



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia  
e lo sviluppo economico sostenibile



*Ministero dello Sviluppo Economico*

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

## Gestione energetica di un'abitazione mediante accumulo di energia elettrica e termica

*S. Barsali, R. Giglioli, D. Poli*



*Università di Pisa - DESE*

Report RdS/2012/251

GESTIONE ENERGETICA DI UN'ABITAZIONE MEDIANTE ACCUMULO DI ENERGIA ELETTRICA E TERMICA.  
S. Barsali, R. Giglioli, D. Poli (Università di Pisa, DESE)

Settembre 2012

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Area: Governo, gestione e sviluppo del sistema elettrico nazionale

Progetto: Sistemi avanzati di accumulo di energia

Responsabile del Progetto: Mario Conte, ENEA

Esprimiamo un particolare ringraziamento all'Ing. Giuseppe Rinaldi, al Sig. Fabio Bonsignori e al Sig. Alessio Bechini per il contributo apportato nella fase di misura e sperimentazione

## Indice

|                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Sommario.....</b>                                                              | <b>4</b>  |
| <i>Introduzione .....</i>                                                         | <i>5</i>  |
| Sistemi di controllo degli inverter interfacciati con la rete.....                | 5         |
| Inverter a controllo di corrente .....                                            | 5         |
| Inverter a controllo di tensione .....                                            | 5         |
| Sistemi a commutazione naturale .....                                             | 6         |
| Dispositivi di accumulo in bassa tensione installati su utenze domestiche.....    | 7         |
| <b>Scelta del sito e descrizione della campagna di misure .....</b>               | <b>7</b>  |
| <i>Analisi della campagna di misure:.....</i>                                     | <i>9</i>  |
| <i>Elaborazioni dei dati per il dimensionamento dei sistemi di accumulo .....</i> | <i>17</i> |
| <i>Modello semplificato delle cumulate .....</i>                                  | <i>21</i> |
| <i>Logica di gestione e criterio di dimensionamento dell'accumulo.....</i>        | <i>23</i> |
| <i>Conclusioni. ....</i>                                                          | <i>29</i> |
| <b>Appendice: dati tecnici dispositivi UPS e PLC. ....</b>                        | <b>30</b> |

## Sommario

E' presentata l'analisi e la modellazione del carico di un'abitazione civile, base per il dimensionamento di un sistema di accumulo elettrico e termico.

La gestione dei due sistemi di accumulo permette di contenere il profilo del carico dell'utenza su valori ridotti della potenza richiesta dalla rete, con beneficio economico dell'utenza, che può accedere ad un contratto meno oneroso (chiede meno potenza), e del gestore di rete che può evitare il raddoppio delle linee di distribuzione con il sopravvenire di nuove utenze.

E' presentata una soluzione particolare tesa a semplificare l'impianto ed a ridurre i costi di acquisto. La soluzione è stata realizzata presso un'utenza domestica ed è attualmente in esercizio.

## Introduzione

### Sistemi di controllo degli inverter interfacciati con la rete

Gli attuali sistemi di controllo degli inverter sono suddivisibili fondamentalmente in due tipologie, quelli idonei al funzionamento in isola su una rete passiva e quelli idonei al funzionamento su una rete attiva. Difficilmente si incontrano soluzioni che consentano, non tanto la compresenza dei due sistemi di controllo, quanto il passaggio automatico da una configurazione all'altra.

Dal punto di vista della implementazione delle logiche di controllo gli inverter possono essere suddivisi in inverter a controllo di corrente o a controllo di tensione.

### Inverter a controllo di corrente

I sistemi con controllo in corrente definiscono le sequenze di accensione delle valvole che costituiscono il ponte, con l'obiettivo di imporre una determinata corrente, in modulo e fase, rispetto alla tensione della rete. Questo tipo di sistema di controllo rende i convertitori particolarmente robusti in relazione ai disturbi della rete, guasti o richiuse erranee; infatti essi riescono ad erogare la corrente desiderata, entro certi limiti, a prescindere dal valore della tensione di rete.

Tuttavia, per loro concezione, tali sistemi funzionano correttamente solo in presenza di una sorgente di tensione esterna, cioè la rete, e si arrestano, non appena tale riferimento viene perduto. Nell'eventualità di una separazione dell'inverter dalla rete, anche nell'ipotesi che il valore del carico che rimane connesso all'inverter fosse molto prossimo a quello imposto dal sistema di controllo, l'inverter andrebbe ad inseguire se stesso raggiungendo in tempi molto rapidi valori di frequenza inaccettabili. Se poi il carico residuo si discostasse anche di poco dal valore imposto, la tensione sulla rete (prodotto della corrente immessa per l'ammettenza equivalente) sarebbe immediatamente inaccettabile. Tale sistema è comunque impiegabile in tutti gli impianti dedicati alla rete che non richiedano l'alimentazione di una rete isolata o di carichi privilegiati.

Oltre al notevole pregio di presentare una robustezza intrinseca a perturbazioni di rete (entro certi limiti) consente anche la realizzazione di sistemi con ridotte esigenze in termini di filtraggio, in quanto il controllo può essere affinato sulla forma d'onda della corrente. Inoltre l'impedenza di connessione tra inverter e rete può essere ridotta al minimo, consentendo la realizzazione di sistemi molto economici.

Quando questi inverter interfacciano impianti di produzione, il valore della corrente (in modulo e fase) viene definito in modo da imporre i valori di potenza attiva e reattiva desiderati. Spesso si ricorre ad un funzionamento con fattore di potenza unitario, ovvero corrente in fase con la tensione.

Nell'ipotesi, ancora, che l'impianto, connesso a una rete di distribuzione, non debba "rialimentare" la rete in caso di formazione di isole o comunque di separazione dalla rete stessa, questo tipo di controllo garantisce intrinsecamente l'arresto del sistema di controllo per allontanamento dai parametri nominali di rete (tensione e frequenza).

### Inverter a controllo di tensione

Gli inverter con controllo di tensione, realizzabili con diverse strategie di definizione della sequenza di impulso delle valvole, tra cui PWM, possono essere ricondotti ad uno schema equivalente alla frequenza della fondamentale come riportato in *Figura 1*

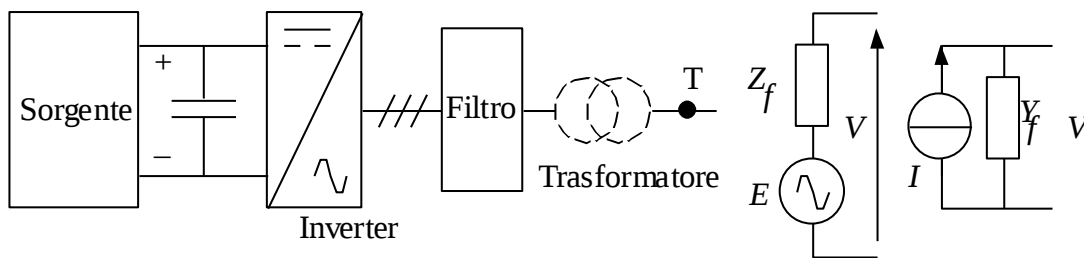


Figura 1 Schema equivalente e circuito equivalente alla fondamentale di una sorgente interfacciata con inverter.

Tale controllo si presta sia al funzionamento in parallelo ad una rete attiva che su una rete passiva, agendo opportunamente su modulo e fase della tensione fondamentale generata dal ponte di conversione. Le due metodologie sono dette normalmente controllo PQ e controllo a V costante. Nel primo caso il modulo e la fase della tensione prodotta dall'inverter viene definito in modo da dar luogo ad un flusso di potenza attiva e reattiva che risulta definito dalle equazioni del doppio bipolo costituito dall'impedenza equivalente dei filtri e del trasformatore (se presente). Nel secondo caso la forza elettromotrice  $E$ , prodotta dall'inverter, viene mantenuta costante in modulo e con fase fissa rispetto ad un riferimento assoluto alla frequenza nominale, ovvero viene imposta una frequenza costante.

Ne risulta che, per poter passare da una condizione all'altra, è necessario che venga identificato il cambiamento di configurazione e venga conseguentemente modificato il loop di controllo attivo. Infatti imporre i valori di  $P$  e  $Q$  su una rete isolata porterebbe a valori di tensione inaccettabili. Del resto verrebbe anche a mancare il riferimento di tensione rispetto al quale definire lo sfasamento. La tensione  $V$  sarebbe infatti conseguenza della forza elettromotrice  $E$  ed il sistema di controllo inseguirebbe se stesso. Dall'altro, lato imporre una tensione costante in modulo e frequenza in presenza di una rete significherebbe avere flussi di potenza incontrollati ed uno scorrimento continuo della  $E$  rispetto alla  $V$ .

Nel caso poi in cui siano presenti più inverter funzionanti in parallelo su una rete isolata, risulta necessario che uno di essi agisca da riferimento per gli altri operando a tensione e frequenza costante, mentre gli altri operano a potenza imposta, agganciandosi al riferimento definito dal primo inverter. Questo, a sua volta, è chiamato ad accollarsi tutte le variazioni del carico presente sulla rete mentre gli altri continuano a mantenere invariata la potenza di lavoro.

È quindi necessario un coordinamento dei vari inverter presenti attraverso un sistema di supervisione a cui deve essere noto lo stato di tutte le macchine, e che deve essere in grado di agire su ciascuna di esse.

Ciò risulta particolarmente oneroso quando il sistema risulti dall'evoluzione di una rete a cui sono state progressivamente collegate sorgenti diverse.

Gli inverter a controllo di tensione infine richiedono la presenza di una impedenza equivalente di connessione tra il ponte e la rete sufficientemente elevata in modo da poter avere uno sfasamento adeguato tra le due tensioni. Tale impedenza costituisce anche il ramo induttivo del sistema di filtraggio che invece, con opportuna scelta del controllo, può essere praticamente omesso negli inverter a controllo di corrente.

Anche in questo caso, se l'impianto non deve "rialimentare" la rete, è sufficiente mantenere il controllo in modalità PQ per cui, per raggiunti limiti di tensione e/o frequenza il sistema si spegne non appena la rete si separa.

In entrambi i casi, in particolare in presenza di macchine rotanti, anche funzionanti da motore, il cui assorbimento è molto sensibile a tensione e frequenza, esiste comunque la remota probabilità che, il sistema possa trovare un punto di equilibrio con valori di tensione e frequenza prossimi a quelli nominali.

### Sistemi a commutazione naturale

Esiste infine la possibilità che i sistemi con inverter vengano realizzati con sistemi a commutazione naturale i quali, pur potendo erogare in rete potenza attiva, richiedono sempre la fornitura di reattivo dalla rete e della rete stessa per commutare le valvole. In questo caso appena la rete viene meno, il dispositivo si

disattiva. Solo in presenza di forze elettromotrici esterne capaci di erogare il reattivo necessario, sarebbe possibile un mantenimento del funzionamento anche su un'isola.

#### Dispositivi di accumulo in bassa tensione installati su utenze domestiche.

Per quanto indicato in precedenza, nel caso di utenze domestiche passive, utilizzare un dispositivo inverter-accumulo in derivazione sull'alimentazione comporterebbe l'alimentazione della rete a monte in caso di mancanza di tensione, quindi con aspetti di sicurezza e di capability del dispositivo. In generale questi aspetti si risolvono installando un'opportuna interaccia sull'alimentazione di rete che impedisce la rialimentazione della rete monte.

Nel caso di piccole utenze il costo dell'interfaccia può essere elevato rispetto al valore del dispositivo di accumulo rendendo scarsamente impiegabile la soluzione per eccessivo costo e complicazione.

Sulla base delle considerazioni di cui sopra si è ritenuto più utile sviluppare una soluzione con un sistema tipo micro UPS che non presenta l'inconveniente di erogare in rete in mancanza di tensione di alimentazione e che presenta un costo molto ridotto.

## Scelta del sito e descrizione della campagna di misure

Al fine di poter sperimentare sul campo le logiche di gestione messe a punto, è stato scelto un sito dove poter installare tutti i dispositivi necessari all'attività.

Il sito scelto è la casa del guardiano dei laboratori dell'Università di Pisa nella sede di San Piero a Grado (PI).

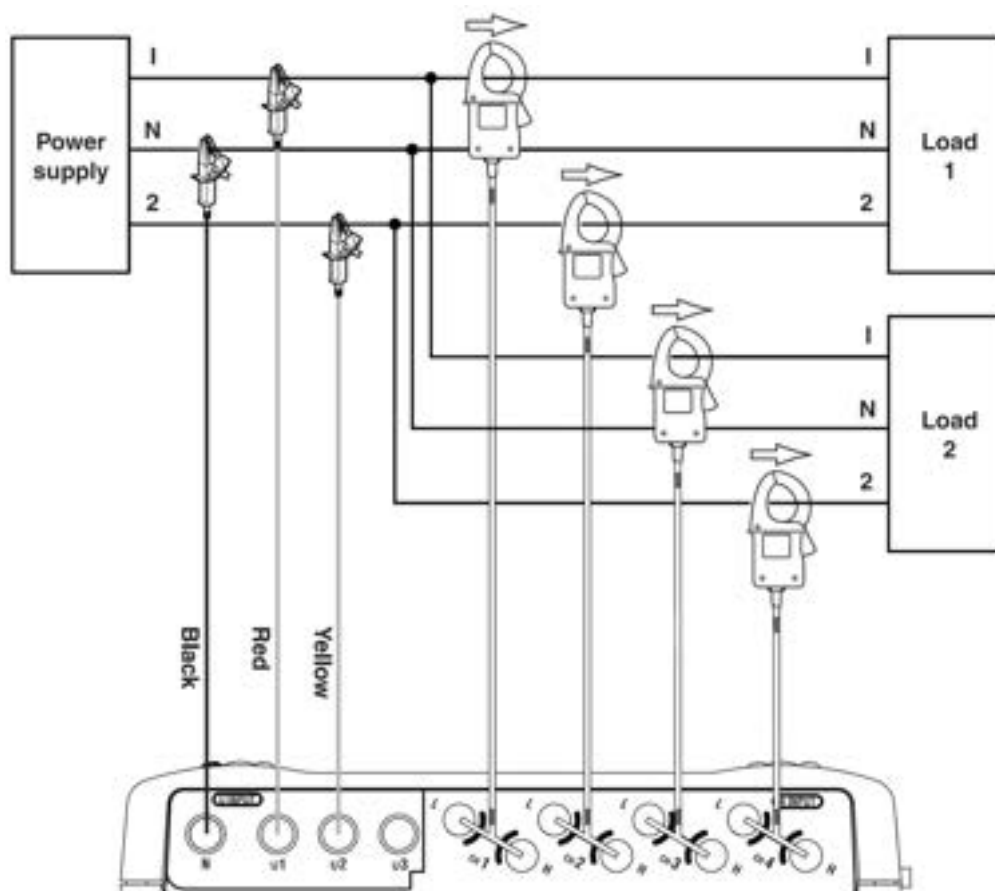


**Figura 2.** Posizione dei laboratori dell'Università di Pisa a San Piero a Grado.



**Figura 3.** Inserire foto casa.

Per dimensionare i componenti del sistema di accumulo è stata svolta una campagna di misure sul sito divisa in due fasi che verranno descritte in seguito. La sezione di misura corrisponde al punto immediatamente a valle dei dispositivi di protezione delle due linee elettriche che dal quadro generale dei laboratori alimentano la casa del guardiano: linea luce guardiano e linea forza motrice (F.M.) guardiano. Di seguito è riportato lo schema di collegamento delle sonde dello strumento.



