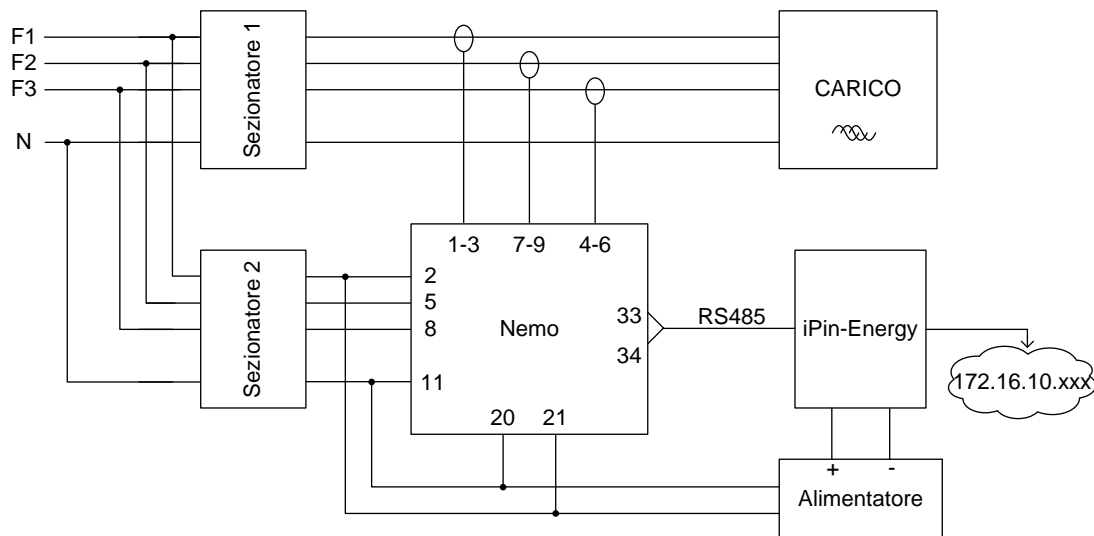


Figura 3.3: Schema di principio del sistema di misura-acquisizione-comunicazione dei quadri Pin-Energy

Si coglie l'occasione per osservare che realizzare quanto mostrato in figura 3.3 equivale a far evolvere il quadro elettrico esistente in un 'quadro di area Pin-Energy', nel senso che il quadro viene configurato in modo opportuno affinché possa essere integrato all'architettura Pin-Energy.

Infine, per quanto riguarda la configurazione dello strumento di misura Nemo, le impostazioni relative ai parametri della comunicazione seriale e al tipo di inserzione sono quelle specificate dalla tabella 3.1.¹ Le indicazioni su come procedere operativamente all'impostazione dello strumento agendo sui pulsanti del pannello frontale si trovano nel manuale di installazione [13].

Tabella 3.1: Impostazione dei parametri della comunicazione seriale e del tipo di inserzione del modulo Nemo D4-L+

Parametro	Valore
Velocità	9600 boud
Address	29
Parità	<i>none</i>
Time-out	10 ms
Fase	3n3e (3-fase a 4 fili)

La tabella 3.2 riassume i dati sulle caratteristiche dei punti di misura appena discussi di rilevante importanza. Nello specifico sono riportati:

- *n.* – il numero identificativo del punto di misura;

¹I valori in tabella 3.1 sono quelli raccomandati dagli ingegneri Hyphen.

- *Descrizione* – è il nome esteso dato al quadro Pin-Energy;
- *Edificio/Piano* – indica il codice dell'edificio ed il numero del piano ove si trova fisicamente il quadro Pin-Energy;
- $C_t TA$ – è il rapporto di trasformazione dei TA installati, ogni punto dispone di tre TA identici, disposti uno per ciascuna fase;
- *IP* – indica l'indirizzo IP del modulo iPin-Energy del quadro;
- *ID presa Eth.* – indica l'identificativo interno delle prese di rete del Dipartimento;²

Nella tabella sono segnati con '-' gli identificativi delle prese ethernet dei punti di misura non ancora collegati alla rete DEI 172.16.10.xxx. Pertanto i punti di misura attualmente operativi sono: 'Quadro ex Luxor', 'Quadro Generale', 'Sala Macchine' e 'Cavedio DIE (forza, luce e continuità)'.

Le analisi nella successiva sezione 3.2 riguardano i punti attivati prima del settembre 2010, cioè 'Quadro ex Luxor', 'Quadro Generale' e 'Sala Macchine'.

²L'identificativo interno delle prese di rete viene impiegato per la loro attivazione verso la rete dei punti di misura; in questo caso la maschera di rete è 172.16.10.xxx.

Tabella 3.2: Riepilogo dei dati di installazione dei punti di misura

n.	Descrizione	Edificio/Piano	Ct TA	IP	ID presa Eth.
1	Quadro ex Luxor	00275/PT	75/5	172.16.10.111	119
2	Quadro generale	00275/PT	800/5	172.16.10.100	039
3	Cabina MT	00275/PT	1000/5	172.16.10.101	-
4	Condizionatore DEI/A	00275/3P	250/5	172.16.10.109	-
5	Aula Da	00275/PT	40/5	172.16.10.104	-
6	Portineria DEI/D	00275/PT	300/5	172.16.10.105	-
7	Condizionatore Polo Didattico	00280/S1	400/5	172.16.10.103	-
8	Cavedio DIE (forza)	00280/PT	120/5	172.16.10.112	21
9	Cavedio DIE (luce)	00280/PT	100/5	172.16.10.106	21
10	Cavedio DIE (continuità)	00280/PT	100/5	172.16.10.108	21
11	Sala Macchine	00275/2P	50/5	172.16.10.102	201

3.2 Primi risultati delle misure

La sottosezione è dedicata alla discussione dei primi risultati delle misure effettuate. Il periodo di osservazione è relativo ad alcuni giorni di agosto 2010. Seppure periodo di scarsa frequentazione del Dipartimento si osserverà che l'attività del sistema elettrico è tutt'altro che trascurabile, anche in orari notturni.

Di seguito si espongono i dati acquisiti dal sistema Pin-Energy in forme differenti: sono rappresentati il 'profilo di potenza' (*power profile*) delle aree monitorate, cioè l'andamento nel tempo della potenza elettrica, le 'firme dei carichi' (*load signature*), cioè la mappa dei punti di lavoro dei quadri sul piano P-Q (potenza attiva-potenza reattiva), lo spettro dei segnali di potenza attiva del quadro generale e del quadro dell'area ex Luxor. L'analisi in frequenza è svolta limitatamente a questi due casi per trovare riscontro e poter meglio stimare alcune delle loro particolari caratteristiche.

3.2.1 Monitoraggio del consumo di potenza

Le figure 3.4 e 3.5 illustrano il profilo di potenza dei tre punti attivi. I grafici sono composti con i valori acquisiti il giorno 18 agosto 2010 dalle ore 00:00 alle ore 12:00. Il periodo di campionamento dei dati è di 1 minuto.

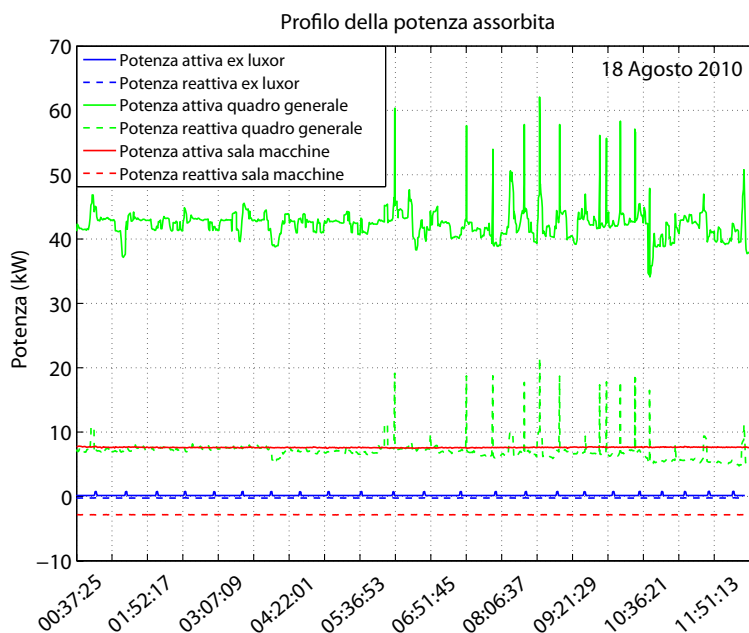


Figura 3.4: Grafico dell'andamento delle potenze attive e reattive che interessano il Quadro Generale, l'area ex Luxor e la Sala Macchine

Dall'andamento della potenza attiva del quadro generale espresso dal grafico della figura 3.4, anche chiamato *power profile*, emerge un consumo costante di circa 40 kW e si osserva anche una modesta potenza reattiva positiva, ovvero un carico lievemente induttivo. Il carico della sala macchine è invece particolarmente costante, con un consumo di potenza avente una componente attiva di circa 7.6 kW e una componente reattiva di circa -2.85 kW, quest'ultima dovuta agli stadi di ingresso degli alimentatori switching.

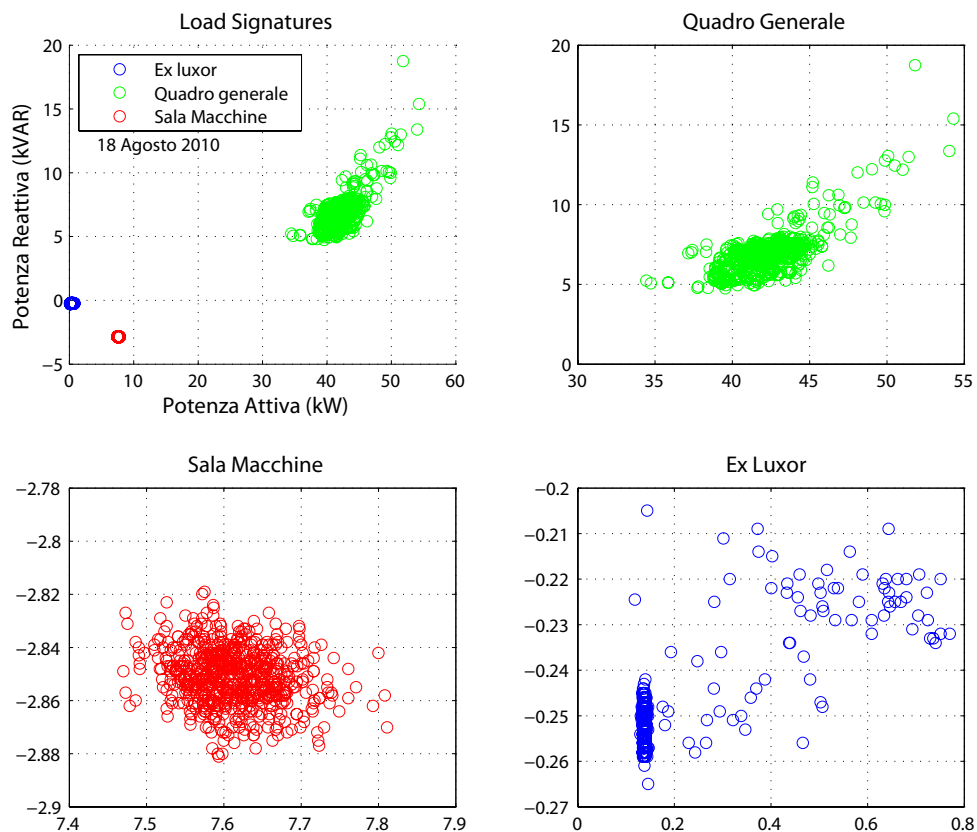


Figura 3.5: Rappresentazione delle coppie ‘potenza attiva - potenza reattiva’ dei tre punti monitorati

La caratterizzazione dei carichi proposta con il grafico in figura 3.5 riporta le coppie ‘potenza attiva, potenza reattiva’ misurate ai punti monitorati. Questo tipo di caratterizzazione, anche chiamata *load signature*, individua i punti di lavoro dei quadri e risulta comoda per stimare i carichi massimi, il carico medio, il fattore di potenza e la dispersione attorno a questo delle altre situazioni operative.

