



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,  
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



*Ministero dello Sviluppo Economico*

## RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

### Prove sperimentali su nuovo prototipo Stapelia

*G. Leonardi, A. Scognamiglio*

PROVE SPERIMENTALI SU NUOVO PROTOTIPO STAPELIA

G. Leonardi, A. Scognamiglio (ENEA)

Settembre 2011

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto: Studi e valutazioni sull'uso razionale dell'energia: tecnologie per il risparmio elettrico nell'illuminazione pubblica

Responsabile Progetto: Simonetta Fumagalli, ENEA

## **Sommario**

**Stapelia**

**Tipologia di illuminazione**

**Misure fotometriche sulla sorgente illuminante**

**Circuiti di controllo, charger treshold e automatic intelligent charge**

**Misure sui prototipi**

**Conclusioni**

## **Stapelia**

Stapelia® (brevetto ENEA) è un lampione fotovoltaico progettato per illuminare parchi, strade, aree pubbliche senza l'ausilio di energia elettrica fornita dalla rete in quanto dotato di pannelli solari disegnati "ad hoc" posti sulla sommità della struttura che lo rendono autonomo.

Nome e forma traggono origine dall'omonimo fiore tropicale, dotato di cinque petali triangolari che si chiudono a formare un pentagono durante la notte, per poi aprirsi in un motivo a stella durante il giorno.

La "corolla" di Stapelia poggia su di uno palo alto 6 metri, è composta da cinque petali triangolari costituiti da moduli fotovoltaici.

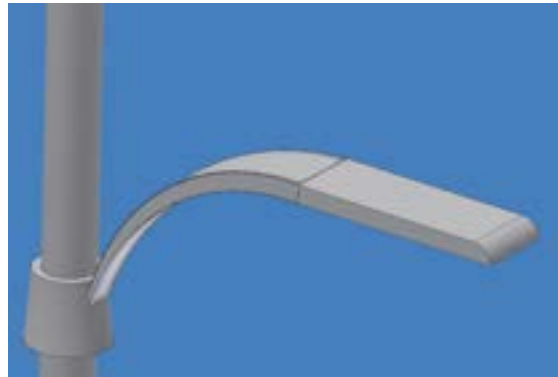
Inizialmente le sorgenti luminose, 9 led per ogni superficie per una potenza totale di 63 W, erano posizionate nella parte inferiore della struttura, mentre al centro del "fiore" era alloggiato il sistema elettrico di controllo. Inoltre al fine di consentire una illuminazione diffusa e piacevole, le sorgenti luminose erano schermate da fogli di Plexiglas opalino.

Ovviamente la struttura può essere impiegata anche per altri scopi oltre a quello dell'illuminazione, quali, sistemi di video sorveglianza, raccolta dati ambientali e/o meteorologici, viabilità, scopi ricreativi nei parchi giochi, ponti ripetitori di segnali, ecc.

Il progetto quindi si prefigge di creare una struttura autoalimentata che possa avere parecchi impieghi e che possa adattarsi alle diverse esigenze.

### **Tipologia di illuminazione**

L'idea è quella di posizionare le sorgenti luminose non più a 6 metri di altezza ma dotare Stapelia di un apparecchio di illuminazione, "foglia", che possa essere posizionata lungo il palo in modo da avvicinare la sorgente luminosa all'area da illuminare aumentando di conseguenza l'efficacia del sistema.



E' stato realizzato un apparecchio di illuminazione (design proposto da ENEA-Portici) in lamiera elettrosaldata di circa 10 kg.