**Figura 4.** Schema di collegamento delle sonde.

La campagna di misure è stata divisa in due parti per verificare rispettivamente, l'entità della potenza assorbita dall'utenza in esame e la qualità dei vettori tensione e corrente entranti nell'appartamento.

La prima fase delle misure si è svolta dalla mattina del 17/07/2012 alla mattina del 25/07/2012.

Le grandezze misurate per ogni carico sono state: potenza attiva, potenza reattiva, potenza apparente, fattore di potenza, tensione, corrente.

Sono state ricavate inoltre le forme d'onda e le armoniche fino al 49-esimo ordine di tensione e corrente per ogni carico.

### *Analisi della campagna di misure:*

Di seguito si riportano i diagrammi di carico giornalieri per entrambe le linee:

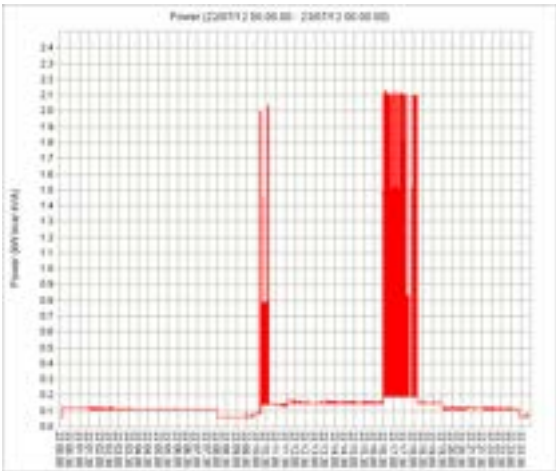
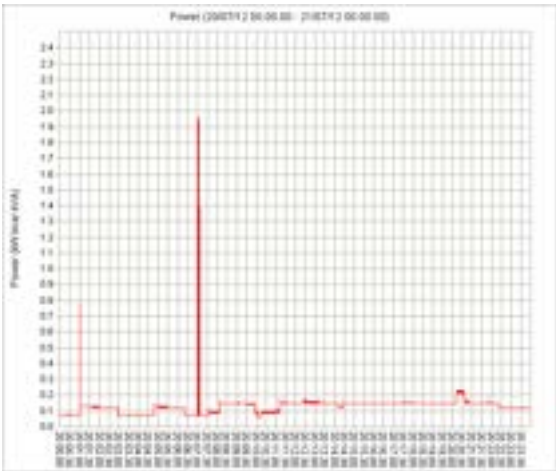
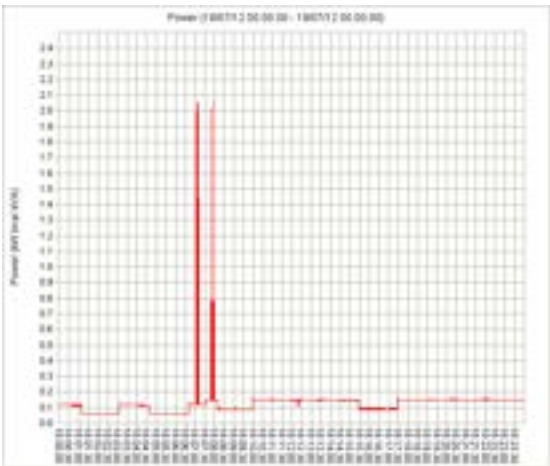
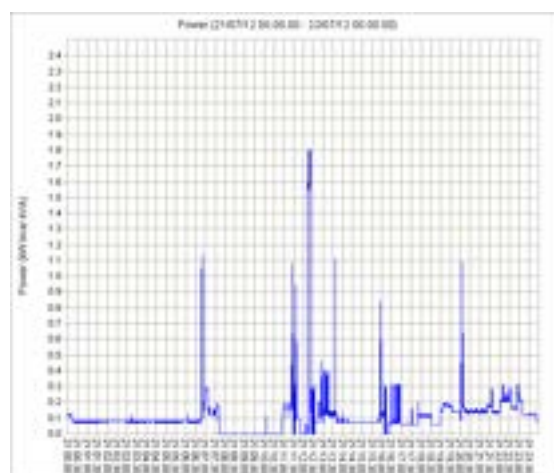
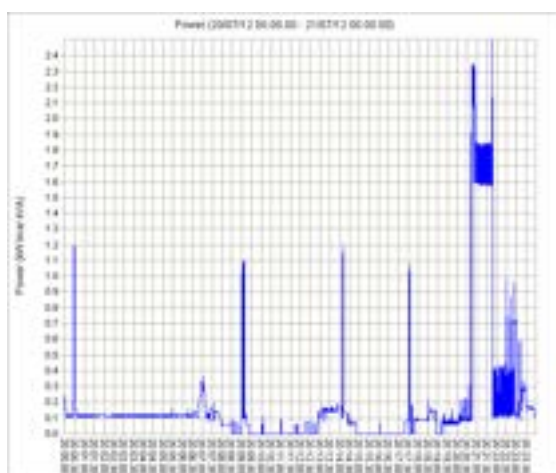
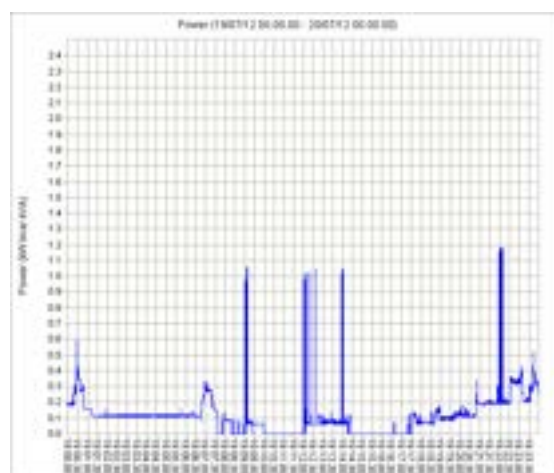
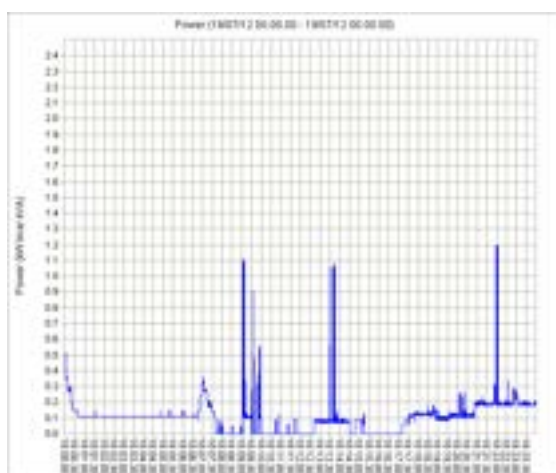
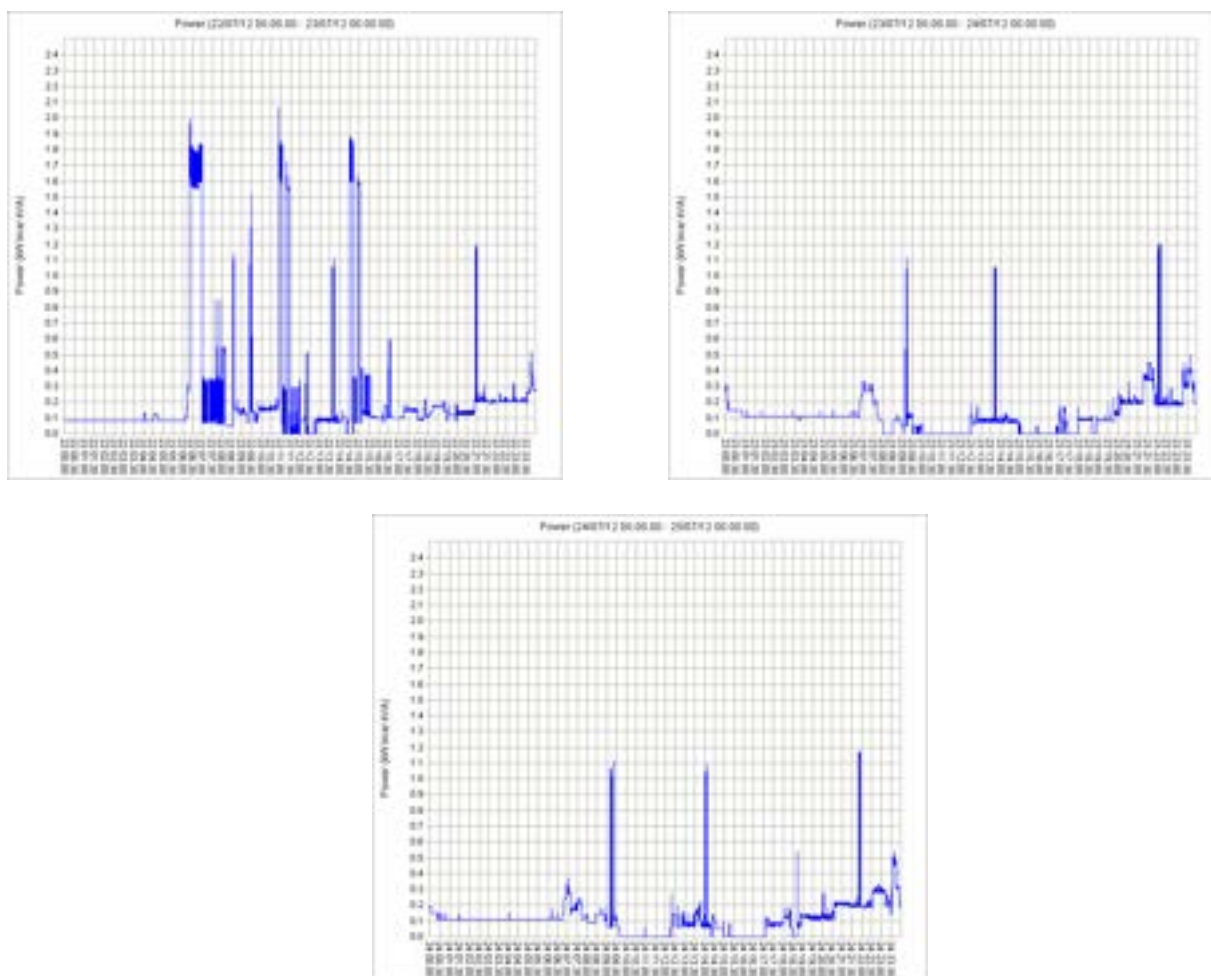




Figura 5. Linea F.M. custode da Mercoledì 18/07/2012 a Martedì 24/07/2012.





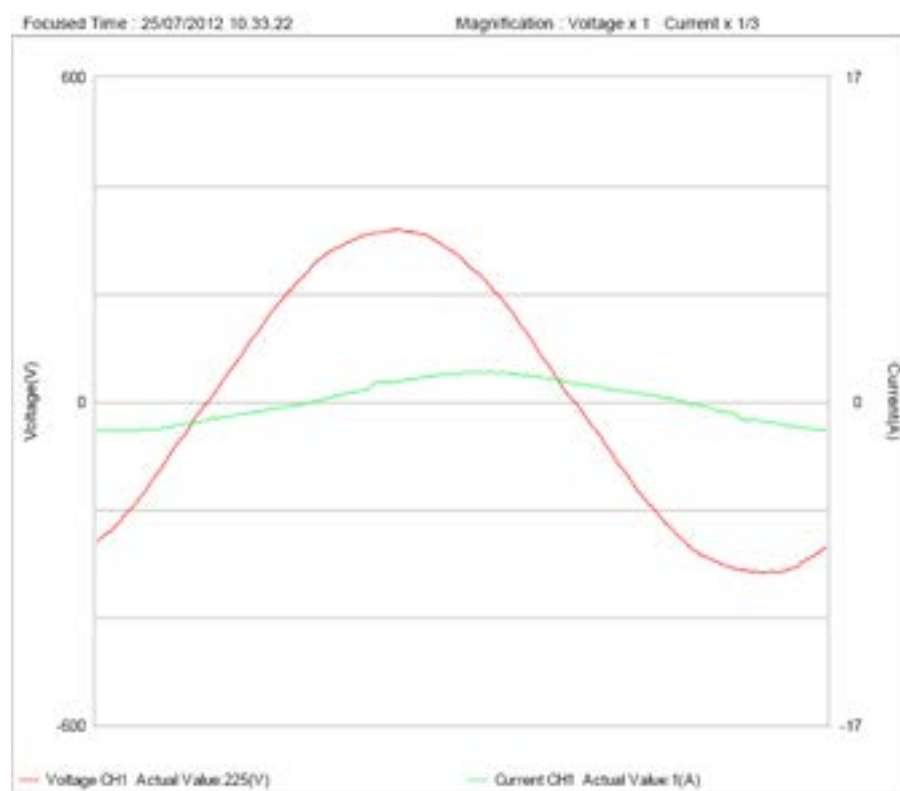
**Figura 6.** Linea Luce custode da Mercoledì 18/07/2012 a Martedì 24/07/2012 .

Di seguito si riportano le forme d'onda delle tensioni delle due linee per un minuto di misurazione:



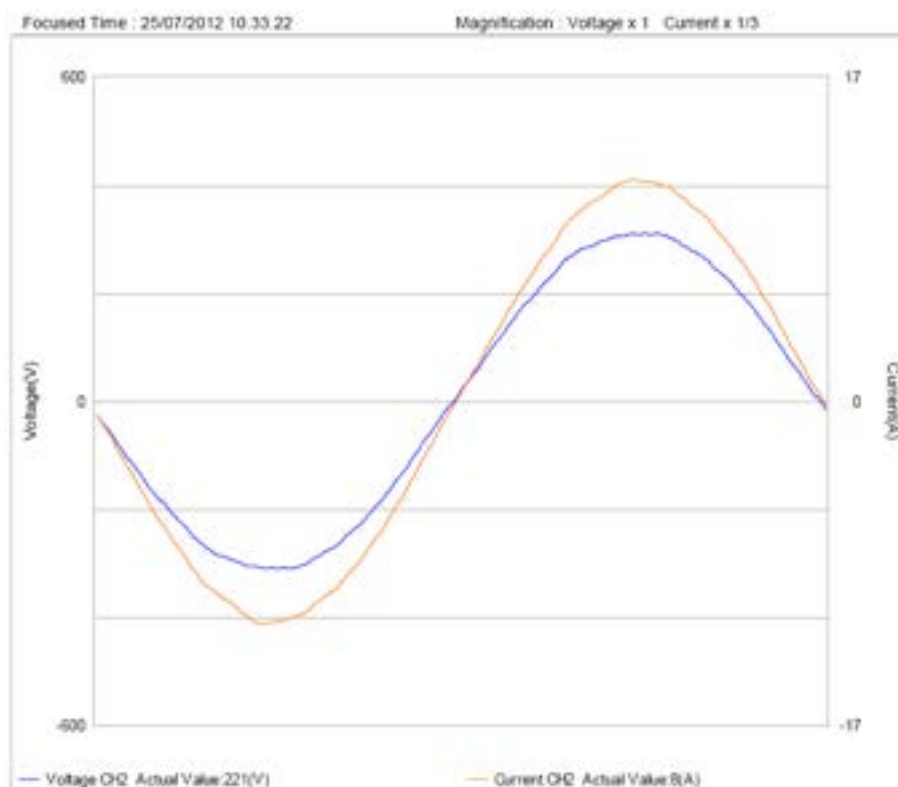
**Figura 7.** Forma d'onda della tensione linea Luce custode e linea F.M. custode.