Nello specifico dei dati presentati possiamo osservare un carico massimo del quadro generale di circa 55 kW e un fattore di potenza medio di

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \simeq \frac{42 \text{ kW}}{\sqrt{(42 \text{ kW})^2 + (6 \text{ kVA})^2}} \simeq 0.99,$$

come indicato anche dalle viste relative.³

L’ultima rappresentazione proposta è quella della figura 3.6, dove sono rappresentati i profili di potenza del quadro generale e del quadro ex Luxor assieme alle calcolate serie di Fourier. I dati visualizzati sono tali che:

- per il quadro generale, essi sono acquisiti su un intervallo di quattro giorni (dalle 00.00 del 2 agosto alle 24.00 del 6 agosto), periodi di utilizzo normale dell’energia elettrica. Dall’analisi emergono dei picchi; in particolare il maggiore si trova alla frequenza $1.139 \cdot 10^{-5}$ Hz, che corrisponde ad un periodo di circa 24.4 h. Questo è dovuto ai cicli giornalieri di utilizzo della rete elettrica monitorata dal quadro generale;

³Si può far riferimento anche alla figura 2.9a, la quale riporta proprio i valori delle grandezze elettriche relative al quadro generale.

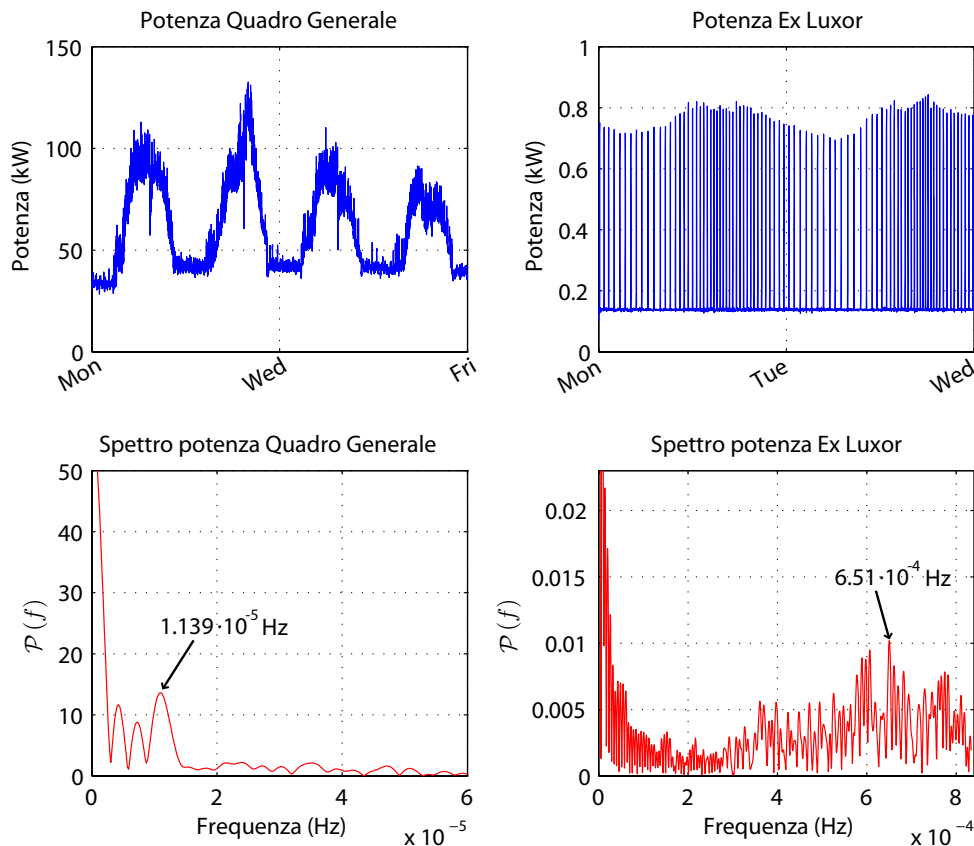


Figura 3.6: Andamenti nel tempo ed in frequenza dei segnali di potenza attiva rilevati dal quadro generale e dal quadro ex Luxor

- per il quadro dell'area ex Luxor, sono acquisiti su un intervallo di tre giorni (dalle 00.00 del 2 agosto alle 24.00 del 5 agosto). L'analisi evidenzia rilevante potenza nell'intorno della frequenza di 6 Hz, ed un picco a $6.51 \cdot 10^{-4}$ Hz, che corrisponde ad un periodo di circa 25.6 min. Ciò è dovuto al funzionamento ciclico di un apparecchio dell'area ex Luxor il quale ad intervalli variabili e d'ampiezza media di quasi mezz'ora assorbe un impulso di durata tra $2 \div 3$ min e valore tra $0.7 \div 0.8$ kW.

Si potrebbe continuare con la presentazione degli andamenti relativi a diverse altre grandezze elettriche, ma si ritiene che i più significativi siano quelli appena discussi riguardanti le potenze attive e reattive.

Sarebbe interessante poter analizzare l'andamento delle tensioni stellate o concatenate per individuare particolari eventi eccezionali che interessano la rete, come i voltage sag, o dip, ed i voltage swell, tuttavia le caratteristiche del sistema di misura ed acquisizione determinate dallo strumento Nemo non lo permettono. Ciò è dimostrato dal grafico della figura 3.7 che riporta l'andamento della tensione stellata misurata dal quadro generale in un intervallo di diciannove giorni. Si evidenzia come le tensioni siano contenute in $[235, 240]$ V e non siano rilevati particolari deviazioni dal valore nominale.

Sono invece rilevabili eventi eccezionali derivanti da fenomeni di sufficiente durata. Un esempio è dato dal grafico di figura 3.8, nel quale si evidenzia una perturbazione del consumo di potenza attiva derivato da una breve interruzione dell'energia elettrica.

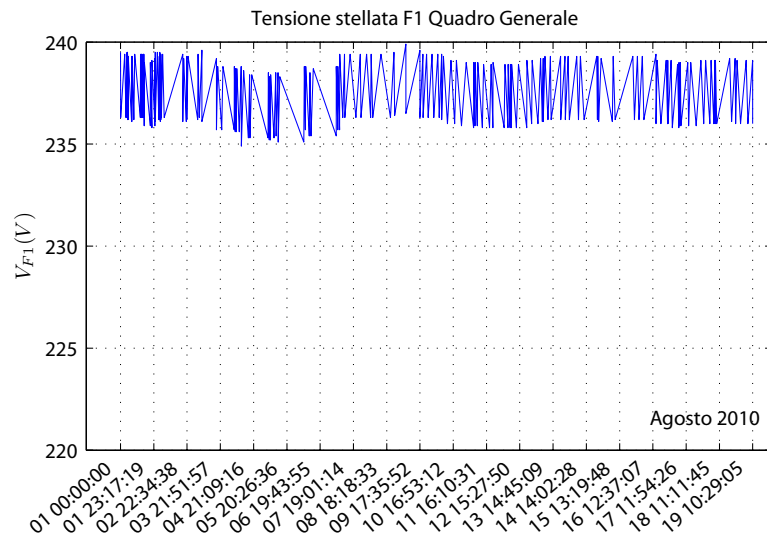


Figura 3.7: Andamento temporale della tensione stellata fase F1 relativa al Quadro Generale

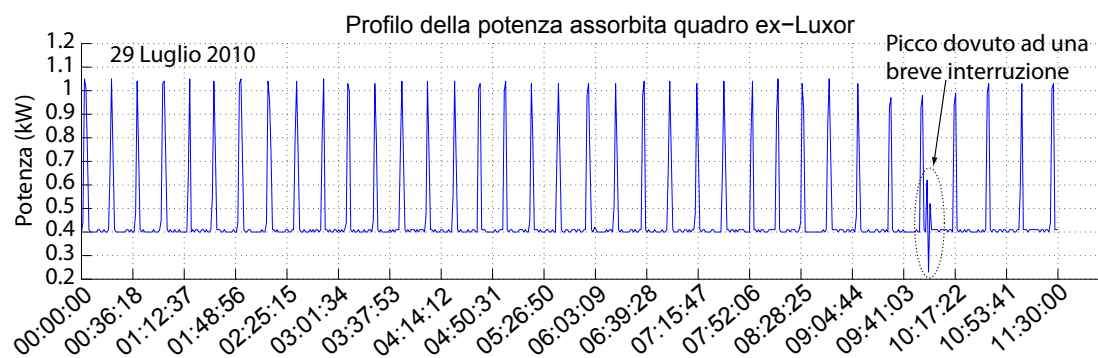


Figura 3.8: Grafico dei dati raccolti attorno ad una breve interruzione

Capitolo 4

Soluzioni alternative

In questo capitolo sono presentati altri sistemi per la gestione o il monitoraggio di flussi di energia, specialmente elettrica. Si tratta di sistemi con la stessa filosofia di quella dell'architettura Pin-Energy ma indirizzati principalmente all'applicazione in ambito domestico. Essi verranno qui considerati per mostrare ulteriori funzionalità e riportare altri esempi di soluzioni adottate.

In questo modo si potranno definire dei punti di confronto con la considerata architettura Pin-Energy e quindi determinare dei modelli di apparati di monitoraggio e controllo che, rispondendo alle varie necessità, siano più completi. Incidentalmente, dalle caratteristiche che distinguono i sistemi, si potranno anche individuare degli elementi che condurranno i futuri sviluppi e in quale modo tali tecnologie saranno d'aiuto all'utente per amministrare i consumi energetici ed interfacciarsi verso smart-grid, smart-appliances e smart-meters.

Più in particolare, in seguito sono presentate le prime due applicazioni software proposte su larga scala per il monitoraggio energetico e la comunicazione con smart-meters e smart-appliances, cioè Google PowerMeter e Microsoft Hohm; poi sono presentati i sistemi AlertMe e Intel HEM Dashboard per la rilevazione, il monitoraggio e il controllo dei consumi energetici. Soprattutto il secondo dispositivo, è esemplare di come tali tecnologie possano integrarsi nelle abitazioni per l'amministrazione dei vari aspetti energetici.

4.1 Google PowerMeter

Annunciato nel febbraio 2009, Google PowerMeter è una applicazione web-based per il monitoraggio dei consumi di energia elettrica [8]. La caratteristica peculiare della piattaforma è di essere gratuita e basata su software open source.

L'accesso a PowerMeter avviene attraverso la pagina personale dell'utente *i*Google. L'ambiente offre le funzionalità principali di:

- visualizzare l'andamento dei consumi elettrici ed i costi associati;
- evidenziare le componenti di consumo costanti che possono essere potenzialmente evitate;
- fissare degli obiettivi di risparmio energetico e tener traccia dei progressi;
- informare l'utente via e-mail sul comportamento energetico rilevato e, in base a questo, sulle stime dell'ammontare del costo totale annuo;

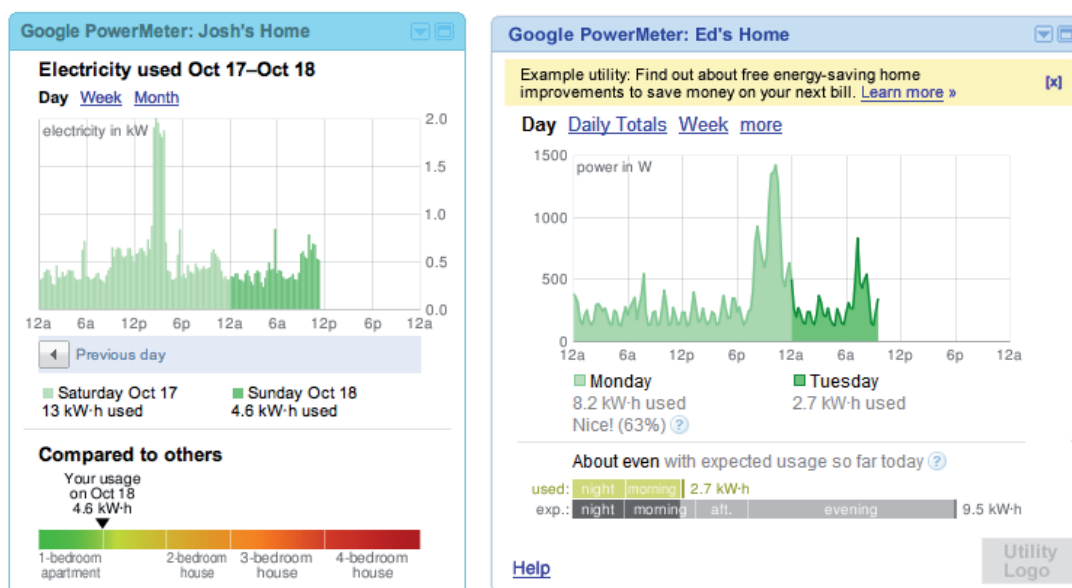


Figura 4.1: Esempi di visualizzazione dei dati attraverso Google PowerMeter

- partecipare a discussioni on-line nelle quali gli utenti possono scambiare conoscenze e riportare esperienze sul risparmio energetico.