Tale apparecchio è stato cablato con 18 leds di potenza con relative lenti secondarie per

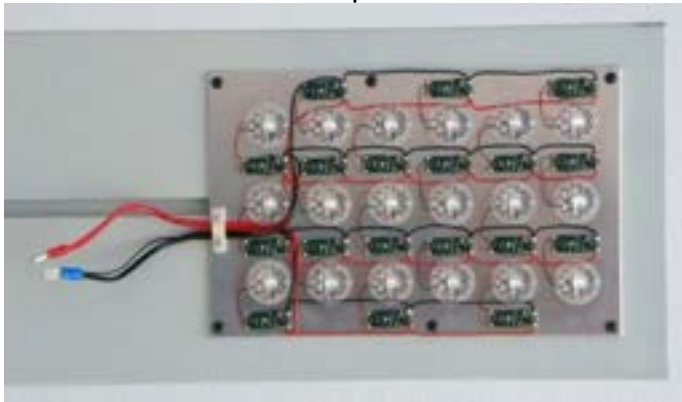
una potenza totale di 30W, i collegamenti elettrici sono contenuti all'interno della foglia stessa e la loro alimentazione è assicurata con cavi che corrono all'interno del palo. Sono stati utilizzati leds con efficienza di 118 lm/W temperatura di colore 6.700°K con lenti secondarie speciali, asimmetriche, in grado di coprire aree notevoli con buon illuminamento.

In particolare, la sorgente illuminante è composta da una piastra di dimensioni 150 x 235 mm su cui sono montati 18 leds di potenza che lavorano a 1,2 W cadauno per un totale di 22 W di consumo elettrico; ogni led è alimentato singolarmente con proprio circuito switching ad alta efficienza (tipico 85%) con corrente costante di 350mA.

La dissipazione del calore è garantita dal fatto che la piastra su cui sono montati i leds è fissato alla struttura meccanica di metallo della foglia che garantisce un'ottima dissipazione dei componenti attivi facendoli lavorare a temperature molto al di sotto dei 45°C spostando così la curva di vita dei leds stessi a più di 70.000 ore.

L'utilizzo di leds di potenza con lenti secondarie e alimentati singolarmente in parallelo seppur più costoso e laborioso rispetto a soluzioni di connessione serie di leds ha il grande pregio di conservare una buona efficienza del sistema anche in caso di guasto ad un singolo led.

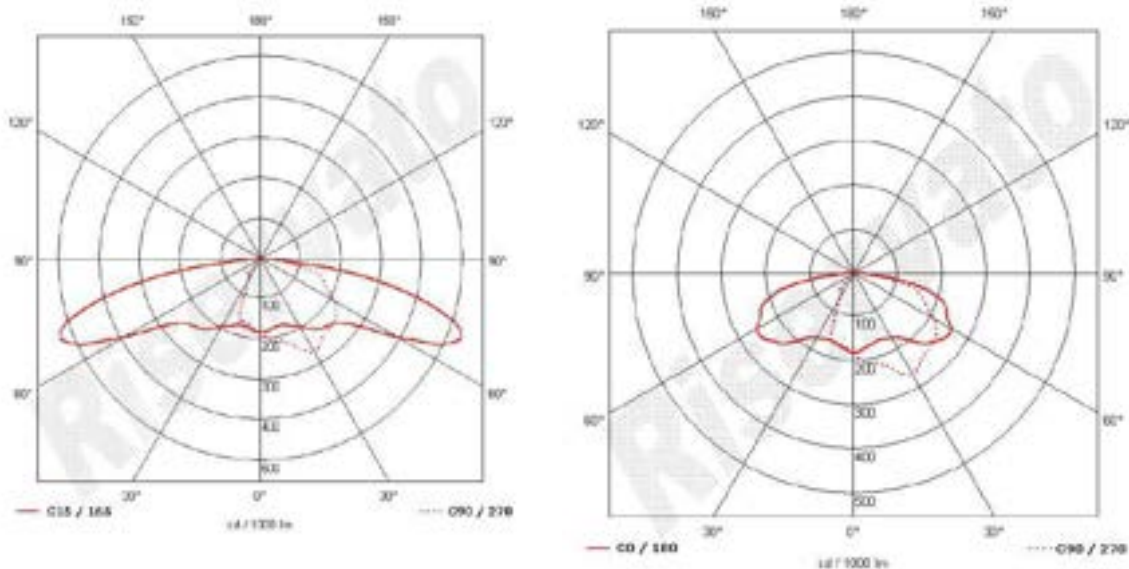
Le lenti secondarie posizionate sui leds direttamente sul circuito elettronico rendono la struttura illuminante compatta e robusta.