Le tensioni risultano perfettamente sinusoidali e sfasate di  $120^\circ$  per tutta la campagna di misure.



**Figura 8.** Forma d'onda di tensione e corrente linea F.M. custode.

Il carico presenta una corrente sinusoidale (in verde) sfasata rispetto alla tensione (in rosso). Questo indica un assorbimento di potenza reattiva dei carichi più piccoli.  
Analogamente si analizza la linea Luce custode:



**Figura 9.** Forma d'onda di tensione e corrente linea Luce custode.

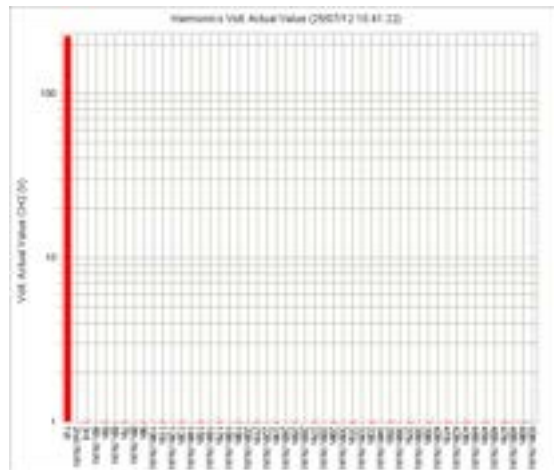
In questo caso la tensione (in blu) e la corrente (in arancio) sono perfettamente in fase. Questo è un dato prevedibile, in quanto l'impianto di illuminazione dell'abitazione non presenta carichi reattivi rilevanti. Osservando le forme d'onda si capisce che i carichi distortanti sono assenti o ininfluenti nei confronti della qualità dell'alimentazione. Questo è dimostrato anche dall'analisi spettrale in frequenza delle tensioni e delle correnti in esame.

Lo spettro della tensione della linea F.M. custode risulta privo di armoniche oltre la fondamentale:



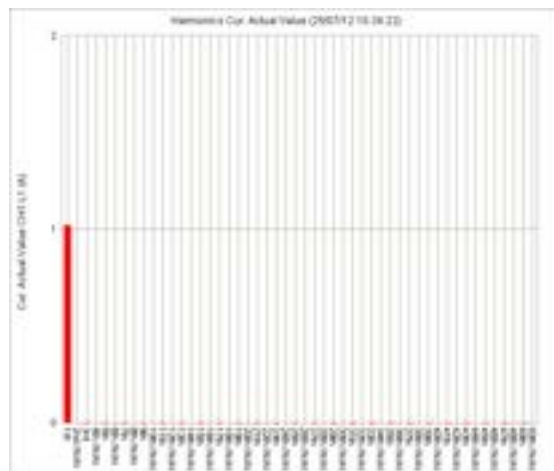
**Figura 10.** Spettro di tensione linea F.M. custode.

Lo stesso vale per lo spettro della tensione della linea Luce custode:



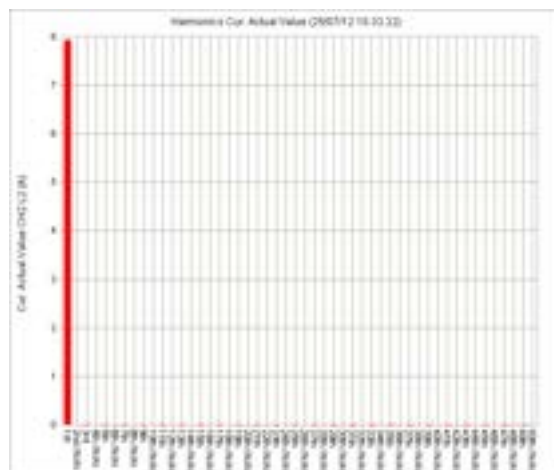
**Figura 11.** Spettro di tensione linea Luce custode.

Anche la corrente della linea F.M. custode risulta priva di anomalie, il che indica che gli azionamenti sono privi di sistemi di regolazione:



**Figura 12.** Spettro di corrente linea F.M. custode.

Anche, lo spettro della corrente della linea Luce custode risulta costituito solo dalla componente fondamentale.



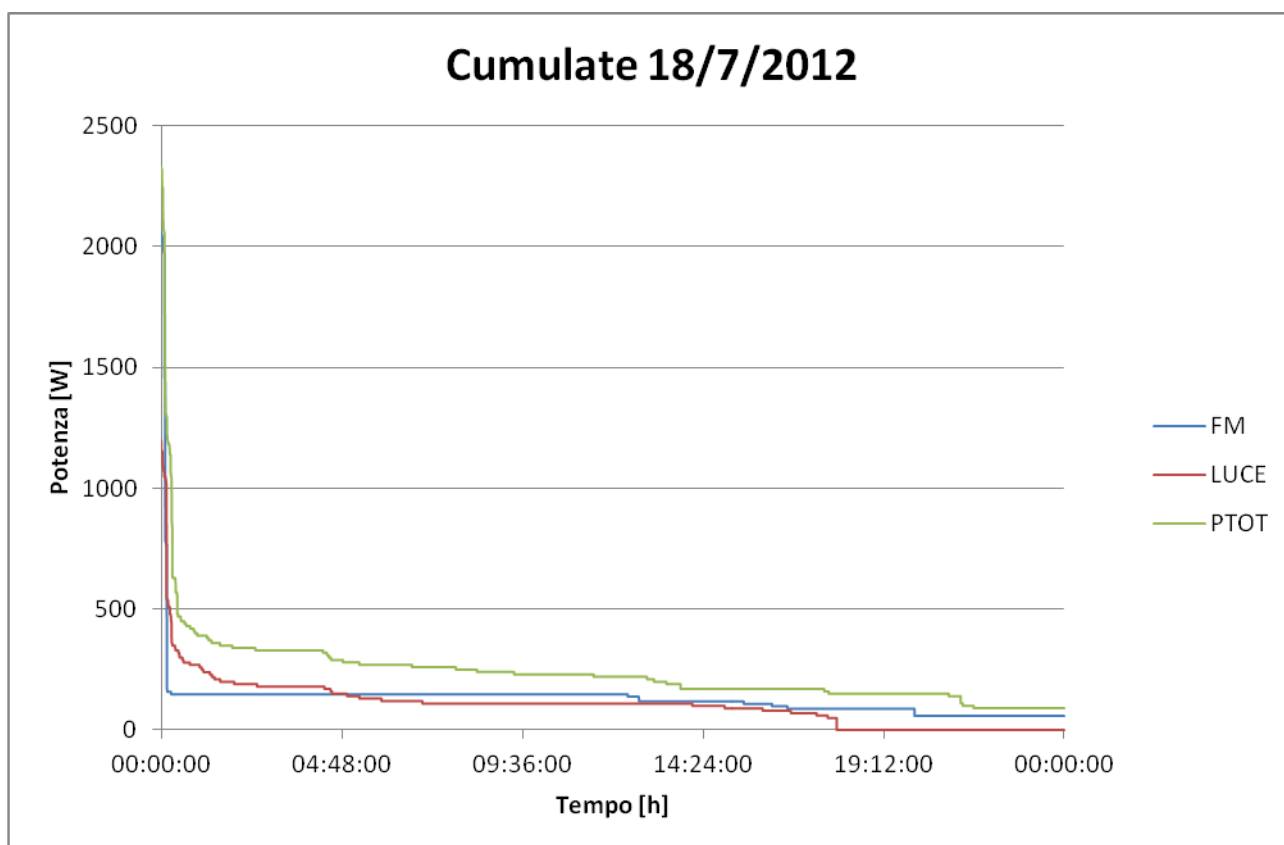
**Figura 13.** Spettro di corrente linea Luce custode.

### *Elaborazioni dei dati per il dimensionamento dei sistemi di accumulo*

Il dimensionamento della capacità dell'accumulo elettrico è sviluppato in funzione delle cumulate di potenza del carico che dovrà alimentare. Sono stati quindi costruiti i diagrammi di durata del carico della linea Luce custode, della linea F.M. custode e dell'appartamento inteso nel suo complesso.

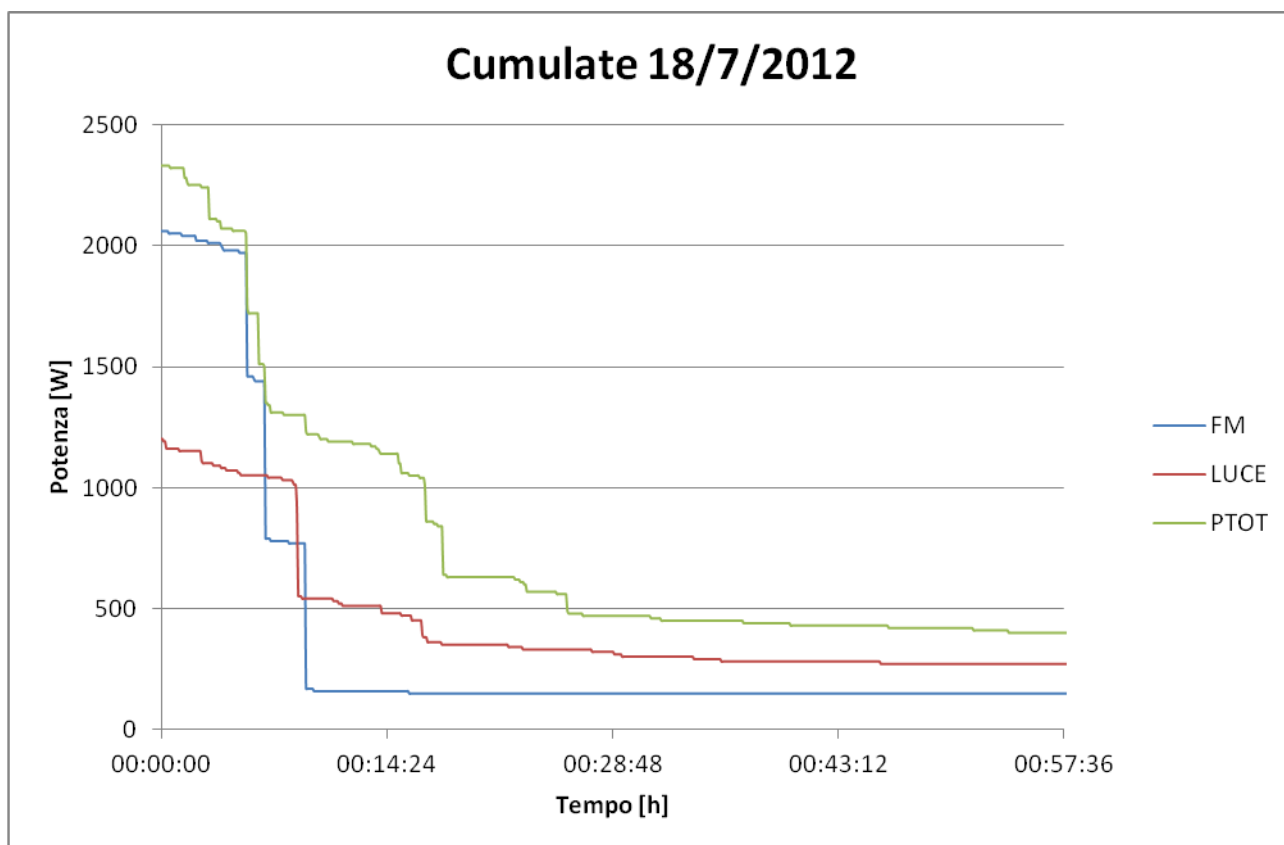
Dai grafici si evince che l'andamento è di tipo esponenziale con pendenza molto ripida.

Anche la potenza totale (in verde), ottenuta come somma degli assorbimenti contemporanei nelle due linee, presenta un diagramma di durata del carico con derivata molto alta.



**Figura 14.** Cumulate di potenza riferite al 18/07/2012.

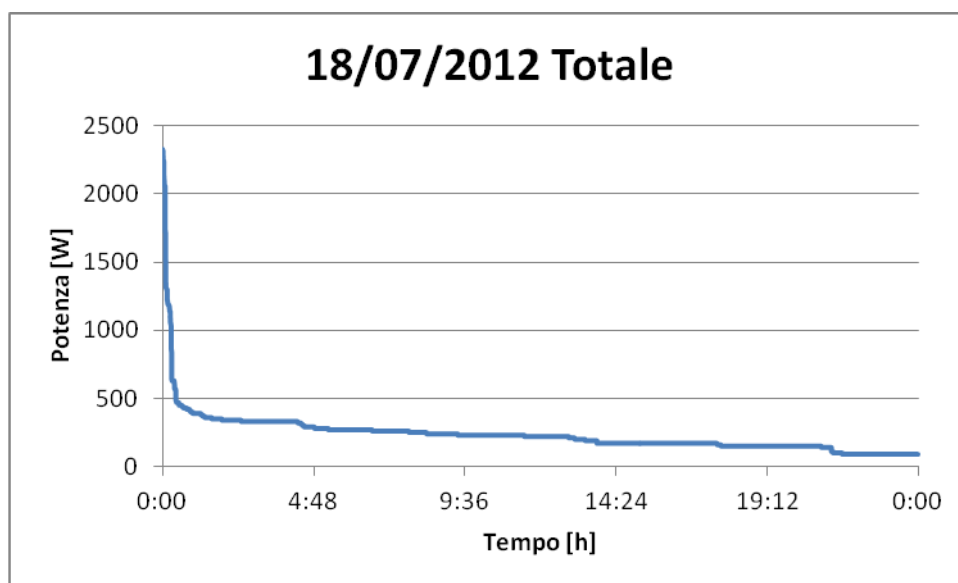
Osservando in dettaglio la prima ora, si vede come la maggior parte dell'assorbimento di potenza avviene per pochi minuti in entrambe le utenze.



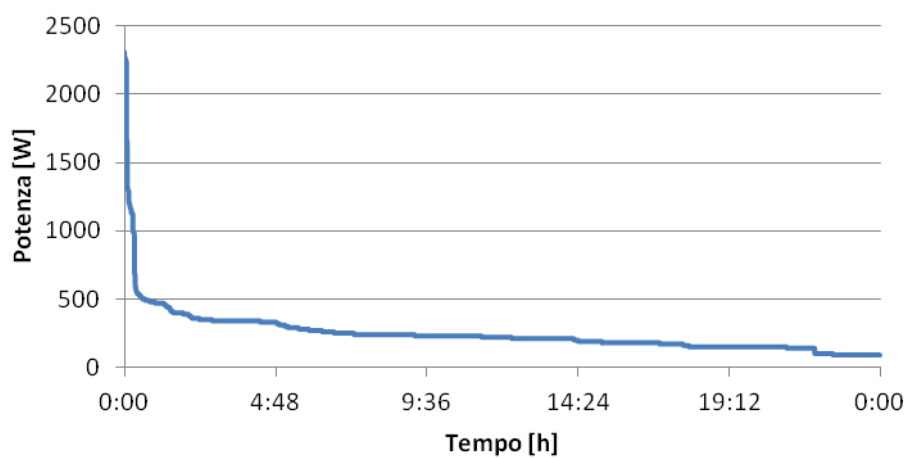
**Figura 15.** Prime ore della cumulata di potenza riferite al 18/07/2012.