Si veda la figura 4.1 per degli esempi di stile di esposizione dei dati.

Le informazioni occorrenti per il servizio possono essere fornite a Google per due vie: attraverso le aziende che forniscono l'energia oppure mediante appositi dispositivi.

Nel primo caso il fornitore deve essere partner di Google e disporre dell'installazione di uno smart-meter presso il cliente che desidera impiegare PowerMeter. Aziende partner sono presenti in Regno Unito, USA e Germania. Secondo quanto annunciato durante lo 'Smart Grid Forum' del Febbraio 2010, anche la principale utility italiana, ENEL, sta intraprendendo accordi affinché anche i suoi utenti dotati di smart-meter¹ possano accedere al servizio di Google [5].

Nel secondo caso i dispositivi, predisposti a cura dell'utente, devono essere accoppiati al punto elettrico da monitorare e disporre di un collegamento ad internet. Le modalità con cui avviene la misura dipendono dal particolare dispositivo, mentre l'interfaccia verso PowerMeter è specificata da API (Application Programming Interface) a tal scopo dedicate. Con questa modalità, alle zone servibili del caso precedente si aggiungono Australia e Nuova Zelanda.

Infine, per quanto riguarda le strategie di partnership per il progetto, Google mira ad ampliare i rapporti con:

- aziende fornitrici di energia elettrica, attraverso le quali si possono ottenere le informazioni energetiche degli utenti e contemporaneamente far aumentare il numero di potenziali utilizzatori del servizio di monitoraggio offerto,
- aziende produttrici di smart-meter, per poter contribuire alla definizione delle caratteristiche dell'hardware dei dispositivi,

¹Nel 2010 in Italia sono installati circa 36 milioni di smart-meter, una delle reti più vaste in assoluto, impiegati limitatamente alla tele-lettura.

- aziende produttrici di hardware digitale, per agevolare l'iniziativa dell'implementare nuovi dispositivi integrati con Google PowerMeter in grado di raccogliere ed inviare i dati relativi ai consumi.

4.2 Microsoft Hohm beta

Microsoft Hohm beta è un servizio web-based per il monitoraggio dei consumi di elettricità e, secondariamente, di gas combustibile [16]. Sebbene la versione beta annunciata nel giugno del 2009 sia disponibile gratuitamente, in futuro particolari funzionalità potrebbero essere offerte a pagamento. La caratteristica peculiare del sistema è quella dell'essere in grado di operare indipendentemente dalla presenza di smart-meter associati all'area da monitorare.

L'accesso a Microsoft Hohm avviene effettuando il log-in al sito `Microsoft-Hohm.com` mediante il proprio identificativo Windows Live. L'ambiente offre le seguenti funzionalità principali:

- visualizzare l'andamento dei consumi elettrici ed i costi associati, anche relativi a periodi precedenti alla data di registrazione al servizio;
- interagire con eventuali smart-meter e smart-appliances installati nell'area monitorata;
- calcolare il punteggio 'Hohm score'. Questo indice rappresenta un confronto tra la stimata efficienza energetica effettiva e la stimata efficienza energetica potenziale. Il suo valore numerico, compreso in $[0, 100]$, è una misura dell'efficienza energetica e può essere impiegato per valutare un determinato comportamento energetico rispetto ad altri;
- fissare degli obiettivi di risparmio e tener traccia dei progressi conseguiti;
- fornire consigli sul risparmio energetico; in particolare l'utente può accedere ad una cospicua libreria di raccomandazioni a proposito;
- partecipare a discussioni on-line nelle quali gli utenti possono scambiare conoscenze e riportare esperienze sul risparmio energetico.

Alle varie funzionalità si ha accesso mediante la home page dell'utente Hohm, che si presenta organizzata come illustrato in figura 4.2.

Le informazioni necessarie per il monitoraggio sono ottenute da Microsoft Hohm direttamente dagli smart-meter delle aziende partner fornitrici dell'energia elettrica oppure per mezzo di avanzati algoritmi sviluppati dal Lawrence Berkeley National Laboratory del US Department of Energy. Per portare a stime accurate tali algoritmi richiedono diversi parametri di ingresso che dovranno essere impostati dall'utente rispondendo a domande riguardanti le caratteristiche dell'abitazione e le abitudini di chi la frequenta (complessivamente sono più di 150 campi).

Infine si evidenzia che, a differenza della soluzione Google, Hohm non si limita al monitoraggio dei consumi elettrici ma considera anche il consumo di gas combustibile. Per la versione definitiva sono inoltre previste funzionalità aggiuntive, ad esempio quella della gestione automatica della ricarica di veicoli ibridi

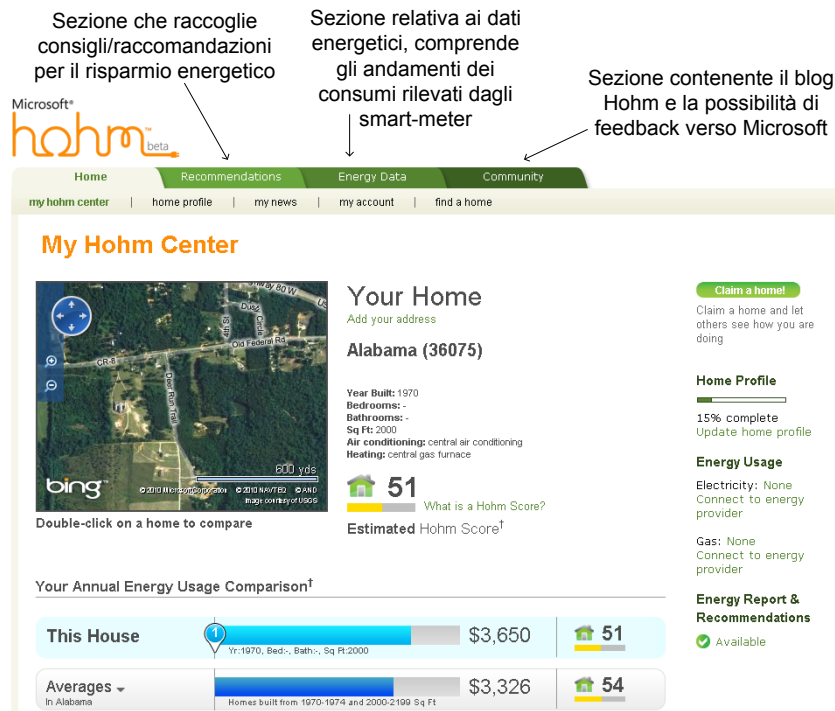


Figura 4.2: Illustrazione della home page utente di Microsoft Hohm

(Plug-in Hybrid Electrical Vehicle, PHEV) o elettrici (Battery Electric Vehicle, BEV) in funzione dello stato del dispositivo da ricaricare e del carico della rete di distribuzione.

4.3 AlertMe

L'azienda inglese AlertMe propone una soluzione che combina hardware e software per il monitoraggio dei consumi elettrici [2]. Il sistema è caratterizzato dalla praticità d'impiego e dal costo contenuto.

Le particolari funzionalità realizzate dipendono dalla configurazione considerata tra quelle proposte. Una di queste, si veda la figura 4.3a, impiega i due tipi di componenti 'AlertMe Meter Reader' e 'AlertMe Hub' per creare una Home Area Network di sensori finalizzata alla raccolta e alla trasmissione dei dati elettrici. Il primo dispositivo, AlertMe Meter Reader, è composto da un modulo di forma toroidale contenente un trasformatore amperometrico affiancato da un modulo di trasmissione wireless; ciò per la misura e la trasmissione dei valori della corrente di carico che scorre nel cavo che attraversa il toro. Il secondo dispositivo, AlertMe Hub, raccoglie i dati inviati dai moduli sensori e, servendosi di un collegamento ad internet, li indirizza verso opportuni servizi on-line per l'elaborazione e presentazione. L'utente può scegliere tra due servizi on-line specifici, ossia può scegliere se destinare i propri dati direttamente ad AlertMe oppure verso la piattaforma Google PowerMeter.

Una alternativa più flessibile alla combinazione appena riportata è l'impiego della speciale presa elettrica *AlertMe SmartPlug*, si veda a proposito la figura 4.3b. Con tale dispositivo è possibile monitorarne i consumi degli elettrodomestici ad esso collegati e controllarne da remoto lo stato (acceso/spento).

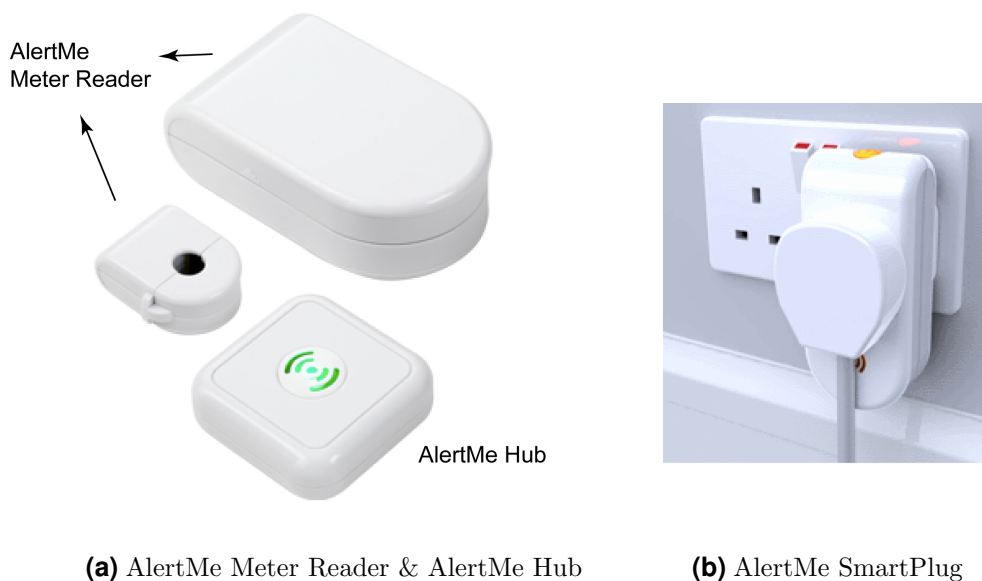


Figura 4.3: Hardware di misura/controllo AlertMe

Come ultimo aspetto si evidenzia che la accuratezza delle misure risente dei vantaggi offerti in termini di semplicità e costo. Infatti l'approccio al monitoraggio adottato, che è non intrusivo (NILM, Non intrusive Appliance Load Monitoring), non rileva i valori di tensione ma li suppone costanti.

4.4 Intel HEM Dashboard

Intel Home Energy Management Proof of Concept, anche chiamato Intel Home Energy Management Dashboard, è il prototipo sviluppato da Intel per l'amministrazione dell'energia nelle abitazioni [15].

Il sistema, tra i più avanzati e completi del settore, integra un gran numero di funzionalità per soddisfare esigenze di monitoraggio e controllo in ambiti che vanno dalla gestione dell'energia alla sicurezza (e.g., impianti d'allarme, anti-intrusione) in ambienti domestici.

La figura 4.4 illustra il cuore del sistema: un accattivante dispositivo elettronico, chiamato dashboard, basato su processore Atom Z530 e dotato di un display OLED 11.56" 'touch screen' che supporta le particolarità dell'interfaccia grafica.

Concentrandoci sulle funzioni riguardanti l'energia elettrica, queste coprono diversi aspetti. In particolare il sistema permette di interagire con gli apparecchi elettrici dell'area di competenza attraverso dispositivi detti 'wireless mobile smart-plug' che sono in grado di controllare lo stato dei carichi (accensione/spengimento) e monitorare i consumi. Le informazioni raccolte dai sensori vengono inviate all'unità centrale dashboard che provvede ad elaborarle e presentarle all'utente. La presentazione delle informazioni avviene mediante grafici, diagrammi, report comparativi dei progressi nel senso del risparmio energetico e consigli specifici su come poter ridurre i consumi.