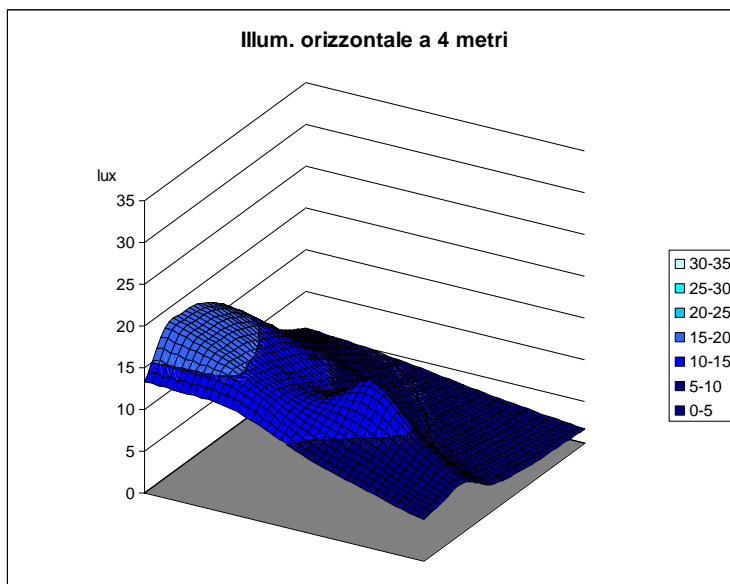
L'alimentazione della matrice di leds è 6 Vcc con assorbimento complessivo di 4 ampere circa. I leds impiegati sono attualmente progettati per funzionare 1.2 W in realtà sono leds da 3 W cadauno è quindi possibile ottenere prestazioni maggiori da valutare attentamente in funzione del bilancio energetico PV-batteria-LED e dalle prestazioni richieste per Stapelia stessa.

### **Misure fotometriche sulla sorgente illuminante**

Il prototipo dell'apparecchio di illuminazione realizzato per Stapelia è stato testato nel laboratorio Corvo dell'Enea di Ispra. Sono stati misurati gli illuminamenti prodotti dalla sorgente luminosa e i parametri elettrici dell'apparecchio.



A 4 metri di altezza il prototipo fornisce un illuminamento medio di 8.6 lux su un'area di 60 m<sup>2</sup> (5.5 mX11 m) con un assorbimento di circa 30 watt.



### **Electronica di controllo e sistema di storage**

Per il sistema di storage dell'energia prodotta dai pannelli PV si è optato per una batteria da 6V, 160Ah. Tale sistema è sufficiente per garantire un'autonomia d'illuminazione di 40 ore consecutive che corrispondono a quattro notti con 10 ore di accensione per notte. Questa stima è valida con un apparecchio di illuminazione a 18 leds pilotati a 1.2 W cadauno, l'autonomia va rivista qualora s'impieghino due o più "foglie" illuminanti o si decida di aumentare la corrente di pilotaggio dei leds per un flusso luminoso maggiore.

Tra tutte le batterie esistenti attualmente in commercio si è scelta una batteria al piombo-gel per trazione, adatta a frequenti cicli di carica/scarica con grandi capacità di scariche profonde senza danneggiamenti il cui rapporto prestazioni/prezzo è risultato il

più conveniente tra le varie tipologie di batterie.

Particolare cura è stata posta nella ricarica della batteria, progettando un circuito in grado di caricare la batteria stessa in diverse fasi, con diverse correnti e attuando un'analisi preliminare sullo stato di carica residuo prima di un nuovo ciclo di ricarica.