Durante la prima parte della campagna di misure gli unici due giorni in cui un considerevole assorbimento di potenza si è protratto per più di un quarto d'ora, sono Venerdì 20 e Domenica 22. Questo può essere giustificato analizzando il tipo di nucleo familiare, due persone in questo caso, e le abitudini sociali dei residenti.

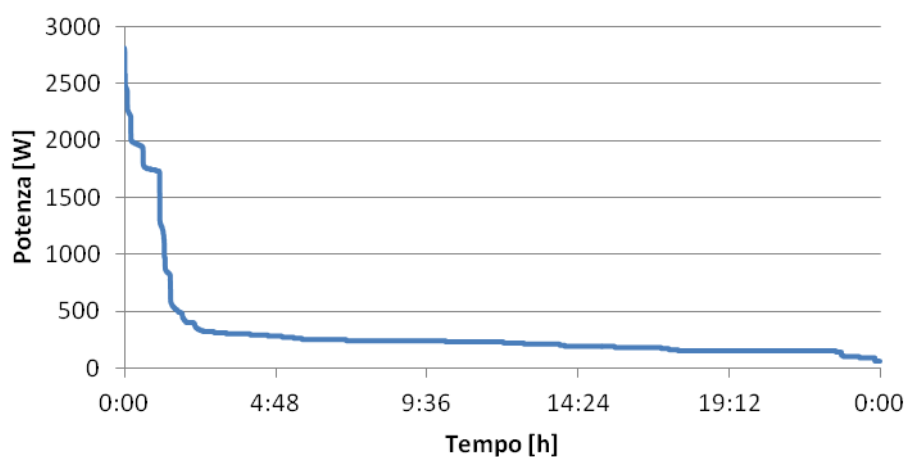
Di seguito vengono riportate le cumulate del carico totale per tutti i giorni della campagna di misure:



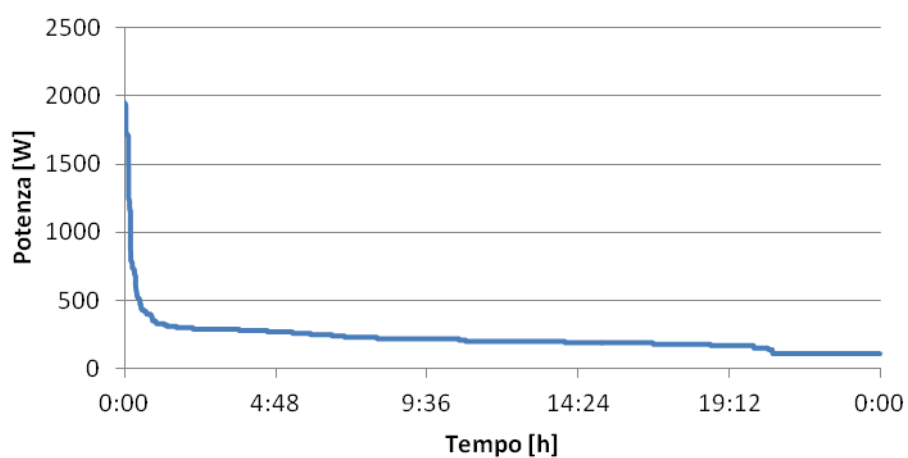
### 19/07/2012 Totale

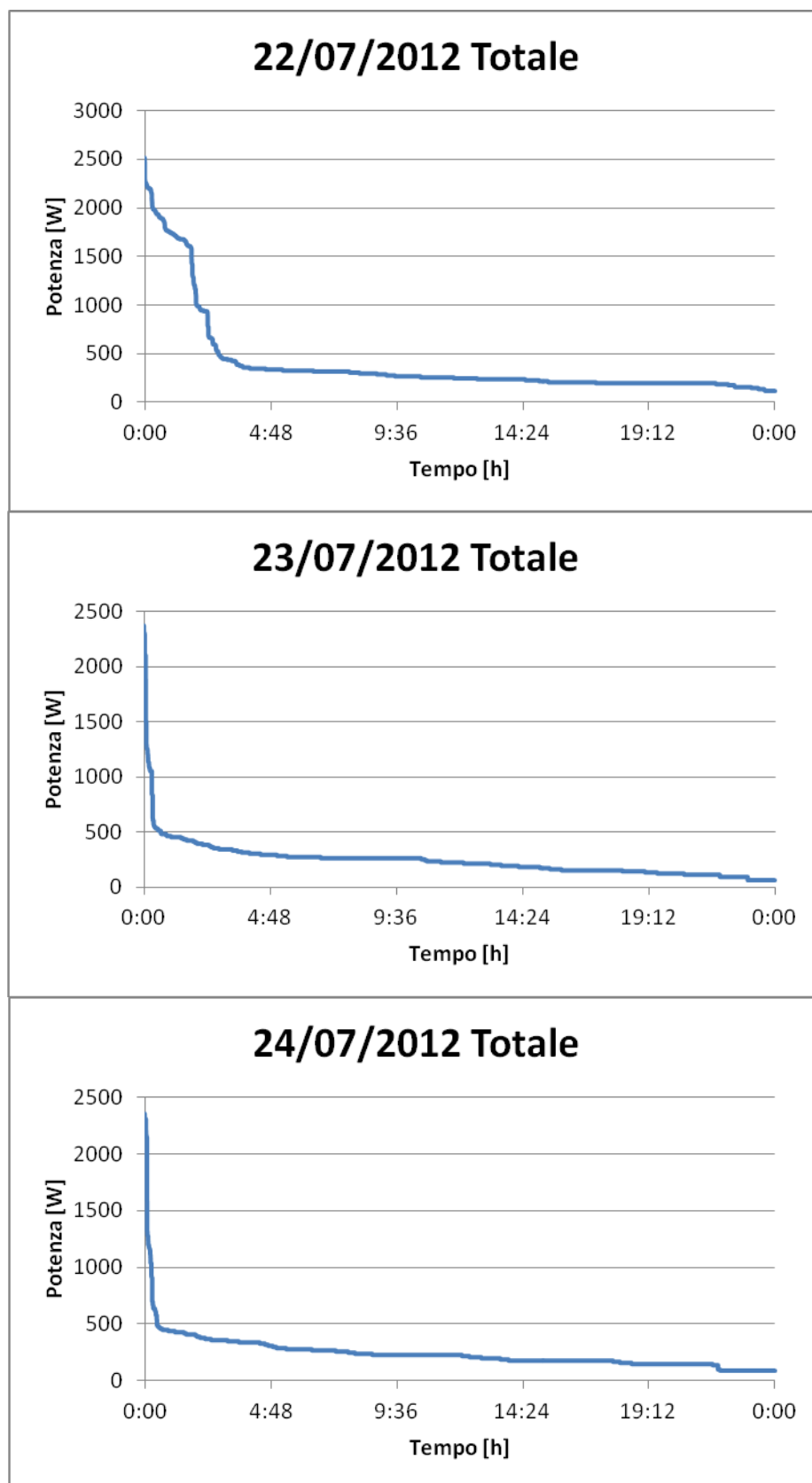


### 20/07/2012 Totale



### 21/07/2012 Totale





**Figura 16.** Cumulate di potenza dell'intero appartamento dal 18/07/2012 al 24/07/2012.

Oltre alla forma delle cumulate di potenza, un altro parametro che identifica il tipo di carico e quindi permette di scegliere l'accumulo più opportuno, è il valore dell'energia totale giornaliera.

Nella tabella di seguito vengono riportati i valori di energia totale giornaliera per entrambe le linee e per l'intera abitazione:

**Tabella 1.** Energia giornaliera dal 18/07/2012 al 24/07/2012

| Giorno              | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Energia F.M. [Wh]   | 3127 | 3207 | 3150 | 2843 | 4126 | 3006 | 3160 |
| Energia Luce [Wh]   | 2534 | 2689 | 4228 | 2586 | 5196 | 2701 | 2737 |
| Energia Totale [Wh] | 5661 | 5896 | 7378 | 5429 | 9322 | 5707 | 5897 |

I valori sono quelli tipici di un'utenza domestica composta da due persone. Questo permette di estendere i risultati della sperimentazione che verrà effettuata sul sito, anche ad altre utenze similari.

### *Modello semplificato delle cumulate*

In passato è stato sviluppato un modello semplificato delle cumulate di potenza che con soli due parametri potesse identificare la curva caratteristica di un carico.

Il modello utilizzato è:

$$y = \frac{k}{(x + k)^n}$$

**Equazione 1.** Modello semplificato delle cumulate di potenza.

dove x è il tempo espresso in ore e y è la potenza espressa in p.u. con base pari alla potenza massima settimanale di ciascuna linea.

I coefficienti k ed n sono ottenuti tramite il risolutore del programma Microsoft Excel.

I vincoli utilizzati sono:

- Coefficienti positivi;
- Energia sottesa dalla cumulata ottenuta con il modello semplificato pari a quella della cumulata originale;
- Valore iniziale della curva interpolante pari a quello della cumulata originale.

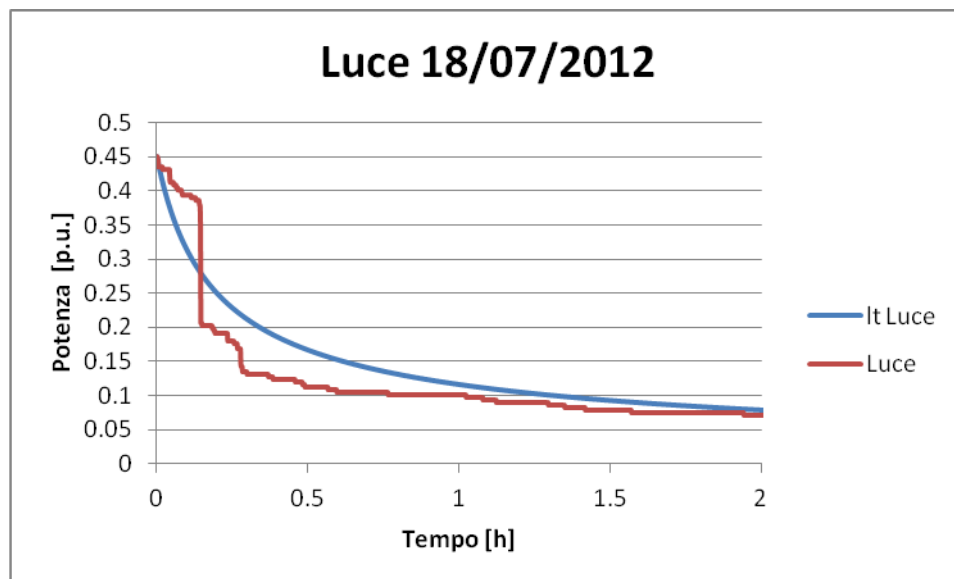
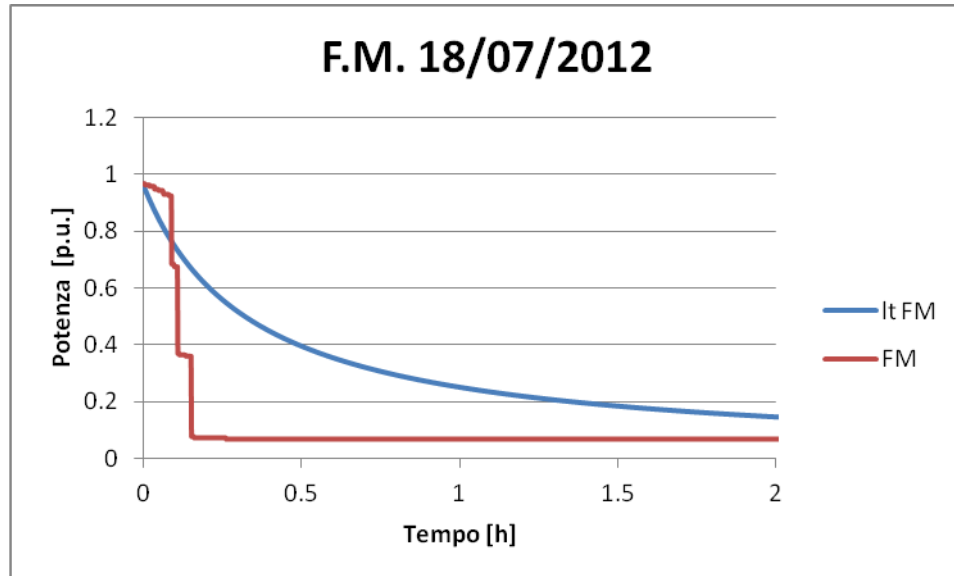
Una volta calcolati gli scarti tra ogni punto noto della cumulata originale e i corrispondenti punti della linea interpolante semplificata, si sono ricavati i coefficienti k ed n minimizzando la somma dei quadrati di detti scarti.

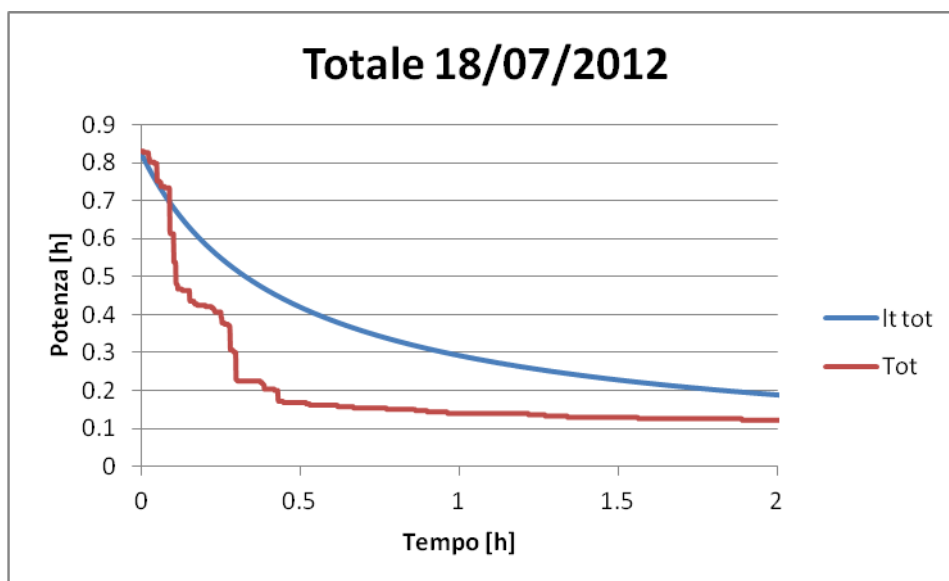
Nella tabella di seguito vengono riportati i coefficienti ottenuti tramite il risolutore e le potenze massime giornaliere espresse in W.