Nel caso l'ambiente monitorato disponesse di sorgenti di energia (e.g., pannelli fotovoltaici, turbine eoliche) dashboard è anche in grado di gestirle, anche in fun-

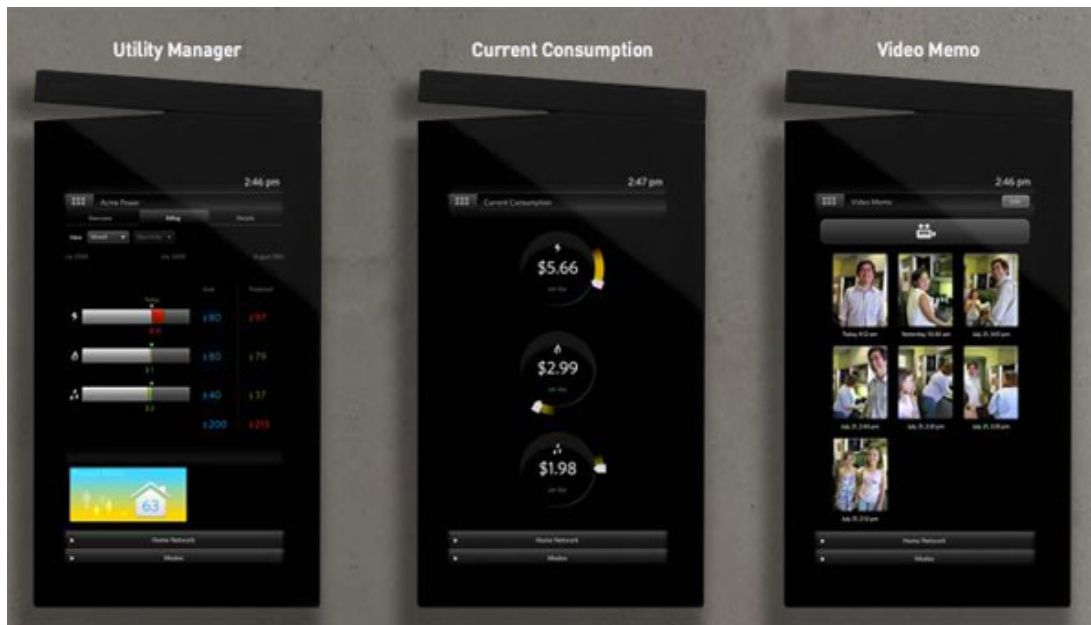


Figura 4.4: Immagini di Intel Home Energy Management Proof of Concept; in ordine, sono mostrate: una schermata relativa ai rapporti con il fornitore dell'energia, dove sono visualizzati i consumi ed i costi, una schermata relativa ai costi correnti della 'energia' (elettricità, gas combustibile e acqua) ed una schermata relativa ad una applicazione per la registrazione di promemoria video.

zione dello stato della smart-grid, e di calcolare i vantaggi economici conseguenti alla loro attività.

Altre funzionalità sono la capacità di scambiare informazioni con smart meter e, con i premissi necessari, confrontare il proprio profilo energetico con quello di altri utenti. La ricca dotazione hardware del dispositivo ne conferisce rilevante flessibilità e programmabilità, agevolando lo sviluppo di software per il controllo di nuove smart-appliances, magari implementate per singole applicazioni.

Capitolo 5

Conclusioni e sviluppi futuri

Oggetto del presente lavoro di tesi è la realizzazione di un sistema di monitoraggio dei consumi di energia elettrica mediante l'installazione di dispositivi di misura e di trasmissione dati nei Dipartimenti DEI e DIE.

Dopo una preliminare fase di analisi ed approfondimento sull'utilizzo dei dispositivi dell'architettura Pin-Energy si è passati all'installazione su diversi quadri elettrici. Infine si sono operati la configurazione ed il collaudo dell'infrastruttura. Tutte le fasi hanno richiesto notevole interazione e coordinazione tra diverse persone: i responsabili del sistema elettrico, i sistemisti dei Dipartimenti, i tecnici di Hyphen, i tecnici dei Dipartimenti. Si deve anche segnalare che le fasi sono state sensibilmente rallentate per via di varie problematiche dovute, ad esempio, alla impossibilità di operare sull'hardware installato con gli impianti alimentati, alla scomodità nel raggiungere i quadri elettrici distribuiti nell'area dei Dipartimenti per le necessarie configurazioni e verifiche e a due dispositivi iPin-Energy difettosi.

Attualmente l'architettura dispone di undici punti di misura dei quali sei sono operativi, mentre gli altri cinque devono essere completati con il collegamento fisico dei moduli iPin-Energy alla rete interna DEI 172.16.10.xxx.

Per ciascun punto di misura le principali grandezze monitorate sono: valori efficaci delle tensioni di fase, valori efficaci delle correnti di fase, sfasamento tra tensioni e correnti di fase. Tutti i valori acquisiti vengono trasmessi ad un apposito server del Dipartimento DEI e quindi archiviati.

Relativamente ai punti operativi è stato possibile procedere con le prime analisi dei risultati del monitoraggio. Durante l'agosto 2010 sono stati monitorati i consumi complessivi dell'area DEI/A, del laboratorio di ricerca ex Luxor e della sala macchine informatiche DEI. I risultati ottenuti hanno evidenziato un significativo consumo di energia anche durante i periodi di inattività dei Dipartimenti. In particolare si è rilevato un assorbimento 'in background' di potenza attiva di circa 40 kW costanti per l'area DEI/A, un profilo di potenza attiva di 7.6 ± 0.3 kW per la sala macchine e un consumo di circa 0.7 kW, periodico di circa 26 min, e impulsivo, che va a sommarsi agli assorbimenti di altri eventuali carichi, per il laboratorio ex Luxor.

Allo scopo di ottimizzare l'impiego dell'energia elettrica, la notevole quantità di informazioni acquisite dal sistema di monitoraggio si può adoperare in diversi modi. Per esempio, nelle situazioni dove il consumo è determinato dal comportamento degli utenti, si potrebbero innescare delle modifiche ai compor-

tamenti sollecitando gli utilizzatori in modo opportuno affinché siano indotti ad esprimere la loro attitudine alla conservazione dell'energia, come discusso in [9]. Prove dell'efficacia di tali metodi sono già state dimostrate in ambito domestico; ad esempio, in uno studio condotto su 77 abitazioni coreane, il solo impiego di In-Home-Display (IHD), che visualizzano in modo chiaro i flussi di energia congiuntamente ai costi, ha portato ad una riduzione media dei consumi di circa il 10% [4]. Perciò, se una maggiore consapevolezza sui consumi porta ad un più attento impiego degli apparecchi, è auspicabile ottenere risultati significativi anche per quanto riguarda il caso in studio.

Per un impiego ancor più responsabile dell'energia elettrica si possono inoltre ricercare le cause dei consumi potenzialmente evitabili. Si consideri il consumo costante di 'background' pari a circa 40 kW;¹ consumi di tali entità, anche durante i periodi di chiusura del Dipartimento o nelle ore notturne, possono essere causati in parte per il mantenimento dei servizi (e.g., servizi informatici) ma sono comunque alti e quindi eventualmente attenuabili.

Per quanto riguarda gli sviluppi futuri, con opportune modifiche il sistema potrebbe anche intraprendere azioni 'automatiche' in risposta a determinate situazioni. Infatti, operazioni quali l'avvio di impianti (e.g., condizionamento) si possono effettuare aggiungendo all'infrastruttura dei dispositivi che fungano da interfaccia tra i comandi digitali che interessano i moduli iPin-Energy e le apparecchiature da sovrintendere. Si osserva inoltre che l'integrazione all'architettura Pin-Energy di una rete di sensori con maggiore banda e di dispositivi attuatori per il controllo dello stato dei carichi consentirebbe di applicare tecniche di disaggregazione dei flussi di energia e quindi di definire in modo preciso lo stato della rete al fine del controllo delle apparecchiature, contenendo allo stesso tempo l'aumento del numero di punti di misura. Ciò offrirebbe anche l'opportunità di esplorare l'applicazione in questo campo dei sistemi di controllo basati sull'intelligenza computazionale, come sostenuto in [22], e in particolare sul paradigma neuro-fuzzy.

In conclusione l'architettura implementata consente di analizzare i flussi di energia elettrica che interessano i punti monitorati e rappresenta, a fronte delle imminenti tecnologie delle micro-smart-grid, un potenziale punto di partenza per ottenere un sistema autonomo in grado di gestire in modo efficiente diverse risorse, tra le quali anche la generazione distribuita (*Distributed Energy Resources*, DER) e l'accumulo dell'energia (*Energy Storage*, ES).

¹Si rimarca l'importanza di tali consumi di 'background' notando che questi consumi aumentano via via che si risale, verso la sorgente, la rete di distribuzione dei Dipartimenti, e riportando che ammontano a 100 kW nel punto di misura di SEPAM.

Appendice A

Istruzioni di amministrazione di Pincushion

Al fine di rendere operativa l'architettura di figura 2.1, una volta installata, si deve procedere con l'impostazione dei particolari di Pincushion.

Il lavoro di impostazione è stato supportato direttamente dalle indicazioni del personale Hyphen e dall'esperienza acquisita durante l'utilizzo, mentre non si è potuto giovare dell'uso di manuali o guide poiché non ancora disponibili. Per questo motivo si ritiene opportuno raccogliere con la presente appendice, che può essere considerata un'integrazione alla sezione 2.3, l'insieme delle procedure necessarie per la gestione di Pincushion in merito ad aspetti che riguardano:

- la creazione di nuovi gruppi di utenti e di nuovi utenti singoli;
- la registrazione (inserimento) di un nuovo modulo iPin-Energy nel sistema e la sua configurazione al fine dell'impiego nell'acquisizione dei dati dal modulo di misura multifunzione;
- il caricamento nel sistema di nuovi oggetti web e la loro modifica;
- le procedure necessarie alla creazione e impostazione delle viste;
- la creazione di grafici.

Per completezza, nell'esposizione delle operazioni si approfitterà, ove possibile, per descrivere il significato dei vari parametri impostabili con Pincushion.

A.1 Gestione degli utenti

A.1.1 Creazione di gruppi di utenti

Per la creazione di un nuovo gruppo di utenti si deve accedere a **Amministrazione >Utenti >Gruppi di utenti** e quindi si seleziona 'nuovo gruppo'. Si apre una schermata che chiede il nome del gruppo che si desidera creare e riporta riuniti per voci le azioni che si possono permettere agli utenti del gruppo (e.g., amministrazione, generali, statistiche, strumenti, telecamere, viste, ecc.).

Se, ad esempio, si volesse creare un gruppo di utenti generici abilitati alla sola consultazione di Pincushion si potrebbe comporre un gruppo che ha 'utenti

generici' come 'nome gruppo' e selezionare solo le voci relative alla 'lettura' delle informazioni organizzate da Pincushion; quindi si potrebbe togliere anzitutto ogni permesso al gruppo, attraverso 'deseleziona tutti' (seconda opzione in alto) e poi

- esplodere la voce *Generali* e, tra le opzioni di questa, impostare il tick su 'visibilità menù statistiche', per consentire agli utenti del gruppo di vedere il menù statistiche;
- esplodere le voci *Statistiche* e selezionare 'consultazione analisi dati', affinché gli utenti del gruppo possano consultare i dati salvati nel database di Pincushion.

In questo modo gli utenti del gruppo creato possono consultare le viste a loro assegnate¹ e possono inoltre consultare i grafici creati dagli utenti amministratori ed estesi al gruppo ma anche crearne di nuovi sugli intervalli temporali di interesse.

Le combinazioni sono diverse così che gli amministratori possano precisamente definire le possibilità degli utenti; questo per proteggere le informazioni presentate, le personalizzazioni di Pincushion e il sistema fisico monitorato/controllato.