I cinque pannelli fotovoltaici di Stapelia generano tensioni che possono essere diverse e indipendenti ognuno con potenza  $P_p=47W_p$  circa; questo significa che in funzione dell'insolazione ogni "petalo" può fornire tensioni da 7 a 12 volt circa o più basse con correnti che al massimo arrivano a 5-5,5A nelle migliori condizioni.

Ogni petalo di Stapelia è stato collegato in parallelo con gli altri disaccoppiandolo opportunamente con diodo in modo da ottenere una tensione unica che può variare tra i 7 e i 12V con correnti che vanno da qualche ampere a 15-20A.

La connessione in parallelo genera una tensione finale più bassa ma ogni petalo fornisce energia per quanto illuminato dal sole e la corrente che può generare interessa in maniera univoca il pannello fotovoltaico del petalo stesso.

Quindi una volta ottenuta una tensione unica dal contributo dei cinque petali, intervengono il circuito di charger e di charger che provvederanno a caricare la batteria stessa secondo un preciso schema di carica.

Il circuito di carica è a doppio stadio, in grado di caricare a corrente costante la batteria con correnti adeguate che sono funzione della temperatura, dello stato di carica residua della batteria stessa e termina la carica con un'adeguata corrente di mantenimento.

In particolare, quando il charger threshold abilita il charger, avviene un controllo di carica con erogazione di una piccola corrente "TRICKLE CURRENT" sino al raggiungimento della VT (tensione di threshold) che nel nostro caso è 5,2 V.

Raggiunto tale livello il circuito eroga il massimo della corrente (5 A per stadio per un totale di 10 A).

In tale stato, il charger, rimane sino al raggiungimento dello stato di OVER CHARGE (Voc) che nel nostro caso è fissato a 7,65 V.

Raggiunto tale stato di carica, la corrente scende proporzionalmente sino allo stato di FLOATING VOLTAGE (tipico 7,05 V) con una corrente di mantenimento di circa 1/10 di  $I_{max}$ .

A questo punto il sistema è pronto a ripartire qualora il carico cominci a scaricare la batteria in condizioni di luce, posizionando il charger ad un punto che può essere intermedio nel processo di carica, perché è funzione dell'analisi fatta dal charger stesso. Se viene utilizzata energia quando è buio (sarà quasi sempre così) è ovvio che il caricabatterie risulterà sconnesso e ripartirà col ciclo appena descritto all'alba del giorno successivo.

In questo progetto non viene controllata la profondità di scarica della batteria perché automaticamente, qualora si verificasse una condizione particolarmente sfavorevole che non permettesse la ricarica della batteria, il sistema bloccherebbe le accensioni per tensioni più basse di 4 V impedendo così la scarica profonda inferiore al 35%, preservando automaticamente la vita della batteria senza ulteriori accorgimenti.

### **Circuiti di controllo, charger threshold e automatic intelligent charge**

Questo circuito è un po' il supervisore del sistema intero, in quanto provvede al controllo ed all'abilitazione delle due sezioni del charger in funzione del rendimento dei pannelli

solari, abilita il crepuscolare di accensione/spegnimento luci, controlla il power sharing. Il controllo delle due sezioni del charger è molto importante per evitare pericolosi stress ai pannelli solari stessi e per farli lavorare al meglio in funzione della propria insolazione.

In particolare, il charger treshold, ha due soglie di riferimento per la tensione generata dai pannelli e queste due soglie sono impiegate per comandare le due sezioni del charger.

La prima soglia di 9 V fa intervenire la prima sezione del charger con I<sub>max</sub> di 5 A, la seconda soglia di 10 V aggancia anche la seconda sezione del charger in modo da erogare una corrente massima complessiva di 10 A.