**Tabella 2.** Coefficienti del modello semplificato ottenuti tramite risolutore.

| Giorno | F.M.   |       |      | Luce  |       |      | Totale |       |      |
|--------|--------|-------|------|-------|-------|------|--------|-------|------|
|        | k      | n     | Pmax | k     | n     | Pmax | k      | n     | Pmax |
| 18     | 0.331  | 0.970 | 2060 | 0.124 | 0.618 | 1200 | 0.380  | 0.806 | 2330 |
| 19     | 0.329  | 0.943 | 2000 | 0.130 | 0.602 | 1180 | 0.389  | 0.792 | 2310 |
| 20     | 0.315  | 0.928 | 1960 | 0.382 | 1.000 | 2660 | 0.751  | 1.000 | 2810 |
| 21     | 55.126 | 1.646 | 160  | 0.160 | 0.787 | 1800 | 0.302  | 0.695 | 1950 |
| 22     | 0.497  | 1.000 | 2130 | 0.343 | 0.766 | 2070 | 1.784  | 1.195 | 2510 |
| 23     | 0.315  | 0.971 | 2060 | 0.131 | 0.608 | 1200 | 0.391  | 0.819 | 2370 |
| 24     | 0.367  | 1.000 | 2050 | 0.131 | 0.596 | 1170 | 0.400  | 0.809 | 2360 |

Data la natura dell'utenza, caratterizzata da utilizzi molto brevi di rilevanti quantità di energia elettrica, il modello semplificato ha difficoltà nell'interpolare le cumulate di potenza. Come è possibile vedere nelle figure a seguire, il modello non riesce a ricreare la ripida pendenza delle cumulate originali. Per questo non è stato utilizzato per il dimensionamento dei dispositivi del sistema di accumulo.

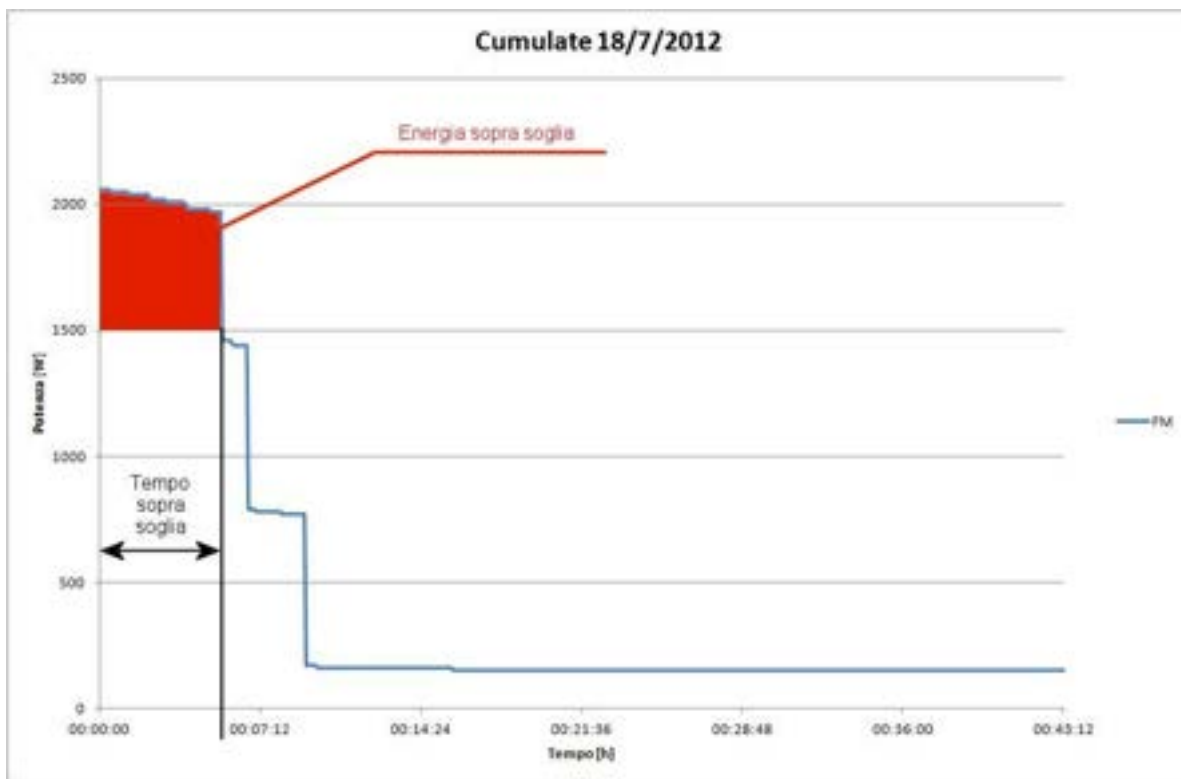




### *Logica di gestione e criterio di dimensionamento dell'accumulo*

La logica di gestione dell'accumulo utilizzata in questa attività di ricerca, prevede l'impiego di un accumulo termico e di uno elettrico, quando l'utenza supera una certa soglia di potenza. In questo modo la potenza massima assorbita al punto di consegna sarà pari alla soglia impostata. Il primo ad intervenire, sarà l'accumulo termico, che in questa sperimentazione è un congelatore. Sfruttando la capacità di mantenere la temperatura interna al di sotto dei 16°C per un periodo di tempo di almeno 4h se non viene aperto, in assenza di alimentazione elettrica, il congelatore può essere disalimentato quando la potenza complessiva dell'appartamento supera la soglia preimpostata. In questo modo, si riesce a guadagnare un margine di potenza pari all'assorbimento elettrico di circa 150w. Quando questo margine non è sufficiente a mantenere l'assorbimento complessivo di potenza sotto la soglia prestabilita, oppure in caso di congelatore non attivo, per cui anche un suo distacco non altererebbe il diagramma di carico dell'appartamento, interviene l'accumulo elettrico. Per un primo dimensionamento della capacità massima dell'accumulo elettrico. Come è mostrato in figura, l'energia che l'accumulo dovrà fornire è pari all'area compresa tra la cumulata e la soglia impostata.

Nell'esempio proposto la soglia è di 1500 W.



**Figura 17.** Esempio di utilizzo della cumulata di potenza per il dimensionamento di un accumulo elettrico.

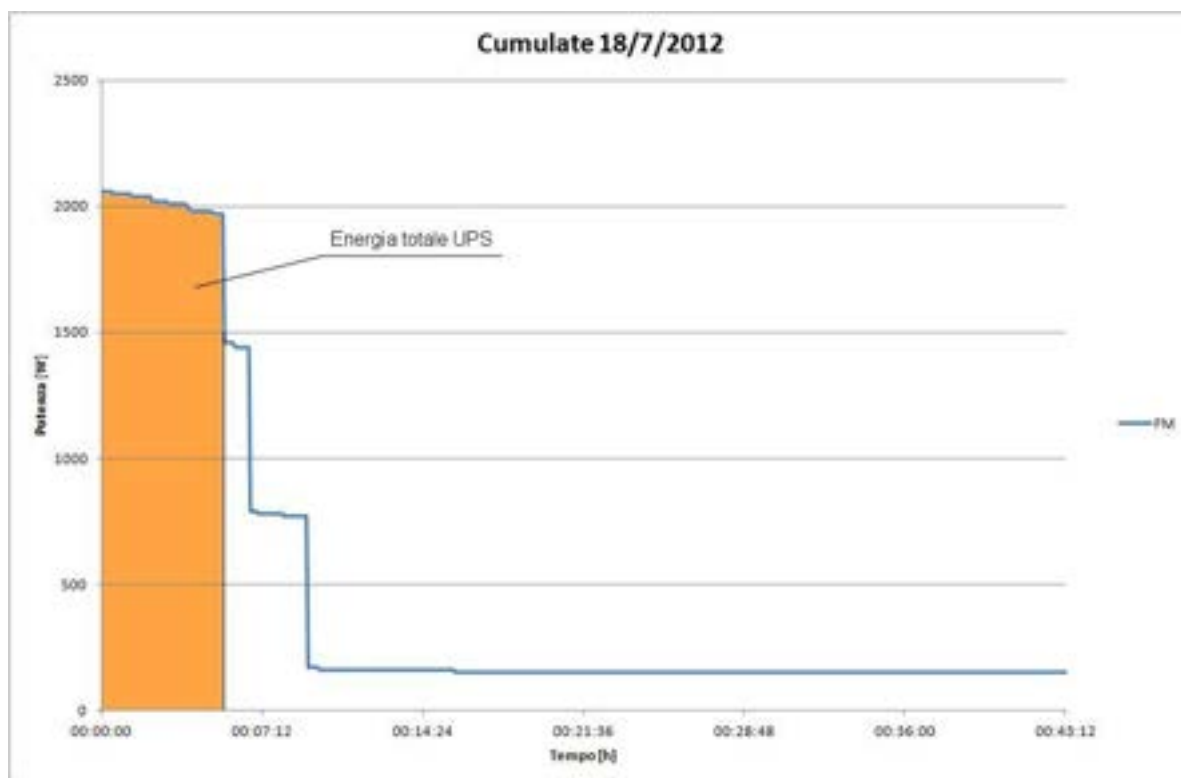
La logica di gestione appena descritta necessita di un dispositivo di accumulo elettrico che regola la potenza erogata o il superamento di soglia da parte dell'utenza.

Questo è possibile con l'utilizzo, ad esempio, di batterie elettrochimiche abbinate ad interfacce tipo inverter alla rete e situate immediatamente a valle del punto di consegna dell'energia elettrica come indicato nell'introduzione.

Nel sito in esame, tuttavia, si è scelta come giustificato nell'introduzione una soluzione più semplice che utilizza un gruppo di continuità (UPS). L'accumulo elettrico, costituito in questo caso dall'UPS, si sostituisce alla rete nell'alimentazione di parte del carico, invece di integrare la potenza sopra soglia. L'UPS, invece, non può effettuare alcun tipo di modulazione (almeno nei modelli più economici e meno complessi) e determina quindi una discontinuità a gradino nel diagramma di carico, nell'istante del suo intervento e in quello del ritorno dell'alimentazione dalla rete.

La scelta di utilizzare un UPS permette inoltre di risolvere tutti i problemi di energia ritornante in rete, che si sarebbero avuti con l'inverter e la batteria come illustrato nell'introduzione.

Di seguito è riportata una figura che mostra come utilizzare le cumulate per il dimensionamento dell'UPS considerando una soglia di intervento di 1500 W.



**Figura 18.** Esempio di utilizzo della cumulata di potenza per il dimensionamento dell'UPS.

Risulta evidente che, rispetto al caso della batteria, l'UPS sarà sovradimensionato rispetto alle reali necessità di energia tanto più alta sarà la soglia di intervento.

Dalla campagna di misure si sono ricavati i valori di energia necessari per varie soglie di potenza:

**Tabella 3.** Energia sopra soglia, tempo sopra soglia e energia totale UPS per varie soglie di potenza: 500W, 1000W, 1500W, 2000W.

| 18/07/2012 | Soglie [W]                | 500   | 1000  | 1500  | 2000  | 19/07/2012 | Soglie [W]                | 500    | 1000  | 1500  | 2000  |
|------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|------------|---------------------------|--------|-------|-------|-------|
|            | Energia sopra soglia [Wh] |       |       |       |       |            | Energia sopra soglia [Wh] |        |       |       |       |
|            | FM                        | 246.5 | 213.1 | 184.9 | 130.0 |            | FM                        | 204.5  | 170.6 | 137.8 | 0.0   |
|            | Luce                      | 205.2 | 157.3 | 0.0   | 0.0   |            | Luce                      | 209.3  | 135.1 | 0.0   | 0.0   |
|            | Totale                    | 532.3 | 435.3 | 231.1 | 201.2 |            | Totale                    | 601.1  | 415.6 | 196.2 | 157.0 |
|            | Tempo sopra la soglia [h] |       |       |       |       |            | Tempo sopra la soglia [h] |        |       |       |       |
|            | FM                        | 0.154 | 0.111 | 0.092 | 0.064 |            | FM                        | 0.140  | 0.093 | 0.069 | 0.000 |
|            | Luce                      | 0.235 | 0.144 | 0.000 | 0.000 |            | Luce                      | 0.217  | 0.125 | 0.000 | 0.000 |
|            | Totale                    | 0.432 | 0.281 | 0.110 | 0.092 |            | Totale                    | 0.576  | 0.276 | 0.093 | 0.069 |
|            | Energia totale UPS [Wh]   |       |       |       |       |            | Energia totale UPS [Wh]   |        |       |       |       |
|            | FM                        | 385.3 | 368.6 | 359.1 | 283.3 |            | FM                        | 330.7  | 300.8 | 269.7 | 0.0   |
|            | Luce                      | 416.4 | 359.5 | 0.0   | 0.0   |            | Luce                      | 404.3  | 310.1 | 0.0   | 0.0   |
|            | Totale                    | 921.1 | 828.1 | 439.5 | 421.2 |            | Totale                    | 1119.8 | 802.6 | 373.0 | 323.6 |

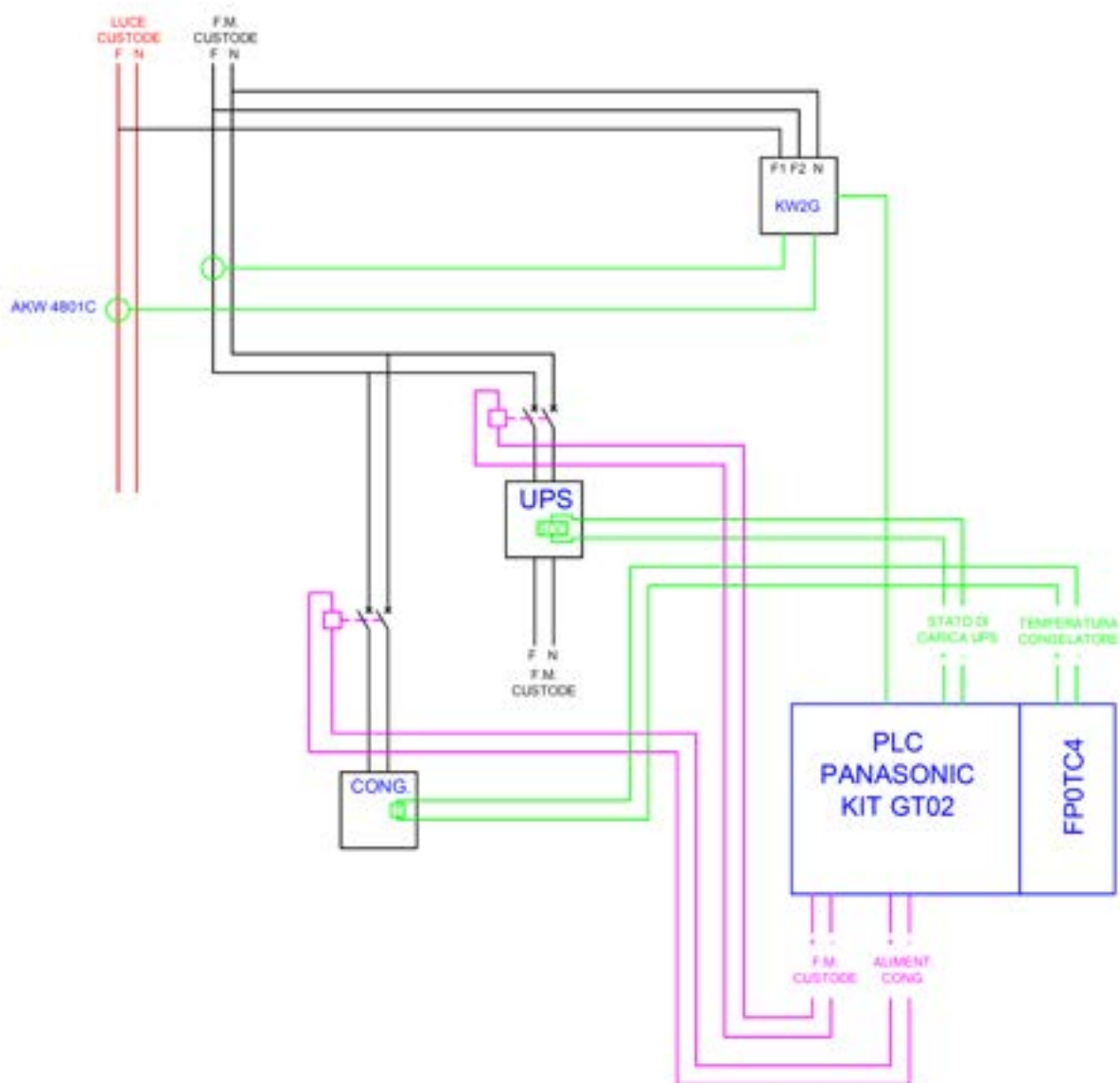
| 20/07/2012 | Soglie [W]                | 500    | 1000   | 1500   | 2000   |
|------------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|
|            | Energia sopra soglia [Wh] |        |        |        |        |
|            | FM                        | 101.9  | 82.3   | 78.5   | 0.0    |
|            | Luce                      | 2205.9 | 2070.3 | 1925.8 | 379.5  |
|            | Totale                    | 2646.3 | 2358.9 | 2182.4 | 499.8  |
|            | Tempo sopra la soglia [h] |        |        |        |        |
|            | FM                        | 0.071  | 0.043  | 0.040  | 0.000  |
|            | Luce                      | 1.399  | 1.214  | 1.083  | 0.168  |
|            | Totale                    | 1.690  | 1.271  | 1.126  | 0.211  |
|            | Energia totale UPS [Wh]   |        |        |        |        |
|            | FM                        | 165.7  | 142.6  | 155.0  | 0.0    |
|            | Luce                      | 3464.6 | 3769.8 | 3984.2 | 782.8  |
|            | Totale                    | 4167.6 | 4138.1 | 4322.6 | 1006.5 |