A.1.2 Creazione nuovo utente

Per creare ed inserire un nuovo utente nel sistema, nella sezione **Amministrazione >Utenti** si deve selezionare 'Nuovo utente'; si giungerà ad una pagina nella quale è richiesta l'impostazione dei seguenti campi:

ID utente che consente di definire 'nome' che identifica l'utente (si intende quello anagrafico), 'e-mail' nel caso sia necessario inviare messaggi/avvisi e la coppia 'username' e 'password' che l'utente impiegherà per il log-in al sistema;

Lingue per la selezione della lingua con cui Pincushion interagirà con l'utente;

Personali per selezionare se concedere o meno la possibilità all'utente di modificare la propria password, modificare i propri dati personali o visualizzare i propri dati personali;

Gruppi per assegnare l'utente ad uno o più gruppi del sistema, e quindi definire il titolo con cui avrà accesso a Pincushion (e.g., amministratore, utente generico, utente di sola lettura, ecc.).

Impostati i campi, attraverso il bottone OK si da conferma e si ritorna in **Amministrazione >Utenti >Utenti**, dove è presente la lista degli utenti e il bottone per la creazione di un nuovo utente.

¹L'assegnazione delle viste ai gruppi di utenti avviene alla creazione delle viste stesse mediante la sezione 'autorizzazioni'.

A.2 Gestione delle istanze e sottoistanze

A.2.1 Aggiungere modulo iPin-Energy

Per caricare nel sistema un nuovo modulo iPin-Energy è necessario eseguire i passaggi che seguono (si veda figura A.1). Procedere attraverso i menu **Amministrazione > Sistema > Servizi > Istanze** → ‘IPIN-MODULES’ —servizio di gestione dei moduli analogici e digitali iPin— quindi fare clic su ‘nuova istanza’, scritta situata in testa alla lista ‘istanze’. Iniziando la procedura di creazione dell’istanza:

- nel campo ‘nome del modulo istanza’ assegnare un nome che identifica l’istanza,
- nel campo ‘console utilizzata’ scegliere l’opzione ‘Pincushion.Console #1’,
- attivare il servizio spuntando la voce ‘servizio attivo’,
- cliccare il bottone OK.

Infine, se le operazioni sono state correttamente interpretate dall’applicazione, appare la scritta ‘Aggiornare servizio’ in alto a sinistra su sfondo rosso, si deve far clic su questa per applicare gli aggiornamenti.

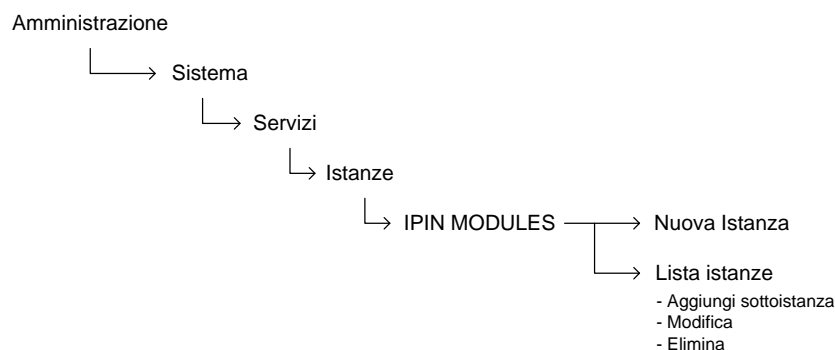


Figura A.1: Percorso per l’amministrazione istanze di tipo modulo iPin

A.2.2 Configurazione modulo iPin-Energy

Una volta aggiunte nel sistema delle istanze iPin-Energy attraverso la procedura indicata nel paragrafo precedente si devono creare delle sottoistanze che facciano riferimento alla particolare unità iPin-energy.

A tal fine occorre portarsi nella sezione **Amministrazione > Sistema > Servizi > Istanze > IPINMODULES**, si veda anche la figura A.1, e selezionare **Aggiungi sottoistanza** in corrispondenza del modulo considerato. Siamo nella pagina ‘Nuova istanza iPin MODULES’, si deve inserire:

- il *nome* dell’istanza,
- la *console* che si vuole impiegare, per default ‘Pincushion.Console #1’,

- il *modello di servizio* come ‘Analog module iPinEnergy’ (per la comunicazione con Nemo) oppure ‘Digital module iPinEnergy’ (per la gestione dei canali I/O digitali),
- la *vista impiegata*, da scegliere tra quelle disponibili,
- il *percorso della vista*, che non va modificato in quanto automaticamente compilato,
- il *tempo di massima inattività* di un servizio per considerarlo in errore, che può essere lasciato a 300 s,
- per l'*attivazione del servizio* spuntare ‘Servizio attivo’.

Confermando con il bottone OK si giunge ad una pagina dove in alto compare la richiesta ‘Applica aggiornamenti’, si deve confermare. A questo punto si deve inserire l’indirizzo IP del modulo,² abilitare lo storico, per salvare i valori acquisiti nel data-base, e anche la generazione dei file di log, per registrare gli eventi relativi al modulo. Infine selezionare ‘modulo iPin’ per la voce ‘Seleziona modulo’; ora:

- *Analog module iPin-Energy* – nel caso si fosse selezionato un modulo analogico ‘Analog module iPin-Energy’ compaiono i 30 canali fisici ricavati dal modulo Nemo connesso ad iPin-Energy, più una serie di canali virtuali, da non modificare, che implementano elaborazioni sui segnali acquisiti per calcolare, ad esempio, i consumi in kilowattora o in euro, l’energia attiva, le emissioni di CO₂. A questo punto si possono programmare le misure effettuate dalla sottoistanza che si sta configurando. Considerando il generico canale *n*-simo, chiamiamolo *canalen*, a questo sono associati gli attributi

Descrizione – descrive il significato della misura effettuata dal canale, tale sarà la scritta che comparirà di fianco ai visualizzatori, inseriti nelle viste, riferiti a questo canale. Il nome di default è ciò che viene effettivamente misurato dagli strumenti Nemo; questa possibilità di modificare il nome del canale risulta comoda nel caso la misura fosse diretta ad una grandezza trasdotta e misurata indirettamente;

Funzione – permette di impostare delle operazioni da effettuare sui valori numerici acquisiti dal modulo Nemo; qui è ad esempio possibile impostare un fattore moltiplicativo che scali le misure effettuate³ oppure inserire appositi codici per l’esecuzione di operazioni specifiche—alcuni esempi sono: LMCO2, DLMCO2, AMCO2% o AMCO2;

Unità di misura – permette di associare al valore analogico misurato una unità di misura, in un certo senso dichiara la grandezza fisica a cui si riferiscono i dati acquisiti (alcune opzioni disponibili sono ‘numero puro’, ‘volt’, ‘lumen’, ‘potenza energia’, ‘CO₂’, ‘coulomb’, ‘ohm’, ma anche ‘tonnellate’, ‘euro’, ‘farad’; questo rende possibile trasdurre la grandezza in un segnale elettrico e visualizzare sulle viste direttamente l’entità dello stimato);

²L’indirizzo IP del modulo è scritto sul case del modulo stesso e normalmente viene impostato dal produttore.

³L’unità di misura non viene cambiata, e.g., impostando un fattore moltiplicativo di 100 la misura di una tensione di linea di 230 V, vengono visualizzati sul display 23000 V.

Visualizzazione – per scegliere il modo di visualizzazione; sono disponibili le opzioni ‘Display LCD HTML’, ‘Display LCD Flash’, ‘Barra percentuale’;

Decimali significativi (non previsti per la visualizzazione in modalità Barra percentuale) – per selezionare il numero di cifre dopo la virgola mostrate dal visualizzatore (è chiaro che dipende dallo strumento se queste cifre sono effettivamente significative);

Soglia allarme visivo (solo per visualizzazione in modalità Barra percentuale) – con questo punto è possibile impostare la soglia che abilita il segnale visivo dell’indicatore; i possibili valori stanno in {10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90};

Modalità soglia (solo per visualizzazione in modalità Barra percentuale) – permette di scegliere il modo in cui viene interpretata la soglia impostata per l’allarme visivo; le possibili opzioni sono ‘sotto soglia’, ‘sopra soglia’ o ‘nessuna soglia’;

Numero di tacche (solo per visualizzazione in modalità Barra percentuale) – permette di scegliere il numero di tacche che scandiscono il range [0, 100] della barra percentuale; i possibili valori stanno in {5, 10, 20, 25, 50, 100};

Attiva storico – se viene posto il tick allora Pincushion terrà traccia nel data-base dei valori acquisiti;

Tipologia di memorizzazione – selezionabile sulle due tipologie ‘su variazione’ o ‘ogni periodo di tempo’. Con la prima la memorizzazione del valore acquisito avviene ad ogni variazione della grandezza misurata di una quantità maggiore o uguale a ‘delta storico’ (che in questo caso sarà da specificare); con la seconda la memorizzazione della grandezza misurata avviene periodicamente ad intervalli specificati impostando il campo ‘Memorizza ogni’;

Memorizza ogni – è il periodo di memorizzazione, cioè specifica ogni quanto tempo memorizzare i valori acquisiti; risulta impostabile su ‘giorno’, ‘ora’, ‘minuto’, ‘secondo’;

- *Digital module iPin* – nel caso si fosse selezionato un modulo ‘Digital module iPin’ compaiono i canali digitali del modulo. Relativamente a questo è possibile impostare, per ognuno dei canali, i seguenti attributi:

Storico – per definire se attivare la registrazione dello stato del canale;

Inverti logica – per complementare la associazione (livello di tensione)→(stato) del canale digitale;

Input/output – per configurare come ingresso o come uscita il canale;

Tempo 0 ->1 – per un canale configurato come ingresso, consente di specificare, partendo da livello logico basso, per quanto tempo deve permanere il livello logico alto in ingresso per essere considerato una transizione 0 ->1;

Tempo 1 $\rightarrow 0$ – per un canale configurato come ingresso, consente di specificare, partendo da livello logico alto, per quanto tempo deve permanere il livello logico basso in ingresso per essere considerato una transizione $0 \rightarrow 1$;

Stato 0, Stato 1, Stato sconosciuto – nella grafica delle viste, lo stato degli ingressi è mostrato mediante dei simboli che sono rettangoli colorati in verde, rosso o segnati con un punto di domanda; questi, per default, sono associati allo stato ‘0’ (basso), stato ‘1’ (alto) e ‘Stato sconosciuto’, rispettivamente. Se fosse necessario modificare le associazioni tra simboli e stati, è possibile selezionare nella lista tutti gli stati ai quali assegnare un altro simbolo che dovrà essere scelto tra quelli proposti in fondo alla lista.

Al termine della configurazione della sottoistanza si conferma attraverso il bottone OK e cliccando la scritta rossa *Applica Aggiornamenti*. A questo punto è possibile impiegare i dati forniti dalla sottoistanza (e.g., all’interno di viste o per creare dei grafici).

Le procedure appena descritte consentono di acquisire i dati provenienti dal modulo Nemo (modulo tipo ‘Analog module iPin-Energy’) oppure di gestire specifici ingressi/uscite digitali (modulo tipo ‘Digital module iPin’) del modulo iPin-Energy. Queste sono le operazioni principalmente impiegate nell’ambito dell’attività in oggetto.

Per completezza si segnala l’esistenza di un metodo per l’acquisizione di segnali analogici attuabile con un modulo iPin attraverso alcuni dei suoi canali e scegliendo per modello di servizio l’opzione ‘Analog module iPin’. Ulteriori configurazioni vanno definite attraverso l’applicazione iPinClient (si veda in merito l’appendice B) dove si possono impostare tali canali analogici sopra aspetti che riguardano, ad esempio, il range e la polarità del segnale di ingresso e quali tra i canali sono da dedicare all’acquisizione dei segnali analogici.

A.3 Amministrazione degli oggetti web

Per la gestione degli oggetti web,⁴ attraverso il percorso **Amministrazione >Strumenti >Oggetti web** si presenta la lista che indica il nome ed il tipo degli oggetti già caricati in Pincushion. Attraverso la lista di questa pagina si possono gestire gli oggetti utilizzando i bottoni di fianco ad ogni voce. Nell’ordine si distinguono:

- ‘Anteprima’ – apre una finestra del browser che visualizza l’anteprima dell’oggetto;
- ‘Modifica’ – consente di modificare qualsiasi attributo dell’oggetto web, la pagina che appare è infatti quasi uguale a quella che si presenta per l’impostazione di un nuovo oggetto;
- ‘Elimina’ – per eliminare l’oggetto dall’applicazione.