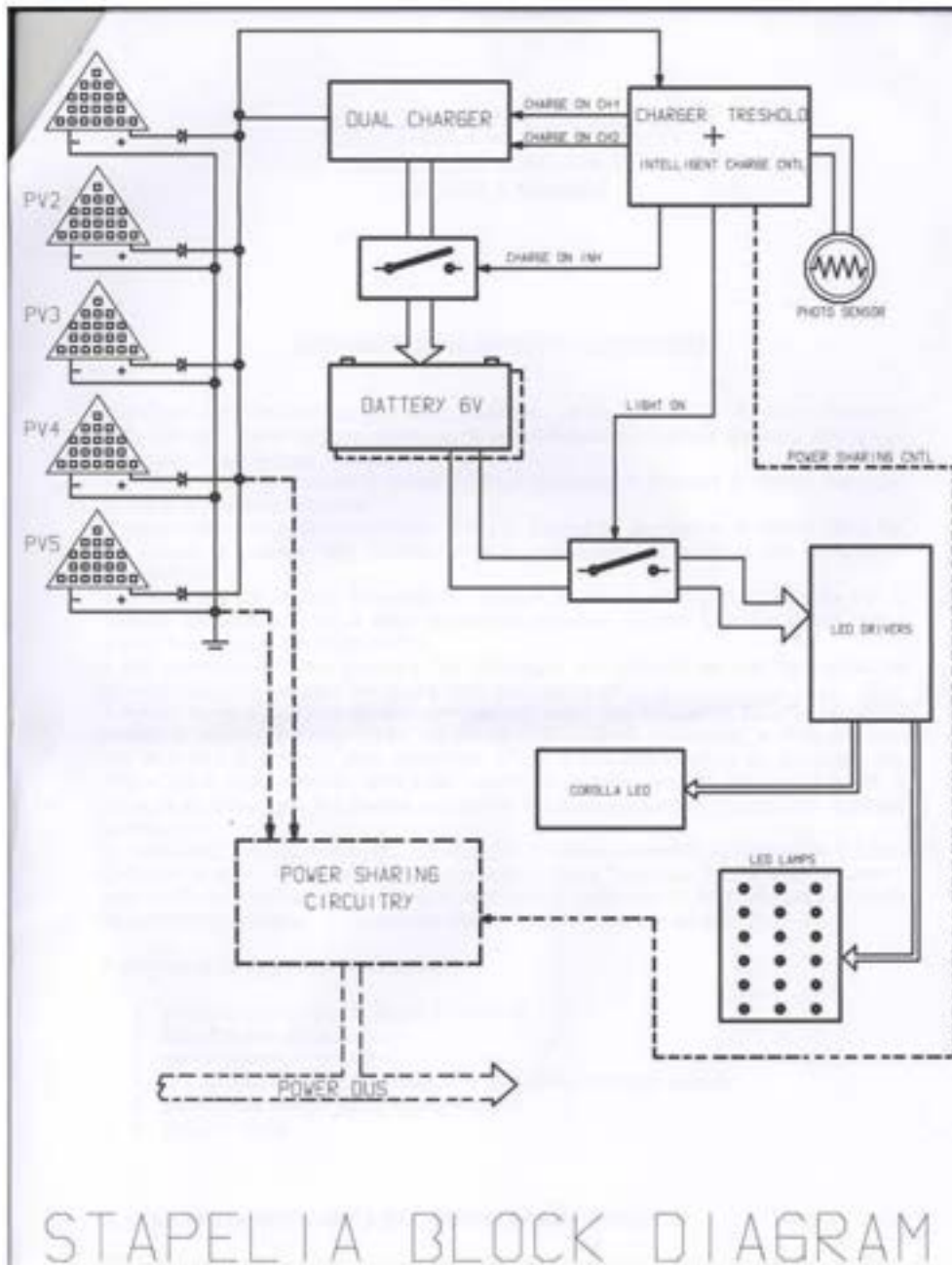
Si precisa che la scelta anche in questo caso di doppia sezione indipendente permette di caricare la batteria anche in caso di guasto di una sezione del charger; certo, con correnti dimezzate, ma comunque una sufficiente carica di energia in grado di tenere il sistema attivo per due giorni.