| 21/07/2012 | Soglie [W]                | 500   | 1000  | 1500  | 2000  | 22/07/2012 | Soglie [W]                | 500    | 1000   | 1500   | 2000  |
|------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|------------|---------------------------|--------|--------|--------|-------|
|            | Energia sopra soglia [Wh] |       |       |       |       |            | Energia sopra soglia [Wh] |        |        |        |       |
|            | FM                        | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |            | FM                        | 1344.3 | 963.7  | 705.6  | 497.9 |
|            | Luce                      | 386.5 | 286.9 | 219.7 | 0.0   |            | Luce                      | 2442.1 | 2264.7 | 2094.6 | 2.9   |
|            | Totale                    | 506.1 | 316.5 | 239.7 | 0.0   |            | Totale                    | 4161.3 | 3498.6 | 3281.4 | 654.8 |
|            | Tempo sopra la soglia [h] |       |       |       |       |            | Tempo sopra la soglia [h] |        |        |        |       |
|            | FM                        | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |            | FM                        | 0.997  | 0.538  | 0.364  | 0.238 |
|            | Luce                      | 0.360 | 0.196 | 0.133 | 0.000 |            | Luce                      | 1.726  | 1.403  | 1.253  | 0.001 |
|            | Totale                    | 0.488 | 0.197 | 0.133 | 0.000 |            | Totale                    | 2.803  | 1.964  | 1.789  | 0.297 |
|            | Energia totale UPS [Wh]   |       |       |       |       |            | Energia totale UPS [Wh]   |        |        |        |       |
|            | FM                        | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |            | FM                        | 2242   | 1716   | 1397   | 1068  |
|            | Luce                      | 710.3 | 561.1 | 473.0 | 0.0   |            | Luce                      | 3996   | 4229   | 4475   | 6.2   |
|            | Totale                    | 944.9 | 592.6 | 493.0 | 0.0   |            | Totale                    | 6684   | 6248   | 6680   | 1368  |

| 23/07/2012 | Soglie [W]                | 500    | 1000  | 1500  | 2000  | 24/07/2012 | Soglie [W]                | 500   | 1000  | 1500  | 2000  |
|------------|---------------------------|--------|-------|-------|-------|------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
|            | Energia sopra soglia [Wh] |        |       |       |       |            | Energia sopra soglia [Wh] |       |       |       |       |
|            | FM                        | 263.3  | 177.5 | 145.9 | 143.8 |            | FM                        | 242.7 | 192.8 | 186.8 | 186.8 |
|            | Luce                      | 146.6  | 146.6 | 0.0   | 0.0   |            | Luce                      | 161.8 | 139.9 | 0.0   | 0.0   |
|            | Totale                    | 619.6  | 429.5 | 158.7 | 156.4 |            | Totale                    | 549.5 | 404.2 | 213.3 | 206.7 |
|            | Tempo sopra la soglia [h] |        |       |       |       |            | Tempo sopra la soglia [h] |       |       |       |       |
|            | FM                        | 0.206  | 0.094 | 0.072 | 0.071 |            | FM                        | 0.160 | 0.096 | 0.092 | 0.092 |
|            | Luce                      | 0.135  | 0.135 | 0.000 | 0.000 |            | Luce                      | 0.169 | 0.129 | 0.000 | 0.000 |
|            | Totale                    | 0.639  | 0.304 | 0.072 | 0.071 |            | Totale                    | 0.475 | 0.258 | 0.096 | 0.092 |
|            | Energia totale UPS [Wh]   |        |       |       |       |            | Energia totale UPS [Wh]   |       |       |       |       |
|            | FM                        | 448.3  | 309.7 | 283.1 | 313.8 |            | FM                        | 386.5 | 327.0 | 361.0 | 406.8 |
|            | Luce                      | 267.8  | 335.2 | 0.0   | 0.0   |            | Luce                      | 314.3 | 320.8 | 0.0   | 0.0   |
|            | Totale                    | 1194.6 | 855.3 | 295.9 | 326.4 |            | Totale                    | 977.0 | 765.9 | 395.4 | 426.7 |

**Figura 19.** Confronto tra le cumulate di potenza misurate e quelle ottenute con il modello semplificato.

In relazione a quanto esposto è stato studiato e realizzato lo schema di Fig.19



**Figura 20.** Schema elettrico del sistema sviluppato.

I due carichi FM custode e congelatore sono distaccabili in relazione ai valori misurati di potenza totale assorbibile dalla rete. Inoltre per ciascun accumulatore è misurato lo stato ed i rispettivi carichi sono di nuovo rialimentati dalla rete quando lo stato è al di sotto di un definito SOC (State of charge). E' evidente la semplicità dello schema e del montaggio dei dispositivi.

Il congelatore utilizzato, accumulo termico, ha le seguenti caratteristiche:

- Marca: Whirlpool
- Codice: AFG 015/G/WP

- Volume interno: 130 dm<sup>3</sup>
- Alimentazione: 230 V
- Potenza elettrica: 140 W

Il dispositivo congelatore usato è indicato nelle foto seguenti.



L'UPS è stato scelto considerando una soglia di intervento di 500 W, che corrisponde a una potenza erogata di circa 2300 W, considerando che la potenza massima assorbita in una settimana dall'appartamento è stata di 2800 W come si può dedurre dalle cumulate ed è in linea con le comuni unità domestiche aventi una potenza contrattuale di 3 kW.

Impostando una soglia di 500 W, dai calcoli sopra riportati, si ricava una capacità necessaria di almeno 400 Wh.

Di seguito sono riportati tutti i componenti utilizzati per realizzare il sistema:

**Tabella 4.** Dispositivi utilizzati nel sistema.

| Numero | Codice          | Descrizione                                                                           |
|--------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | CSDL5K0AA4      | RIELLO UPS SDL 5000 (5000VA 3500W per 15 min)                                         |
| 1      | YSKCMC7A        | RIELLO MULTICOM 382 – Scheda a contatti / ESD                                         |
| 1      | KITGT02FP0RC14R | Panasonic Starter Kit PLC FP0R                                                        |
| 1      | FP0TC4          | Panasonic Thermocouple Unit                                                           |
| 1      | AKW2010G        | Panasonic KW2G Eco-Power meter                                                        |
| 2      | AKW4801C        | Panasonic Current transformer for Eco-POWER METER KW1/7M, 5A/50A, 1.5m with connector |
| 2      |                 | Relè con 2 contatti NO                                                                |
| 1      |                 | Termocoppia di tipo K con range -30 +20 °C                                            |

Le foto seguenti mostrano l'UPS utilizzato.



Di seguito sono riportata la foto dell'installazione provvisoria nell'edificio per le prove tecniche di buon funzionamento.



### *Conclusioni.*

E' stato dimensionato un sistema con accumuli termico ed elettrico per la gestione del carico elettrico di una utenza domestica in grado di controllare la massima potenza richiesta dalla rete di alimentazione.

E' stata proposta una soluzione semplice e di facile installabilità.

E' stata realizzata una installazione presso una utenza domestica che permette di ridurre la potenza massima assorbita dalla rete elettrica di alimentazione in bassa tensione a 1,5 kW rispetto ai 3 kW contrattuali.

## Appendice: dati tecnici dispositivi UPS e PLC.

  
LOCAL AREA NETWORK

  
SERVER

  
DATA CENTER

  
REFRIGERATION

  
PLC

  
DISTRIBUTION

  
EMERGENCY

# Sentinel Dual *High Power*



## 3,3-10 kVA

mono/monofase e tri/monofase

### Highlights

- Installazione semplificata
- Selezione del funzionamento
- Elevata qualità della tensione in uscita
- Elevata affidabilità delle batterie
- Funzione soccorritore
- Ottimizzazione delle batterie
- Energy-Share
- Rumorosità ridotta






SENTINEL DUAL è la soluzione migliore per l'alimentazione di utenze sensibili e vitali "mission critical" e dispositivi per la sicurezza (elettromedicali) garantendo la massima affidabilità.

La flessibilità di installazione e d'uso (display digitale, batterie estraibili dall'utente) e le molte possibilità di comunicazione, fanno di SENTINEL DUAL un UPS adatto a molte applicazioni, dall'informatica alla sicurezza.

SENTINEL DUAL può essere installato a pavimento o su armadio rack per applicazioni networking.

La serie SENTINEL DUAL è disponibile nei modelli 3,3-4-5-6-8-10 kVA con tecnologia On Line a doppia conversione

(VFI): il carico viene sempre alimentato dall'inverter che fornisce una tensione sinusoidale filtrata e stabilizzata in tensione, forma e frequenza, inoltre i filtri di ingresso e uscita, aumentano notevolmente l'immunità del carico contro i disturbi di rete e i fulmini.

Tecnologia e prestazioni: funzione Economy Mode e Smart Active Mode selezionabili. Diagnostica: display digitale standard, interfacce RS232 e USB con software PowerShield3 incluso, slot di comunicazione per accessori di connettività.

**Installazione semplificata**

- Possibilità di installazione a pavimento (versione tower) o su armadio (versione

rack) semplicemente estraendo e ruotando il sinottico (con la chiavetta in dotazione)

- Rumorosità molto ridotta (<40dBA): per l'installazione su qualsiasi ambiente grazie alla ventilazione a controllo digitale a PWM dipendente dal carico applicato e dall'utilizzo di inverter ad alta frequenza di commutazione
- Possibilità di connessione a by-pass esterno di manutenzione con commutazione senza interruzione (SDL da 5-6-8-10 kVA)
- Caratteristiche garantite fino a 40 °C (i componenti sono dimensionati per temperature elevate quindi subiscono uno stress inferiore a temperature ordinarie)
- Disponibilità di 2 prese di uscita tipo IEC con protezione termica (SDL da 5-6-8-10 kVA)
- Sui modelli da 5-6-8-10 kVA è inoltre possibile programmare due prese di uscita da 10A (funzione Power-Share) in assenza rete.

#### Selezione del funzionamento

Le funzioni sono programmabili da software o impostabili manualmente da sinottico.

- On line
- Economy Mode: per aumentare il rendimento (fino al 98%), permette di selezionare la tecnologia Line Interactive (VI) per alimentare da rete, carichi poco sensibili
- Smart Active: l'UPS decide autonomamente la modalità di funzionamento (VI o VFI) in base alla qualità della rete
- Soccorritore: l'UPS può essere selezionato per funzionare solo con rete assente (modalità solo emergenza)
- funzionamento da convertitore di frequenza (50 o 60 Hz).

#### Elevata qualità della tensione di uscita

- Anche con carichi distorti (carichi informatici con fattore di cresta fino a 3:1)

- Elevata corrente di corto circuito su bypass
- Capacità di sovraccarico elevata: 150% da inverter (anche con rete assente)
- Tensione filtrata, stabilizzata ed affidabile (tecnologia On Line a doppia conversione (VFI secondo normativa EN62040-3) con filtri per la soppressione dei disturbi atmosferici
- Rifasamento del carico: fattore di potenza di ingresso dell'UPS prossimo a 1 e assorbimento di corrente sinusoidale.

#### Elevata affidabilità delle batterie

- Test batterie automatico e manuale
- Componente di ripple (dannosa per le batterie) ridotta grazie al sistema "LRCD" (Low Ripple Current Discharge)
- Batterie sostituibili dall'utente, senza l'arresto dell'apparecchiatura e dell'alimentazione al carico (Hot Swap)
- Autonomia espandibile illimitatamente tramite Battery Box dedicati con estetica modulare
- Le batterie non intervengono per mancanza rete <40 ms (hold up time elevato) e per ampie escursioni della tensione di ingresso (da 84V a 276V).

#### Funzione Soccorritore

Questa configurazione garantisce il funzionamento di quei dispositivi che in mancanza della rete necessitano di una alimentazione continua, affidabile e duratura, come i sistemi di illuminazione di emergenza, gli impianti di rilevazione/estinzione di incendi, di allarmi ecc. In caso di black-out l'inverter entra in funzione alimentando il carico con un avvio progressivo (Soft Start) evitando così il sovradimensionamento dello stesso.

#### Ottimizzazione delle batterie

L'ampio range di ingresso e un elevato valore di Hold Up Time riducono al minimo gli interventi da batteria aumentandone l'efficienza e la durata; in caso di

microinterruzioni l'energia occorrente verrà prelevata da un gruppo di condensatori opportunamente dimensionati.

#### Energy-Share (ver. 5-10kVA)

La presenza di due prese d'uscita di tipo IEC 10A configurabili permette di ottimizzare l'autonomia programmando lo spegnimento dei carichi a bassa priorità; in alternativa è possibile attivare carichi di sola emergenza normalmente non alimentati in presenza di rete.

#### Rumorosità ridotta

Grazie al controllo digitale PWM la velocità delle ventole è regolata in funzione della temperatura dei due dissipatori interni, garantendone una maggiore durata e una riduzione della rumorosità ad un valore inferiore ai 45 dB.

#### Altre caratteristiche

- Tensione di uscita selezionabile (220-230-240V)
- Auto-restart (automatico al ritorno rete, programmabile via software)
- By-pass on: quando la macchina viene spenta si predispongono automaticamente nel funzionamento da by-pass e con batterie in carica
- Spegnimento per carico minimo
- Preavviso fine scarica
- Ritardo di accensione
- Controllo totale a microprocessore
- By-pass automatico senza interruzione
- Utilizzo di moduli IMS (Insulated Metallic Substrates)
- Stati, misure, allarmi disponibili su display standard e retroilluminato
- Aggiornamento digitale dell'UPS (flash upgradable)
- Protezione di ingresso tramite interruttore termico ripristinabile
- Back-feed protection standard: per evitare i ritorni di energia verso rete
- Commutazione manuale su by-pass.