⁴Gli oggetti web sono introdotti nella sezione 2.3.

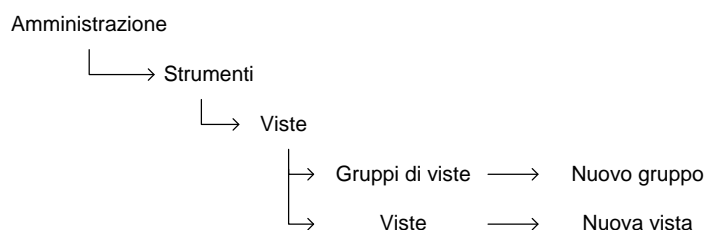


Figura A.2: Percorsi per la gestione delle viste

Nel caso si volesse aggiungere un elemento alla lista, cioè caricare un nuovo oggetto, facendo clic sul rettangolo ‘Nuovo oggetto web’, in alto a sinistra, si apre una pagina che consente di specificare i campi:

- Nome – è il nome dell’oggetto impiegato per identificarlo nei menù di Pincushion e, se necessario, anche nelle viste che lo utilizzano;
- Descrizione/collegamento web – per specificare una descrizione dell’oggetto; nel caso l’oggetto fosse un collegamento web, in questo campo va inserito il link;
- Tipo – in questa sezione si sceglie il tipo dell’oggetto; le opzioni sono ‘immagine’ (.jpg, .jpeg, .gif, .png), ‘Filmato Adobe Flash’ (.swf), ‘File audio’ (.wav, .mid) e ‘Collegamento web’;

il campo finale è funzione del *tipo* scelto: se si è scelto un’immagine, un file audio o uno video, con l’ultima sezione se ne esegue l’upload verso Pincushion, se invece si sta considerando un collegamento web, con l’ultima sezione si sceglie se aprire il link automaticamente all’ingresso della vista, e se visualizzare il link come testo o come pulsante. In ogni caso, spuntando la voce ‘Visualizza il titolo dell’elemento nella vista’ si dovrebbe abilitare la visualizzazione del titolo in corrispondenza dell’oggetto nella vista.⁵ Confermando le impostazioni con il bottone ‘OK’ si ritorna alla lista iniziale.

A.4 Amministrazione delle viste

Con l’ausilio degli oggetti caricati è ora possibile affrontare la creazione delle viste e poi la loro impostazione.

A.4.1 Creazione di viste

Facendo anche riferimento alla figura A.2, seguiamo il percorso **Amministrazione>Strumenti >Viste**, ora troviamo le due voci

1. **Gruppi** – per la creazione e la gestione di gruppi di viste;
2. **Viste** – per la gestione e creazione delle viste;

seguendo lo scopo di creare una vista, consideriamo la sezione ‘Viste’ (Gestione delle viste) e quindi selezioniamo ‘Nuova Vista’ tra le due opzioni. Qui è possibile:

⁵Dalle prove effettuate tale scelta non sembra aver effetto.

- inserire il nome (campo obbligatorio) con cui la vista si presenterà nel menu ‘Viste’,
- inserire una descrizione sommaria dell’oggetto della vista,
- esplodere il menu sottostante ‘Impostazioni Avanzate’ per impostare secondo le necessità le opzioni che si presentano; fra queste sono presenti

l’aggiornamento automatico della vista ad intervalli di tempo selezionabili; intervalli bassi dovrebbero essere giustificati poiché comportano noiosi blinking della pagina agli aggiornamenti;

l’opzione ‘Abilita modalità schermo intero con barra degli strumenti’, la quale comporterà la visualizzazione della vista in una nuova finestra in modalità schermo intero e *con* la barra degli strumenti; l’opzione consente di selezionare a sua volta se disabilitare la visualizzazione della barra degli strumenti, principalmente per impedire agli utenti di poter modificare la vista;

l’opzione ‘Visualizza’ i pulsanti in modalità ‘Touch Screen’, se abilitata, aumenterà le dimensioni generali della grafica per rendere più agevole l’interazione con l’interfaccia alla visualizzazione della vista in dispositivi con schermo ‘Touch Screen’.

Completate le impostazioni avanzate, il menu ‘Gruppi di viste’ mostra tutti i gruppi di viste ai quali è possibile aggregare la vista che si sta creando. Il gruppo ‘Gruppo predefinito’ è sempre presente come opzione di default, tuttavia all’assegnazione della vista a gruppi specifici risulta spesso conveniente sottrarre la vista a quello di default, così facendo il nome della vista non comparirà anche assieme ai gruppi nella sezione ‘Viste’ a cui si accede dalla home page di Pincushion.

Proseguendo, esistono diversi altri menu corrispondenti ad elementi diversi, disponibili alla piattaforma Pincushion, che possono essere inseriti nella vista che si sta creando; ad esempio possono essere visualizzati i dati raccolti da una telecamera, gli oggetti caricati, gli stati degli ingressi digitali o analogici di un modulo iPin-Energy. Qui ci si concentrerà sugli ‘Ingressi analogici’.

Esplodendo la voce ‘ingressi analogici’ compaiono le istanze iPin modules inserite e le relative sottoistanze iPin-Energy. Esplodendo la voce che fa riferimento ad una sottoistanza si presentano i trenta canali analogici; a questo punto si dovranno selezionare tutte le grandezze che si vogliono visualizzare nella vista.

Verso il fondo della pagina è presente una lista degli elementi aggiunti alla vista, denominato ‘Ordine di visualizzazione’; attraverso questo si possono impostare

con il primo bottone di fianco alla lista, i livelli ai quali la grafica degli oggetti è posta,

con il secondo bottone, denominato ‘Aggiungi separatore’, separare i blocchi di elementi inserendo tra loro dei separatori ed infine

con il terzo bottone inserire dei ritorni a capo.

Per quanto riguarda la posizione degli oggetti nella vista, quelli che compaiono per primi nella lista ‘Ordine di visualizzazione’ saranno disposti sotto agli oggetti che in lista compaiono dopo. È quindi consigliabile portare gli oggetti web, come le immagini, ai primi posti della lista per non coprire con questi i display delle misure; ciò si può ottenere selezionando l’oggetto web e quindi utilizzare il bottone, al fianco della lista, ‘sposta in alto’ oppure, metodo più efficiente, inserendo nella vista per primi gli oggetti web.

Aggiunti alla vista tutti gli elementi necessari, si conferma l’impostazione attraverso il bottone OK in fondo alla pagina.

A questo punto *la vista non è ancora visibile* nel menù ‘Viste’ della Home page di Pincushion; è infatti necessario completare l’operazione ritornando nella sezione ‘Viste’ della pagina **Amministrazione**>**Strumenti** >**Viste**, e dunque modificare le autorizzazioni relative alle viste selezionando il bottone in alto a destra ‘Autorizzazione’, per aver accesso a tutte le viste, oppure selezionando il terzo bottone, nominato ‘Modifica le autorizzazioni’, sulla riga relativa alla vista considerata per agire sulla singola vista. Risultato di uno dei due procedimenti è l’apparizione di una finestra che riporta in una tabella tutti i gruppi di utenti caricati nel sistema e consente di scegliere per i vari gruppi in che misura gli utenti potranno interagire e modificare le viste. Il significato delle sigle dei permessi è esplicitato da una tabella in fondo alla pagina web.

A.4.2 Impostazione delle viste

In questa sede, con ‘impostazione delle viste’ intendiamo le operazioni di posizionamento e descrizione degli oggetti all’interno della pagina web che costituisce la vista. Infatti, appena una vista viene creata, gli oggetti web inseriti, assieme agli indicatori, riempiono senza criterio lo spazio della pagina. È quindi quasi sempre necessario operare dei riposizionamenti o delle aggiunte di caselle di testo per rifinire la vista.

A tale scopo nella pagina di ogni vista sono predisposte le seguenti icone:



icona ‘stampa questa pagina’, apre la finestra di stampa della pagina corrente;



icona ‘Aggiungi Post-it’, permette di aggiungere un post-it alla vista;



icona ‘aggiungi un testo’, permette di aggiungere una casella di testo alla vista; di questo oggetto sarà possibile impostare diverse proprietà, alcune sono: la dimensione, il tipo e il colore dei font, il colore dello sfondo della casella, lo stile di scrittura e la giustificazione del testo;



icona ‘visualizza la vista in modalità struttura oggetti’, visualizza il contenuto della vista in una modalità che consente di trascinare gli oggetti al fine di posizzarli nella configurazione desiderata all’interno della pagina;



icona ‘fai di questa pagina la tua home page’, per impostare la pagina corrente come propria home page di Pincushion—gli utenti amministratori possono scegliere se estendere questa scelta a tutti gli altri utenti;



icona ‘traduci le stringhe di testo di questa pagina’, consente di definire le traduzioni delle stringhe di testo impiegate da Pincushion per interagire con l’utente; non è comunque possibile tradurre il contenuto delle caselle di testo aggiunte;



icona ‘salva la posizione degli oggetti’, in modalità ‘struttura oggetti’, consente di salvare le modifiche apportate alla posizione degli oggetti.

A questo punto è noto il significato della grafica dell’applicazione e si è in grado di modificare l’aspetto delle viste secondo le specifiche o i gusti.

A.5 Creazione di grafici

La pagina preposta alla creazione dei grafici e dei report si raggiunge seguendo il percorso **Statistiche > Analisi dei dati**, come mostra la figura A.3.

The screenshot shows the 'Analisi dati' page in the Pincushion 2 application. The interface includes a sidebar with navigation options and a main content area with several sections: 'RICERCHE SALVATE' (Saved Searches), 'SELEZIONI SALVATE' (Saved Selections), and 'OPZIONI AVANZATE' (Advanced Options). A search window is open, displaying a list of data sources. A 'Selezione' window is also visible, showing a list of selected data points. At the bottom, there are options for data visualization (linear, histogram, pie, mixed, bar) and report formats (pdf, xml). Annotations point to various elements: 'Lista sorgenti dei dati' (Data sources list), 'Lista grandezze rilevabili e rappresentabili' (Detectable and representable quantities list), 'Sezione per l'impostazione dell'intervallo di tempo da considerare' (Time interval setting section), 'Lista dei grafici salvati visualizzabili secondo le specifiche definite in "opzioni avanzate"' (List of saved graphs visible according to specifications defined in 'advanced options'), 'Lista delle selezioni precedentemente salvate' (List of previously saved selections), 'Bottoni "aggiungi alla selezione" e "rimuovi dalla selezione", rispettivamente' (Buttons 'add to selection' and 'remove from selection', respectively), 'Botone per il salvataggio della selezione' (Save selection button), 'Lista grandezze selezionate' (Selected quantities list), and 'Modi disponibili per la presentazione dei dati salvati nel sistema' (Available modes for presenting saved data in the system).

Figura A.3: Descrizione della pagina per la gestione dei grafici

A questo punto compaiono i menù

- ‘Ricerche salvate’ – esplodendo il menù si visualizza la lista dei grafici o report salvati nel sistema;

- ‘Selezioni salvate’ – esplodendo il menù si visualizzano le combinazioni di grandezze composte e salvate nella sezione ‘Opzioni avanzate’ (si veda il punto successivo);
- ‘Opzioni avanzate’ – esplodendo il menù vengono visualizzati i campi da compilare per generare grafici e report. Nella sezione ‘cerca’ sono riportate tutte le grandezze delle quali il sistema ha modo di rilevare i valori, per selezionarle è sufficiente fare clic sul nome della grandezza voluta e quindi sul bottone ‘aggiungi alla selezione’. Nella sezione ‘selezione’ vengono elencate le grandezze che andranno ad essere rappresentate nel grafico o nel report.

Si fa di nuovo riferimento alla figura A.3 per integrare la descrizione della pagina ‘Analisi dati’.

Oltre alla possibilità di generare automaticamente il plot dei grafici, l’utente dispone di una funzione per estrarre i valori numerici delle misure dal data-base del sistema. Ciò avviene scegliendo di salvare i dati in un file in formato `.xml`. Così facendo si può disporre dei dati acquisiti evitando di interrogare il data-base.