1. Sganciare il pannello sinottico con una pressione sui gancetti



2. Ruotare il pannello sinottico in senso antiorario e riagganciarlo



3. Ruotare l'UPS di 90°



4. Agganciare i supporti rack



Comunicazione evoluta

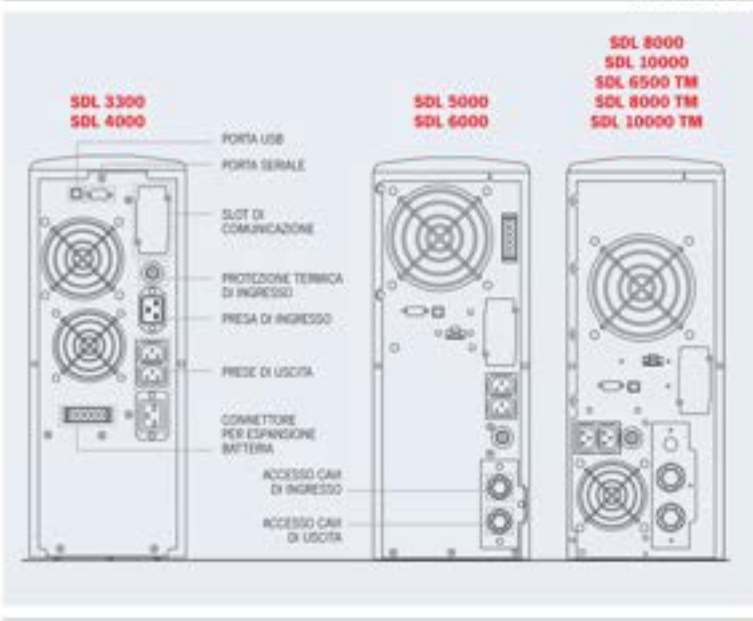
- Comunicazione evoluta, multiplatforma, per tutti i sistemi operativi e ambienti di rete: software di supervisione e shut-down Powershield<sup>®</sup> incluso, per sistemi operativi Windows 7, 2008, Vista, 2003, XP, Linux, Mac OS X, Sun Solaris, Linux, VMWare ESX e altri sistemi operativi Unix
- Funzione Plug and Play
- Porta USB
- Porta seriale RS232
- Slot per l'installazione di schede per la comunicazione.

GARANZIA 2 ANNI

OPZIONI

- Armadi batterie per autonomie prolungate, con e senza batterie
- Rotaie telescopiche per inserimento su armadio rack

particolari



battery box

| MODELLI                   | BB SDL 108-A4 / BB SDL 108-M1 | BB SDL 192-A3/ BB SDL 192-A6                          | BC SDL 108-B1       |
|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------|
| MODELLI SDL               | SDL 3300-4000                 | SDL 5000-6000<br>SDL 6500TM-8000-8000TM-10000-10000TM | SDL 3300-4000 Tower |
| Dimensioni (mm)           |                               |                                                       |                     |
| 4U = 176 mm; 19" = 438 mm |                               |                                                       |                     |

| MODELLI                                     | SOL 3300                                                                                                   | SOL 4000     | SOL 5000                                          | SOL 6000                                                                                                          | SOL 8000                                                  | SOL 10000     |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------|
| POTENZA                                     | 3300VA/2300W                                                                                               | 4000VA/2400W | 5000VA/3500W                                      | 6000VA/4200W                                                                                                      | 8000VA/6400W                                              | 10000VA/8000W |
| INGRESSO                                    |                                                                                                            |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| Tensione nominale                           | 220-230-240 Vac                                                                                            |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| Tensione minima                             | 164 Vac @ carico 100% / 84 Vac @ carico 50%                                                                |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| Frequenza nominale                          | 50/60 Hz $\pm$ 5Hz                                                                                         |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| Fattore di potenza                          | > 0.98                                                                                                     |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| Distorsione di corrente                     | $\leq$ 7%                                                                                                  |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| BY PASS                                     |                                                                                                            |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| Tolleranza di tensione                      | 180 - 264 Vac (selezionabile in Economy Mode e Smart Active Mode)                                          |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| Tolleranza di frequenza                     | Frequenza selezionata $\pm$ 5% (selezionabile dall'utente)                                                 |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| USCITA                                      |                                                                                                            |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| Tensione nominale                           | 220-230-240 Vac selezionabile                                                                              |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| Distorsione di tensione                     | < 3% con carico lineare / < 6% con carico distorto                                                         |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| Frequenza                                   | 50/60 Hz selezionabile                                                                                     |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| Variazione statica                          | 1,5%                                                                                                       |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| Variazione dinamica                         | $\leq$ 5% in 20 ms                                                                                         |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| Forma d'onda                                | Sinusoidale                                                                                                |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| Fattore di cresta                           | 3 : 1                                                                                                      |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| BATTERIE                                    |                                                                                                            |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| Tempo di ricarica                           | 4-6 ore                                                                                                    |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| TEMPI DI SOVRACCARICO                       |                                                                                                            |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| 100% < Carico < 110%                        | 1 minuto                                                                                                   |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| 110% < Carico < 150%                        | 4 secondi                                                                                                  |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| Carico > 150%                               | 0.5 secondi                                                                                                |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| ALTRE CARATTERISTICHE                       |                                                                                                            |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| Peso netto (kg)                             | 38                                                                                                         | 40           | 62                                                | 64                                                                                                                | 94                                                        | 95            |
| Peso lordo (kg)                             | 42.5                                                                                                       | 44.5         | 70                                                | 72                                                                                                                | 102                                                       | 103           |
| Dimensioni (LxPxH) (mm)                     | 455 x 175 x 520 tower<br>483 x 520 x 175(4U) rack                                                          |              | 455 x 175 x 660 tower<br>483 x 660 x 175(4U) rack |                                                                                                                   | 2 x 455 x 175 x 660 tower<br>2 x 483 x 660 x 175(4U) rack |               |
| Dimensioni imballo (LxPxH) (mm)             | 540 x 620 x 280                                                                                            |              | 720 x 530 x (270+15)                              |                                                                                                                   | 780 x 555 x (270+15)                                      |               |
| Rendimento<br>Line-interactive/Smart Active | 98%                                                                                                        |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| Protezioni                                  | Sovracorrente - cortocircuito - sovratensione - sottotensione - termica - eccessiva scarica della batteria |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| Comunicazione                               | USB / RS232 + slot per interfaccia di comunicazione                                                        |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| Normative                                   | EN 62040-1 EMC EN 62040-2 direttive 73/23 - 93/68 - 2004/108 EC EN 62040-3                                 |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| Temperatura d'ambiente                      | 0°C / +40°C                                                                                                |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| Umidità relativa                            | < 95% non condensata                                                                                       |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| Colore                                      | Grigio scuro RAL 7016                                                                                      |              |                                                   |                                                                                                                   |                                                           |               |
| Rumorosità                                  | < 40 dBA a 1 m                                                                                             |              |                                                   | < 45 dBA a 1 m                                                                                                    |                                                           |               |
| Dotazioni standard                          | 2 cavi da 10A; 1 spina IEC-16A;<br>software; cavo seriale; chiavi per sgancio<br>sinottico; kit maniglie   |              |                                                   | 2 passacavi; puntali per installazione cavi; software; cavo seriale;<br>chavi per sgancio sinottico; kit maniglie |                                                           |               |

### Specifiche generali

#### ■ Caratteristiche tecniche unità di controllo FP0R

| Tipo di prodotto                               |                                                                                                                                                                   | Serie C16<br>(Solo uscita n.c.)                                                                                                                                                                                                                                      | Serie C14<br>(Solo uscita n.c.)                  | Serie C16<br>(Solo uscita Trasformato)            | Serie C13<br>(Solo uscita + Trasformato)            | Serie T12<br>(Solo uscita + Trasformato)            | Serie F13<br>(Solo uscita + Trasformato) |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Metodo di programmazione / Metodo di controllo |                                                                                                                                                                   | Ricevi symbol / Cycle operation                                                                                                                                                                                                                                      |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| Numero punti IO                                | Senza espansioni<br>(solo uscita di controllo)<br>Con 1 espansione<br>Senza I/O con 1 espansione<br>Con 2 espansioni<br>* Non utilizzabile a n.c. e a trasformato | 10 punti<br>(traccia 6, Jack 4)<br>Max. 60 punti                                                                                                                                                                                                                     | 14 punti<br>(traccia 8, Jack 6)<br>Max. 62 punti | 10 punti<br>(traccia 6, Jack 6)<br>Max. 112 punti | 32 punti<br>(traccia 16, Jack 16)<br>Max. 126 punti | 32 punti<br>(traccia 16, Jack 16)<br>Max. 126 punti |                                          |
| Memoria programma                              |                                                                                                                                                                   | EEP-ROM (non occorre la batteria temporale)                                                                                                                                                                                                                          |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| Capacità programma                             |                                                                                                                                                                   | 14 x passi                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| Tipo di interfaccia                            |                                                                                                                                                                   | Cn. 110                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
|                                                |                                                                                                                                                                   | Cn. 210                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| Velocità di elaborazione                       |                                                                                                                                                                   | Istruzioni base: 0.08 µsec/min. Istruzioni timer: 2.2 µsec/min. Istruzioni di alto livello: 0.32 µsec (Istruzione MV) min.<br>Istruzioni base: 0.50 µsec/min. Istruzioni timer: 3.00 µsec/min. Istruzioni di alto livello: 1.62 µsec (Istruzione MV) min.            |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| Memoria operativa                              |                                                                                                                                                                   | 4096 punti                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| Has                                            |                                                                                                                                                                   | 1024 punti                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| Timer/Counter (T/C)                            |                                                                                                                                                                   | 32768 word                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| Registri del (D/I)                             |                                                                                                                                                                   | 14 word (da 10 a 13)                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| Registri indir. (D, IV)                        |                                                                                                                                                                   | 256 word                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| Rete di master control (MC)                    |                                                                                                                                                                   | 256 word                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| N° di schivato (AMP e DCCP)                    |                                                                                                                                                                   | 256 schivato                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| Schivato                                       |                                                                                                                                                                   | (Equivale alla capacità di programma)                                                                                                                                                                                                                                |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| Passi di un ciclo sequenziale                  |                                                                                                                                                                   | 1000 steps                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| N° di schivatura                               |                                                                                                                                                                   | 500 substitution                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| Conversione veloce                             |                                                                                                                                                                   | Monofase: 6 punti (50 Hz max. cad.) Bifase: 3 canali (50 Hz max. cad.)                                                                                                                                                                                               |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| Uscita ad impulso                              |                                                                                                                                                                   | 4 punti (50 Hz max. cad.) Due canali possono essere controllati individualmente.*                                                                                                                                                                                    |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| Uscita PWM                                     |                                                                                                                                                                   | 4 punti (da 0 Hz a 4.0 kHz)                                                                                                                                                                                                                                          |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| Uscite relè impedenza zero                     |                                                                                                                                                                   | Totale 8 punti (con scivolo a velocità)                                                                                                                                                                                                                              |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| Programmi interrupt                            |                                                                                                                                                                   | Ingresso: 8 programmi (5 programmi solo per C10); Periodico: 1 programma; Corrispondenza input: 4 programmi                                                                                                                                                          |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| Intervallo periodo                             |                                                                                                                                                                   | In unità di 0.5 msec: da 0.5 msec a 1.5 sec; In unità da 10 msec: da 10 msec a 30 sec                                                                                                                                                                                |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| Seleziona costante                             |                                                                                                                                                                   | In unità di 0.5 msec: da 0.5 msec a 600 msec                                                                                                                                                                                                                         |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| Porta RS232C                                   |                                                                                                                                                                   | La porta RS232C è presente sui modelli C10R1, C14R1, C16R1, C16T1, C13R1, C13T1, F13R1, T12R1 e T12T1 (terminale 3 pin) secondo la trasmissione (baud rate) da 2400 a 19200 baud, distanza di trasmissione: 0 m. Metodo di comunicazione: half duplex                |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| Porta RS485                                    |                                                                                                                                                                   | La 2 porta RS485A è presente sui modelli C10R1, C14R1, C16R1, C16T1, C13R1, C13T1, F13R1, F13T1, T12R1 e T12T1 (terminale 3 pin) secondo la trasmissione (baud rate) 19200 oppure 10.240 baud, distanza di trasmissione: 1200m. Metodo di comunicazione: half duplex |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| Manutenzione                                   |                                                                                                                                                                   | Programmi e registri di sistema memorizzati in EEPROM                                                                                                                                                                                                                |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| Retro di memoria                               |                                                                                                                                                                   | Sistema di memorizzazione EEPROM<br>Contatore: 16 punti<br>Has interno: 128 punti<br>Registri indir.: 315 word                                                                                                                                                       |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| Funzione di autodiagnosi                       |                                                                                                                                                                   | Watchdog timer (Ca. 6W) msec, controllo sistema programma                                                                                                                                                                                                            |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| Funzione on/off di stand-by                    |                                                                                                                                                                   | Disponibile                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |
| Altre funzioni                                 |                                                                                                                                                                   | Recuperta in modo RUN, download in modo RUN (indica commenti) impostazione password e Lockout, protezione caviamento programmi                                                                                                                                       |                                                  |                                                   |                                                     |                                                     |                                          |

■ Specifiche generali (unità di controllo FP0R)

| Caratteristiche                                           | Descrizione                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tensione nominale                                         | 24 V D.C.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Intervallo tensione operativa                             | da 20,4 a 28,8 V D.C.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Tensione massima<br>scarsità di tensione                  | 5 msec. da 20,4 V D.C. 10 msec. (max. 21,6 V D.C.)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Corrente di lavoro                                        | 10 msec./min. 20,4 V D.C.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Temperatura ambiente                                      | da 0 a +50°C                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Temperatura massima                                       | da -40 a +70°C, da -20°C a +70°C solo per 1 h                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Umidità ambiente                                          | da 10 a 90% RH da 20°C, (no condensazione)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Umidità di magazzino                                      | da 10 a 90% RH da 20°C, (no condensazione)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Tensione di carica<br>(Corrente: 5 mA)                    | Tra terminali in ingresso i terminali in uscita, tra terminali in uscita e terminali di alimentazione ed uscita a transistor: 100VAC per 1 min. (uscita a relè: 500VAC per 1 min.) Tra terminali in ingresso i terminali di alimentazione/massa, tra terminali di massa e terminali di alimentazione ed uscita a transistor: 50VAC per 1 min. (uscita a relè: 500 VAC per 1 min.) Tra terminali in uscita i terminali comuni diversi in uscita ed uscita a relè: 100VAC per 1 min. |
| Resistenza di isolamento<br>(Resione di test: 500 V D.C.) | Tra terminali (I/O, tra terminali in ingresso e terminali di alimentazione/massa, tra terminali in uscita e terminali di alimentazione/massa, tra terminali di massa e terminali di alimentazione ed uscita a transistor: 100MΩ minimo (uscita a relè minimo 100MΩ) Tra terminali in uscita e terminali comuni diversi in uscita ed uscita a relè: minimo 100MΩ                                                                                                                    |
| Resistenza alle vibrazioni                                | Da 5 a 9 Hz, singola ampiezza di 0,5 mm, 1 ciclo/min. da 10 Hz accelerazione costante di 0,5 ms <sup>2</sup> , 1 ciclo/min. da 10 Hz a 2000 Hz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Resistenza agli urti                                      | Min. 147m/s <sup>2</sup> 4 volte per ciascuno dei 3 assi X, Y, Z                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Immunità ai disturbi                                      | 1000 V (p-p) con ampiezza impulso 50ns o 1 µsec.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Condizioni di funzionamento                               | Ambiente libero da vapori corrosivi, da aerosol, radiazioni                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

■ Specifiche ingressi (unità di controllo FP0R e espansioni)

| Caratteristiche                 | Unità di controllo                                                             | Unità di espansione   |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Versione nominale               | 24 V DC                                                                        |                       |
| Intervallo tensione operativa   | da 21,6 a 26,4 V DC                                                            |                       |
| Intervallo corrente di progetto | Circa 2,8 mA a 24V DC                                                          | Circa 3,8 mA a 24V DC |
| Impedenza ingresso              | Circa 9 kΩ                                                                     | Circa 5,1 kΩ          |
| Punti di ingresso per comune    | 6 punti comune (20, 8 punti comune (G14, G15), 16 punti comune (G20, T30, T31) |                       |
| Min. Tensione ON corrente ON    | 99 µV/0 mA                                                                     |                       |
| Min. Tensione OFF corrente OFF  | 2,4V/1 mA                                                                      |                       |
| Tempo di tipo da                | 20 o meno* Un ingresso a tempo costante può essere impostato (da 0,1 a 99 ms)  | 20 o inferiore        |
| Modalità di autoreset           | Autoreset                                                                      |                       |

\* Data are means of duplicate 10 x 7.5 cm plates from three independent cultures. TTR increases in dilution were reported in previous studies. The culture period, at least until 48 hours, is not optimal for this assay.

## Specifiche generali e dimensioni **FPO**

■ **Specifiche uscite** (unità di controllo e espansioni)

## A. R. R. R.

[illegible]

A transistor

[illegible]

## ■ Consumo di corrente

| Tipo di unità          |          | Consumo di corrente in unità di controllo (24 VDC) | Consumo di corrente unità di espansione (24 VDC) |
|------------------------|----------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Tipo di unità FFR      | C 0      | Max. 100 mA                                        | ---                                              |
|                        | C 1      | Max. 120 mA                                        | ---                                              |
|                        | C 2      | Max. 70 mA                                         | ---                                              |
|                        | C 3      | ---                                                | ---                                              |
|                        | T 32     | Max. 90 mA                                         | ---                                              |
|                        | F 32     | ---                                                | ---                                              |
| Tipo di espansione FFR | APF00001 | Max. 10 mA                                         | ---                                              |
|                        | APF00005 | Max. 10 mA                                         | Max. 50 mA                                       |
|                        | APF00010 | Max. 10 mA                                         | Max. 100 mA                                      |
|                        | APF00015 | Max. 15 mA                                         | ---                                              |
|                        | APF00020 | Max. 15 mA                                         | ---                                              |
|                        | APF00030 | Max. 15 mA                                         | ---                                              |
|                        | APF00040 | Max. 20 mA                                         | Max. 100 mA                                      |
|                        | APF00050 | Max. 20 mA                                         | ---                                              |
|                        | APF00060 | Max. 20 mA                                         | ---                                              |

| Tipo di unità                               |             | Consumo di corrente unità di controllo (24 V DC) | Consumo di corrente unità di espansione (24 V DC) |
|---------------------------------------------|-------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Unità analogiche e di controllo temperatura | PPC-A21     | Max. 20 mA                                       | Max. 100 mA                                       |
|                                             | PPC-A30     | Max. 20 mA                                       | Max. 80 mA                                        |
|                                             | PPC-A40/2   | Max. 30 mA                                       | Max. 100 mA                                       |
|                                             | PPC-A54     | Max. 30 mA                                       | Max. 130 mA                                       |
|                                             | PPC-T14     | Max. 25 mA                                       | ---                                               |
|                                             | PPC-T18     | ---                                              | ---                                               |
|                                             | PPC-T21/3   | Max. 40 mA                                       | Max. 40 mA                                        |
| Unità di comunicazione                      | PPC-DCL     | Max. 30 mA                                       | Max. 40 mA                                        |
|                                             | PPMS SERVER | ---                                              | Max. 50 mA (a 24 VDC),<br>Max. 240 mA (a 5 VDC)   |
|                                             | APP1542     | Max. 30 mA                                       | ---                                               |

|                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Consumo di corrente unità di controllo</b><br/>Il metodo da sempre consumato va corretto di ammortamento dell'unità di controllo.</p> <p>Se si aggiunge unità di espansione od unità intelligenti, la corrente viene aumentata del valore sopra indicato.</p> | <p><b>Consumo di corrente unità di espansione</b><br/>Il metodo da sempre consumato va corretto di ammortamento dell'unità di espansione.</p> <p>Le unità senza indicazione di valore non hanno un corretto di ammortamento.</p> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### ■ Dimensioni

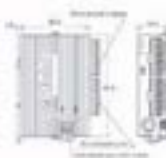
## Unità di controllo ed unità di espansione \* Per il tipo con valvola a 4 vie, il simbolo indica il posto sulla valvola a 4 vie.

## Liste di conversione

**FFOR** C10RS/C10CRS/C10MPB  
C14RS/C14CRS/C14MPB

### Utile di apprendimento

**FPGA:** 现场可编程门阵列

[illegible]

## Unità di controllo

**FROM** C165AC56C5AC16AC160PAC16MTAC16MP

## Units of expenditure

**FROM** 250T/250X 通用型 100 系列 100 系列



**Nota:**    1) Spese CEE a carico dell'ente  
           2) AFFIDAVITO non richiesto a consorzio  
           3) AFFIDAVITO richiesto al Singolo a consorzio

## Unità di controllo

TS20T/TS20P/TS21CT/PS20P  
TS20MT/TS20MP/PS20MT/PS20MP

## Unità di competenza

**IPK1** EAS2AE16AE16YTAE16AE16P



Figure 2. (a) Distribution of *Staphylococcus* isolates by age group. (b) Distribution of *Staphylococcus* isolates by sex.

Nota: <sup>1</sup> Stato (0=il centro dell'isola)  
<sup>2</sup> L'APPENDICE APPENDIX APPENDIX sono classici Zorro  
<sup>3</sup> L'APPENDIX non ha la scala a corruzione  
<sup>4</sup> L'APPENDIX non ha l'ingresso a corruzione

© 2004 Blackwell Publishing Ltd, *Journal of Internal Medicine* 255: 103–110

## Allegato

### Curriculum scientifico degli autori

#### **Stefano Barsali**

Stefano Barsali ha conseguito laurea e dottorato di ricerca in Ingegneria Elettrica presso l'Università di Pisa nel 1994 e 1998 rispettivamente.

Dal 2000 al 2006 è stato ricercatore del settore scientifico disciplinare Sistemi Elettrici per l'Energia e dall'ottobre 2006 è professore associato nello stesso settore prestando servizio presso la facoltà di Ingegneria dove è attualmente titolare dei moduli di "Sistemi di produzione dell'energia elettrica (6CFU)" e "Dinamica e controllo dei sistemi elettrici per l'energia (6CFU)" del corso di laurea magistrale in Ingegneria Elettrica.

Dal dicembre 2012 è presidente del Consiglio di Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettrica.

Svolge la propria attività di ricerca presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Energia dei Sistemi del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC) dell'Università di Pisa.

Dal 2004 al 2008 ha svolto la funzione di segretario dello Study Committee C6 CIGRÉ su "Distribution Systems and Dispersed Generation" ed è stato membro di due task force CIGRÉ.

I principali temi della ricerca svolta più di recente sono:

- Riaccensione del sistema elettrico a seguito di black-out
- Sistemi di accumulo elettrochimico ed applicazioni in veicoli a propulsione ibrida
- Generazione distribuita dell'energia elettrica e fonti rinnovabili
- Modellazione degli impianti di produzione e loro flessibilizzazione

Tale attività è stata condotta sia in collaborazione con altre Università (anche nell'ambito di progetti PRIN) e con enti esterni (ENEL, CESI, AEI, GRTN, CIGRÉ, ecc.).

Parte dell'attività sul tema della generazione distribuita è svolta all'interno del già citato comitato di studio C6 e di gruppi di lavoro CIGRÉ.

Su tali temi è autore di numerose pubblicazioni scientifiche.

#### **Romano Giglioli**

Nato a San Gimignano (SI) il 02/06/1951, laureato con lode in Ingegneria Elettrotecnica nel 1976, nello stesso anno ha ricevuto il premio di Economia e Tecnica dell'Energia "G. Levi Cases".

Dal 1994 è Professore Ordinario e ricopre la cattedra di "Sistemi Elettrici per l'Energia e tecnica ed Economia dell'energia".

#### **Attività di ricerca.**

Nell'arco di più di trenta anni di attività nel settore della ricerca, in collaborazione con strutture di ricerca pubbliche e private, sia nazionali che internazionali, ha contribuito, con studi teorici e sperimentali, all'innovazione e allo sviluppo di sistemi e dispositivi per la produzione, trasporto ed accumulo (in particolare elettrochimico) dell'energia elettrica e dei sistemi di conversione energetica, nonché dei sistemi di trasporto con propulsione elettrica ed ibrida. L'attività è testimoniata da oltre un centinaio di pubblicazioni, dalla titolarità di alcuni brevetti utilizzati nell'ambito dei sistemi elettrici per l'energia ed in quelli di conversione energetica e dalla realizzazione di numerosi sistemi e dispositivi prototipali.

Tale attività è stata ed è sviluppata anche come responsabile di numerosi contratti di ricerca e coordinatore di gruppi di lavoro nell'ambito dei Sistemi per l'Energia e di quelli per il Trasporto.

#### **Incarichi direttivi nell'ambito dell'Amministrazione Universitaria.**

Dal 1995 al 2002 ha assunto l'incarico di Direttore del Dipartimento di Sistemi Elettrici e Automazione dell'Università di Pisa.

Dal 2005 al 2009 è stato Direttore del Master post laurea "Pianificazione e gestione di sistemi per l'energia da fonti rinnovabili", istituito dall'Università di Pisa con ENEL Produzione, CONFINDUSTRIA, Kyoto Club, Legambiente.

Dal 2006 è nel comitato direttivo del consorzio Interuniversitario CRIBE per la ricerca sulle biomasse ad uso energetico, che ha contribuito a costituire.

Dal 2007 è nel comitato direttivo del consorzio Nazionale Interuniversitario ENSIEI per la ricerca sui Sistemi per l'Energia, che ha contribuito a costituire.

Dal gennaio 2007 è membro del Consiglio di Amministrazione dell'Università di Pisa

***Incarichi in strutture esterne all'Università.***

Dal 2003 al 2009 è membro del Consiglio di Amministrazione della società ITALCERTIFER (del gruppo Ferrovie dello Stato), società per la ricerca nell'ambito dei sistemi di trasporto e per l'omologazione dei mezzi di trasporto ferroviario. Dal 2005 al 2008 è stato delegato italiano nel mirror europeo per le "smart grids". E' coordinatore scientifico nell'ambito del Consorzio Regionale per l'energia CET, di cui è stato promotore. Dal maggio del 2007 è membro del Consiglio del CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano per la normativa elettrica). Valutatore di progetti di sviluppo precompetitivo L.n. 46/82 per conto del Ministero delle Attività Produttive e, per lo stesso Ministero, nel 2008 ha fatto parte del gruppo di esperti, con il compito di sviluppare l'analisi fattuale in ambito energia ed ambiente, per l'indirizzamento dei fondi strutturali per le regioni del mezzogiorno. Esperto per la valutazione dei progetti di Ricerca di Sistema per il Settore Elettrico per la CCSE. Esperto per la valutazione per il MIUR dei progetti PRIN e dei progetti PON.

**Davide Poli**

Davide Poli è nato a Volterra (PI) nel 1972.

Nel luglio '97 si è laureato con lode in Ingegneria Elettrica con una tesi dal titolo "Simulazione tecnico-economica di un parco di generazione idro-termoelettrico: Una tecnica per la messa a punto di contratti tra Utility e Produttori Indipendenti".

Dal 1998 al 2001 ha frequentato il corso di Dottorato di ricerca in Ingegneria Elettrotecnica, essendo risultato vincitore del concorso relativo al XIV ciclo; in tale ambito si è occupato a tempo pieno di sistemi elettrici liberalizzati (California, Spagna, Inghilterra, PJM, Italia) e di evoluzione della tariffazione per clienti idonei e vincolati nel nostro Paese.

Ha concluso il corso di dottorato con una tesi dal titolo: "Mercati elettrici liberalizzati - Analisi del funzionamento e tecniche di simulazione".

Nel frattempo, ha svolto per conto dell'Università di Pisa attività di supporto alla didattica, relativamente ai corsi di "Sistemi elettrici per l'energia II" e "Pianificazione ed esercizio dei sistemi elettrici per l'energia".

Nello stesso periodo, ha collaborato con il Dipartimento di Sistemi Elettrici e Automazione (DSEA) dell'Università degli Studi di Pisa e con alcune società di ingegneria di Pisa e Lucca per attività di simulazione e progettazione di impianti e reti elettriche, nonché per assistenza in materia energetica a piccole-medie imprese pubbliche e private.

Nell'agosto 2001 ha vinto il concorso per ricercatore universitario nel settore Sistemi Elettrici per l'Energia, afferendo al Dipartimento di Sistemi Elettrici e Automazione dell'Università di Pisa.

E' stato per otto anni membro della Giunta del Dipartimento di Sistemi Elettrici e Automazione.

Dal 2004 al 2010 è stato titolare degli insegnamenti di "Sistemi Elettrici per l'Energia - Mantenimento della qualità del vettore elettrico" (Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Elettrica) e di "Sicurezza e qualità dei sistemi elettrici" (Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Elettrica).

Attualmente insegna "Qualità e affidabilità dei sistemi elettrici" al primo anno del corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettrica.

E' responsabile scientifico di contratti di ricerca con CESI Ricerca, ENEL Ricerca, TERNA e la Società Consortile Energia Toscana, struttura che ha contribuito a costituire e a gestire; tale consorzio aggrega le principali pubbliche amministrazioni della regione Toscana per l'acquisto di energia elettrica e gas sul libero mercato, la promozione delle fonti rinnovabili e l'uso razionale dell'energia.

Le sue principali attività di ricerca sono riconducibili alle problematiche di affidabilità e sicurezza dei sistemi elettrici e a quelle di produzione, trasmissione e tariffazione dell'energia in un contesto liberalizzato, in particolare per quanto riguarda il trattamento economico e di incentivazione della generazione distribuita da fonti rinnovabili. Si occupa inoltre di mercato elettrico e del gas, nonché di valutazioni tecniche, economiche e ambientali riguardanti le diverse forme di produzione e consumo dell'energia.

Dal 2006 è presidente della sezione PI-LI-LU-GR-MS della Federazione Italiana di Elettrotecnica, Elettronica, Automazione, Informatica e Telecomunicazioni, dopo averne ricoperto per anni il ruolo di segretario.

E' autore di circa sessanta pubblicazioni, di cui oltre la metà a carattere internazionale, nell'ambito dei sistemi elettrici per l'energia.