Appendice B

iPinClient

In questa appendice si descrivono sinteticamente tre operazioni che possono risultare utili in taluni casi eccezionali; queste sono:

- la ricerca dei moduli iPin connessi alla rete e la verifica del loro stato,
- l'impostazione della comunicazione seriale RS485 del modulo iPin con il modulo Nemo,
- l'aggiornamento del firmware scritto nel modulo iPin.

Questo tipo speciale di operazioni vengono gestite dalla applicazione *iPin-Client*, che costituisce una utility software di Pincushion per le impostazioni avanzate dei singoli moduli iPin, nel nostro caso iPin-Energy.

Per quanto riguarda l'avvio della applicazione, questo è possibile attraverso una postazione collegata alla rete DEI che è stata *abilitata* dagli amministratori del sistema informatico all'accesso al particolare server che la ospita.

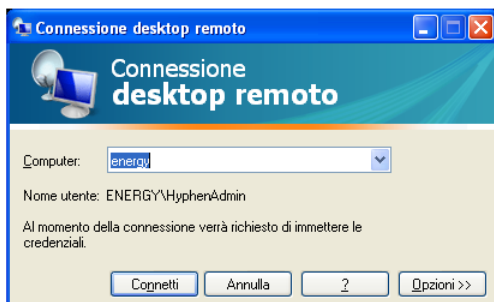
Operativamente, dalla postazione abilitata, si procede aprendo 'Connessione desktop remoto', quindi si sceglie 'energy' come nome del computer e si fa clic sul bottone 'connetti', come illustrato dalla figura B.1a; quindi ci si autentica con nome utente 'HyphenAdmin'. Ora si è sul desktop del server che ospita Pincushion. Avviando l'applicazione iPinClient comparirà la finestra in figura B.1b che mostra la lista delle interfacce di rete disponibili; si dovrà scegliere quella relativa ai moduli iPin, nel nostro caso la rete numero 2 con indirizzo 172.16.10.xxx.

A questo punto si possono considerare le operazioni di interesse.

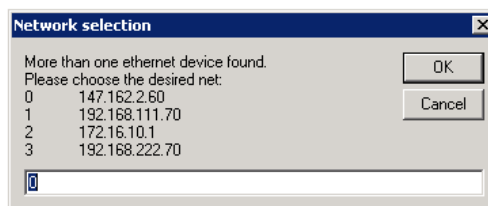
Verifica della connessione alla rete. Dopo l'accesso ad iPinClient, si visualizza la schermata della sezione 'General', dalla quale è possibile eseguire lo 'Start Search', cioè un'istruzione di ricerca dei moduli raggiungibili connessi alla rete. Selezionando con il puntatore uno di questi indirizzi, che individuano uno ed un solo modulo iPin-Energy (o iPin, in generale), e poi selezionando 'connect' avverrà la connessione con il particolare modulo e sulla sezione a destra 'General Device Settings' compariranno le configurazioni principali dello stesso.

In questo modo si può verificare il corretto funzionamento del collegamento via ethernet tra server e modulo iPin-Energy.

Se si volesse agire su un altro modulo, si deve sconnettere l'attuale con il bottone 'Close' e connettersi a quello desiderato.



(a) Finestra per la connessione al desktop remoto



(b) Finestra delle reti rilevate. Quella di nostro interesse è la 172.16.10.xxx

Figura B.1: Finestre che compaiono per accedere al ClientService di Pincushion

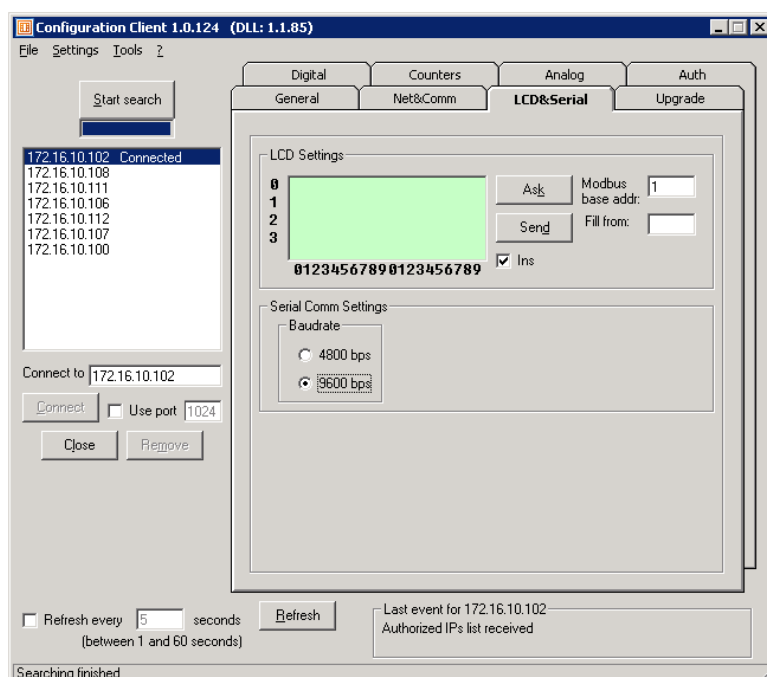


Figura B.2: Impostazione della comunicazione seriale RS485

Verifica comunicazione RS485. Per verificare la velocità della trasmissione su bus RS485 si deve accedere al pannello 'LCD&Serial'. Qui, in corrispondenza della sezione in basso 'Serial Comm Settings', si può selezionare la velocità della connessione tra il modulo iPin-Energy e il modulo Nemo, che dovrebbe essere 9600 boud. A proposito si veda la figura B.3.

Apportate le modifiche sulla velocità, *si deve tornare* su 'General' e fare clic su 'Save'.

Aggiornamento del firmware. L'ultima operazione che consideriamo è l'aggiornamento del firmware di un modulo iPin della rete. A tal fine devono essere presenti nella cartella C:\Firmware le ultime release dei firmware dei dispositivi. Questi file vengono di norma caricati nella macchina che ospita Pincushion all'installazione dell'applicazione software e possono essere successivamente aggiornate da parte di Hyphen secondo le modalità concesse dagli amministratori del sistema informatico.

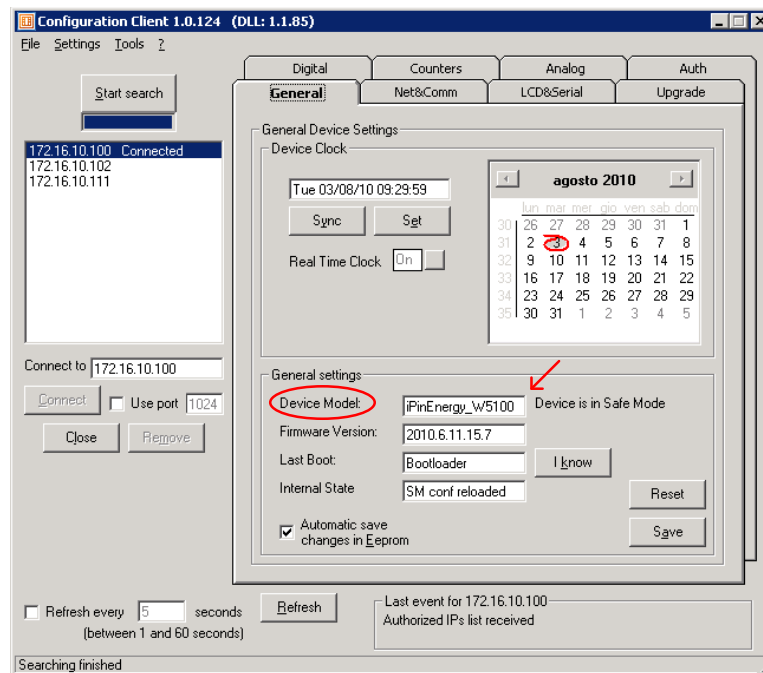


Figura B.3: Schermata iPinClient relativa alla lettura del modello del dispositivo con cui si è stabilita la connessione

Poiché nella cartella *Firmware* ci saranno i file relativi a diversi modelli di dispositivi (e.g., iPin-Energy, iPinD), anzitutto ci si deve collegare al modulo iPin da aggiornare, con il bottone 'connect' come indicato precedentemente, e prender nota del modello del dispositivo con cui si è stabilita la connessione. Nell'interfaccia iPinClient il modello del dispositivo compare nel campo 'Device model' della sezione 'General settings' nella scheda 'General' (si veda la figura B.3).

Attualmente, il campo 'device model' può riportare codici identificati dalle stringhe 3100 o W5100 ed in questo caso il file da considerare della apposita cartella è quello marcato con 3100 o 5100 rispettivamente. Nel caso il campo non indicasse alcuna delle precedenti stringhe allora lo si dovrà considerare come 5100.

Noto il modello del dispositivo da aggiornare, si può accedere alla scheda 'Upgrade' di iPinClient dove, nella sezione 'Upload new firmware', si può far clic su 'Browse', accedere alla cartella *Firmware* e quindi scegliere il file corretto determinato con la 'Binary file to upload'. A questo punto si darà conferma alle finestre che compariranno, ignorando eventuali errori, ed infine si completerà la procedura rispondendo con il bottone 'Yes' all'ultima richiesta di conferma 'Launch'.

Al termine della procedura verrà comunicato l'esito dell'operazione sul bordo inferiore della finestra di iPinClient.

Appendice C

Programma di conversione .xml a .CSV

È possibile aver accesso in modo agevole alle informazioni del sistema monitorato salvate nel data-base di Pincushion servendosi dei file formato .xml composti dall'applicazione. Tali file sono scaricabili eseguendo le operazioni opportune dalla sezione 'Strumenti >Analisi Dati >Opzioni Salvate', come è descritto nella sezione A.5.

I file hanno un formato ben definito e le informazioni contenute sono organizzate come visualizzato in figura C.1.

```
1 <sch:applet print="Y" printLabel="Stampa" xmlns:sch="http://
  schema.hyphen.it">
2 <sch:graph label="Analisi dati dal 29/7/2010-00:00 al 29/7/2010-11:30"
  sublabel="" timeUnit="E d/M/yy HH:mm" type="xml" timeFormat="E d/M/yy
  HH:mm">
3 <sch:serie label="quadro ex Luxor - Potenza attiva trifase" mULabel="kW"
  mUType="kW" decDigit="0.##" type="xml" active="1">
4 <sch:point x="201007290000000000" y="0.4" label="0" />
  <sch:point x="20100729000102001" y="0.44" label="1" />
  :
  :
n-3 <sch:point x="20100729113000001" y="0.41" label="1297" />
n-2 </sch:serie>
n-1 </sch:graph>
n </sch:applet>
```

} Blocco dati

Figura C.1: Contenuto dei file .xml generati da Pincushion

Con una prima analisi del file si nota che le prime tre righe del codice contengono informazioni riguardanti l'origine e la descrizione del contenuto e del formato dei record, mentre le successive righe, fino alla numero n-3, sono proprio i record desiderati. Le ultime tre righe sono istruzioni che segnano il termine del file.

I record di interesse sono quindi le coppie del tipo (x, y) , che sono codificate nel modo seguente:

x="2010072900000000"	y="0.4"
Anno	Valore della
Mese	grandezza
Giorno	
Ore	
Minuti	
Secondi	
non informativo	
Sempre a zero,	

Il semplice programma proposto in questa appendice ha lo scopo di creare, a partire da un file del tipo .xml mostrato, un file di tipo .csv contenente i record nella forma

aaaa, mm, HH, MM, SS, y

In questo modo potrebbe risultare più comoda la lettura delle informazioni attraverso programmi di calcolo (e.g., MATLAB, impiegando l'istruzione specifica `cvsread('fileName')`).

Il programma completo, riportato nel listato C.1, esegue le operazioni:

- apertura del file .xml di ingresso—il nome del file può essere passato come primo argomento della riga di comando, altrimenti verrà chiesto esplicitamente all'inizio dell'esecuzione;
- creazione di un file .csv di uscita—il nome del file può essere passato come secondo argomento della riga di comando, altrimenti verrà chiesto esplicitamente all'inizio dell'esecuzione;
- salto delle prime tre righe del file di ingresso;
- lettura, riga per riga, di tutti i record del file di ingresso e scrittura nel file di uscita dell'informazione nella forma `aaaa, mm, HH, MM, SS, y`;
- chiusura dei file di ingresso e uscita.

Come risultato si otterrà un file .csv formato solamente da un record per riga nella forma `aaaa, mm, HH, MM, SS, y`.

Chiaramente, in uscita non sono presenti informazioni relative all'origine dei dati contenuti (i.e., a quale grandezza di quale quadro Pin-Energy fanno riferimento i dati). Un modo per compensare questo 'sconveniente' potrebbe essere una maggiore cura nell'attribuzione dei nomi ai file (a tale scopo si può far riferimento allo standard [1]).

Ulteriori dettagli del programma .xml→.csv sono riportati con i commenti del listato C.1.

Listing C.1: Codice del programma impiegato per la conversione dei file .xml di Pincushion verso file .csv

```

/**Programma per la conversione dei file .xml generati da
    Pincushion
in file .csv facilmente gestibili con MATLAB*/

#include <stdio.h>

int main(int argc, char *argv[]){

/*Definizione delle variabili*/
    char line[200]; /*buffer contenente la riga letta dal file di
        ingresso*/
    char write[200]; /*buffer contenente la riga da scrivere nel
        file di uscita*/
    int lineptr = 4+14; /*indice della posizione raggiunta nella
        riga acquisita del buffer line*/
    int writeptr = 5; /*indice della posizione raggiunta nella
        riga di uscita del buffer write*/
    int i;
    int dataNum = 0; /*contatore del numero di records*/
    char outputFileName[20]; /*stringa nome file di uscita*/

    FILE *inputFileptr; /*puntatore al file di ingresso*/
    FILE *outputFileptr; /*puntatore al file di uscita*/

    char * NamePtr = outputFileName; /*puntatore al primo
        carattere della stringa nome del file di uscita*/

/*Inizio elaborazione*/
    if(argc < 2){ /*Se non sono stati inseriti i nomi dei file di
        ingresso e uscita dalla riga di comando, allora...*/

        char inputFileName[20]; /*stringa nome del file di ingresso*/

        printf("\n Specificare il nome del FILE di INGRESSO: ");
        gets(inputFileName);
        inputFileptr = fopen(inputFileName, "r");

        printf("\n Specificare il nome del FILE di USCITA: ");
        gets(outputFileName);
        outputFileptr = fopen(outputFileName, "wb");

    }

    else{ /*altrimenti è stato specificato almeno il nome del file
        di ingresso*/

        inputFileptr = fopen(argv[1], "r"); /*apro il file di
            ingresso passato da riga di comando*/

        if(argc < 3){/*se non è stato specificato il nome del file di
            uscita, allora...*/
            printf("\n Specificare il nome del FILE di USCITA: ");
            gets(outputFileName);
            outputFileptr = fopen(outputFileName, "wb");
        }
    }
}

```

```

}

else{ /*altrimenti è stato specificato anche il nome del file
di uscita*/
outputFileptr = fopen( NamePtr = argv[2], "wb");
}
}

if(inputFileptr == NULL){ /*se si è verificato un errore nell'
apertura del file di ingresso*/
printf("\n-- ERROR -- Si %c verificato un errore nell'
apertura del file", -118);
return -1;
}

/*ignoro le prime tre righe del file di ingresso*/
for(i = 0; i < 3; i++)
fgets(line, 200, inputFileptr);

while(feof(inputFileptr) == 0){/*fino a che sono presenti
record da convertire*/

fgets(line, 200, inputFileptr); /*leggo nel buffer line una
riga del file di ingresso*/

if(strncmp(line, "</sch:serie>", 11) == 0) /*se la riga
acquisita non contiene ancora record esco dal ciclo*/
break;

dataNum++; /*incremento il contatore di record elaborati*/

if(dataNum != 1) /*se il presente non è il primo record da
scrivere in uscita allora pongo newline*/
fwrite("\n", 1, sizeof(char), outputFileptr);

/*copio nel buffer di uscita i caratteri rappresentanti l'
anno del record acquisito*/
for(i = 0; i < 4; i++)
write[i] = line[i+14];

write[i] = ','; /*csv*/
lineptr = 4+14; /*tengo conto d'aver copiato l'anno*/
writeptr = 5; /*imposto l'indice alla posizione successiva
all'ultima virgola inserita*/

/*copio in write il mese, il giorno, l'ora, il minuto e il
secondo (tutti dati a due cifre)*/
for(i = 0; i < 5; i++){

write[writeptr] = line[lineptr]; /*copio decine*/
write[writeptr+1] = line[lineptr+1]; /*copio unità*/
write[writeptr+2] = ','; /*csv*/
lineptr = lineptr + 2; /*aggiorno l'indice del buffer di
ingresso (copiato 2 caratteri)*/
writeptr = writeptr + 3; /*aggiorno l'indice del buffer di
uscita (scritto 2 caratteri più la virgola)*/
}
}

```

```
    }

    fwrite(write, 20, sizeof(char), outputFileptr); /*scrivo nel
        file di uscita il buffer write completo*/

    char count = 36; /*indice contenente la posizione della cifra
        più significativa del valore in ordinata del record in
        ingresso*/
    char read = line[count]; /*copia della cifra più
        significativa nella variabile di controllo read*/

    while(read != '\0'){/*fino a che l'indice non punta al
        carattere di delimitazione dei valori numerici*/

        fwrite(line+count, 1, sizeof(char), outputFileptr); /*copia
            il carattere indicato nel file di uscita*/
        count++; /*aggiorno l'indice per puntare al carattere
            successivo*/
        read = line[count]; /*lettura del prossimo potenziale
            carattere da copiare nel file di uscita*/

    }

}

printf("\n\nStampa ultima linea %s", line); /*istruzione di
    controllo che stampa l'ultima linea acquisita*/

if( fclose(inputFileptr) == EOF || fclose(outputFileptr) == EOF
    ) /*chiusura file di uscita e di ingresso*/
    printf("\n-- ERROR -- Le operazioni non sono andate a buon
        fine");/*segnalazione al verificarsi di errori */
else
    printf("\nFile '%s' %c stato generato con successo\n\
        nNumero di elementi scritti %d\n\n", NamePtr, -118,
        dataNum);

return 0;

} //fine file .c
```

Bibliografia

- [1] “IEEE Recommended Practice for Naming Time Sequence Data Files,” *IEEE Std C37.232-2007*, pp. C1 –15, aug. 2007.
- [2] AlertMe. (2010) Alertme website. [Online]. Available: <http://www.alertme.com/>
- [3] D. Boroyevich, I. Cvetković, D. Dong, R. Burgos, F. Wang, and F. Lee, “Future Electronic Power Distribution Systems – A contemplative view –,” may. 2010, pp. 1369 –1380.
- [4] T.-S. Choi, K.-R. Ko, S.-C. Park, Y.-S. Jang, Y.-T. Yoon, and S.-K. Im, “Analysis of Energy Savings using Smart Metering System and IHD (in-home display),” oct. 2009, pp. 1 –4.
- [5] ENEL. Italian Smart Grid Forum. Roma, 25/03/2010 - Palazzo Rospigliosi. [Online]. Available: http://www.enel.it/it-IT/eventi_news/news/2010/smartgridforum/gallo.aspx
- [6] “Power Choices—Pathways to Carbon-Neutral Electricity in Europe by 2050,” Euroelectric, November 2009. [Online]. Available: <http://www.euroelectric.org/PublicDoc.asp?ID=63875>
- [7] “European Parliament seals climate change package,” European Parliament, December 2008. [Online]. Available: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?type=IM-PRESS&reference=20081216IPR44857&language=EN>
- [8] Google. (2010) Google powermeter. [Online]. Available: <http://www.google.com/powermeter/about/>
- [9] H. A. He and S. Greenberg, “Motivating Sustainable Energy Consumption in the Home,” Department of Computer Science, University of Calgary, Tech. Rep. 2008-914-27, September 2009. [Online]. Available: <http://grouplab.cpsc.ucalgary.ca/grouplab/uploads/Publications/Publications/2009-MotivatingSustainability.CHIWorkshop.pdf>
- [10] *15 Series moduled case current transformers*, HOBUT. [Online]. Available: <http://www.hobut.co.uk/15series.pdf>
- [11] IEEE. (2010) IEEE Smart Grid. [Online]. Available: <http://smartgrid.ieee.org/>
- [12] *Nemo D4-L (NT604)*, IME, 04-2010. [Online]. Available: <http://www.imeitaly.com/docs/NT604.pdf>

- [13] *Nemo D4-L (NT604)*, IME, 04-2010. [Online]. Available: <http://www.imeitaly.com/docs/10780855.pdf>
- [14] *TAI233, trasformatore di misura per reti a bassa tensione (NT521)*, IME, 10-2009. [Online]. Available: <http://www.imeitaly.com/docs/NT521.pdf>
- [15] Intel. (2010) Intel® intelligent home energy management proof of concept. [Online]. Available: <http://www.intel.com/embedded/energy/homeenergy/>
- [16] Microsoft. (2010) Microsoft hohm. [Online]. Available: <http://www.microsoft-hohm.com/>
- [17] B. Obama, “DeSoto Next Generation Solar Energy Center Arcadia, Florida,” Oct. 27, 2009. [Online]. Available: <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/remarks-president-recovery-act-funding-smart-grid-technology>
- [18] *16452, Trasformatore di corrente TI 75/5 A - Per cavo Ø 21 mm*, Schneider, 2010. [Online]. Available: http://www.ops-ecat.schneider-electric.com/cut.CatalogueRetrieverServlet/CatalogueRetrieverServlet?fct=get_element&env=publish&scp_id=Z013&lc=it&el.typ=product&cat_id=BU_POW_950.L1.Z013&maj_v=1&min_v=3&nod_id=0000000002&prd_id=16452&frm=pdf&pdf_frm=A4
- [19] *16468, Trasformatore di corrente TI 250/5 A - Per barra dritta 40 x 10 mm*, Schneider, 2010. [Online]. Available: http://www.ops-ecat.schneider-electric.com/cut.CatalogueRetrieverServlet/CatalogueRetrieverServlet?fct=get_element&env=publish&scp_id=Z013&lc=it&el.typ=product&cat_id=BU_POW_950.L1.Z013&maj_v=1&min_v=3&nod_id=0000000002&prd_id=16468&frm=pdf&pdf_frm=A4
- [20] *16479, Trasformatore di corrente TI 400/5 A - Per barra Lignery 800 x 1600 A*, Schneider, 2010. [Online]. Available: http://www.ops-ecat.schneider-electric.com/cut.CatalogueRetrieverServlet/CatalogueRetrieverServlet?fct=get_element&env=publish&scp_id=Z013&lc=it&el.typ=product&cat_id=BU_POW_950.L1.Z013&maj_v=1&min_v=3&nod_id=0000000002&prd_id=16479&frm=pdf&pdf_frm=A4
- [21] *16500, Trasformatore di corrente TI 40/5 A - Per cavo Ø 21 mm*, Schneider, 2010. [Online]. Available: http://www.ops-ecat.schneider-electric.com/cut.CatalogueRetrieverServlet/CatalogueRetrieverServlet?fct=get_element&env=publish&scp_id=Z013&lc=it&el.typ=product&cat_id=BU_POW_950.L1.Z013&maj_v=1&min_v=3&nod_id=0000000002&prd_id=16500&frm=pdf&pdf_frm=A4
- [22] G. K. Venayagamoorthy, “Potentials and promises of computational intelligence for smart grids,” jul. 2009, pp. 1–6.
- [23] Xcel Energy. (2010) SmartGridCity. [Online]. Available: <http://smartgridcity.xcelenergy.com/>

Ringraziamenti

Vorrei ringraziare mamma e papà per avermi sempre sostenuto e incoraggiato nel percorso di studi e per la flessibilità d'organizzazione concessami, il prof. Paolo Tenti per la disponibilità e l'attenzione con cui mi ha seguito e per avermi proposto un interessante lavoro di tesi, il dott. Marco Stellini per avermi dato la possibilità di assistere alle varie fasi della realizzazione dell'architettura di monitoraggio, per avermi spiegato come migliorare il lavoro di tesi e per aver stimolato idee e iniziative, l'ing. Marco Filippi per l'indispensabile aiuto nel gestire e capire alcuni degli aspetti informatici e per l'interesse verso quanto realizzato, l'ing. Federico Beccaro per le preziose informazioni in merito agli impianti dei Dipartimenti.