Un controllo accurato del rendimento dei pannelli, inoltre, permette di gestirli regolarmente senza comprometterli seriamente anche al mattino presto o di sera all'imbrunire, perché in condizione di scarso rendimento dei pannelli per scarsa illuminazione, il circuito provvederà ad inviare informazioni necessarie al charger al fine di ridurre la corrente erogata.

Un'ultima considerazione: tale circuito lavora con la tensione generata dai pannelli stessi e si accende e spegne automaticamente all'alba ed al tramonto.

Un crepuscolare (comparatore con soglia variabile) consente l'accensione e lo spegnimento automatico dei leds in funzione della luce solare questo circuito funziona con la tensione di batteria.

Maggiori dettagli sono riportati nel Report RdS/2010/247 dal titolo "Progetto Stapelia (OMEGA Impianti)".



STAPELIA BLOCK DIAGRAM

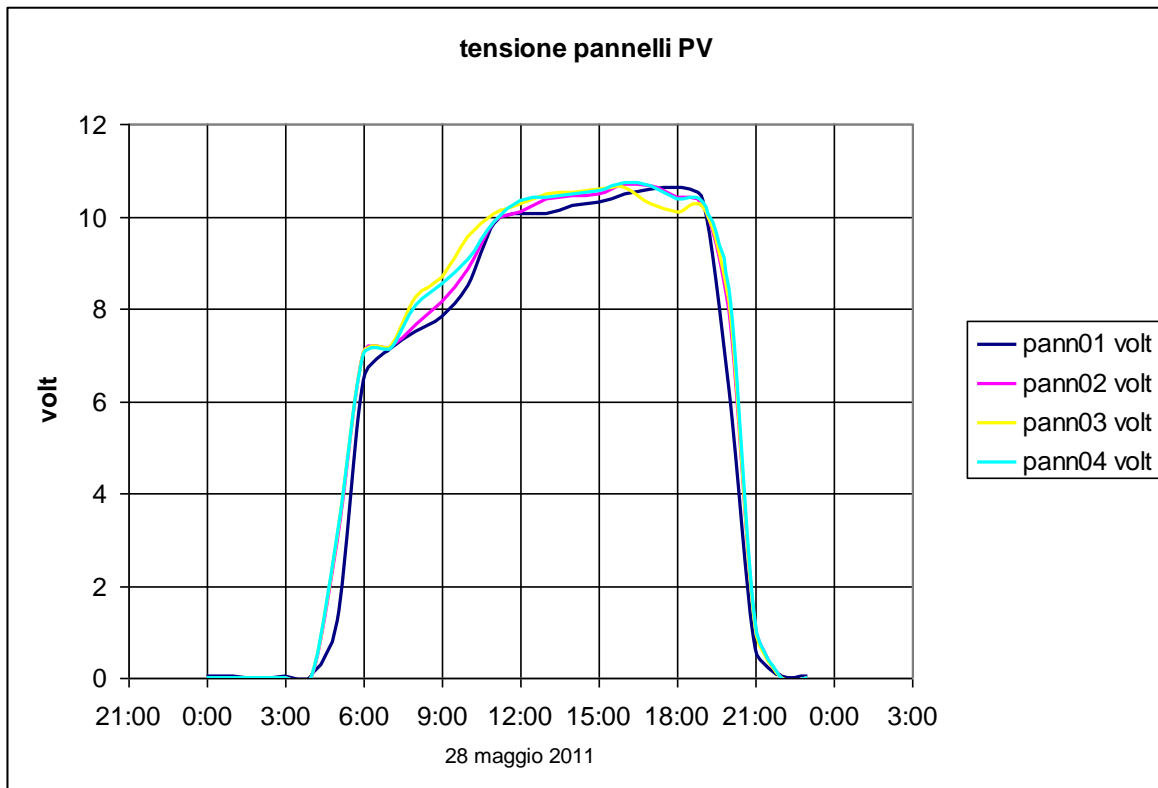
### Misure sui prototipi

Questa fase di messa a punto e collaudo vero e proprio serve a migliorarne le prestazioni, nonché a proporre modifiche o aggiunte a quanto progettato.

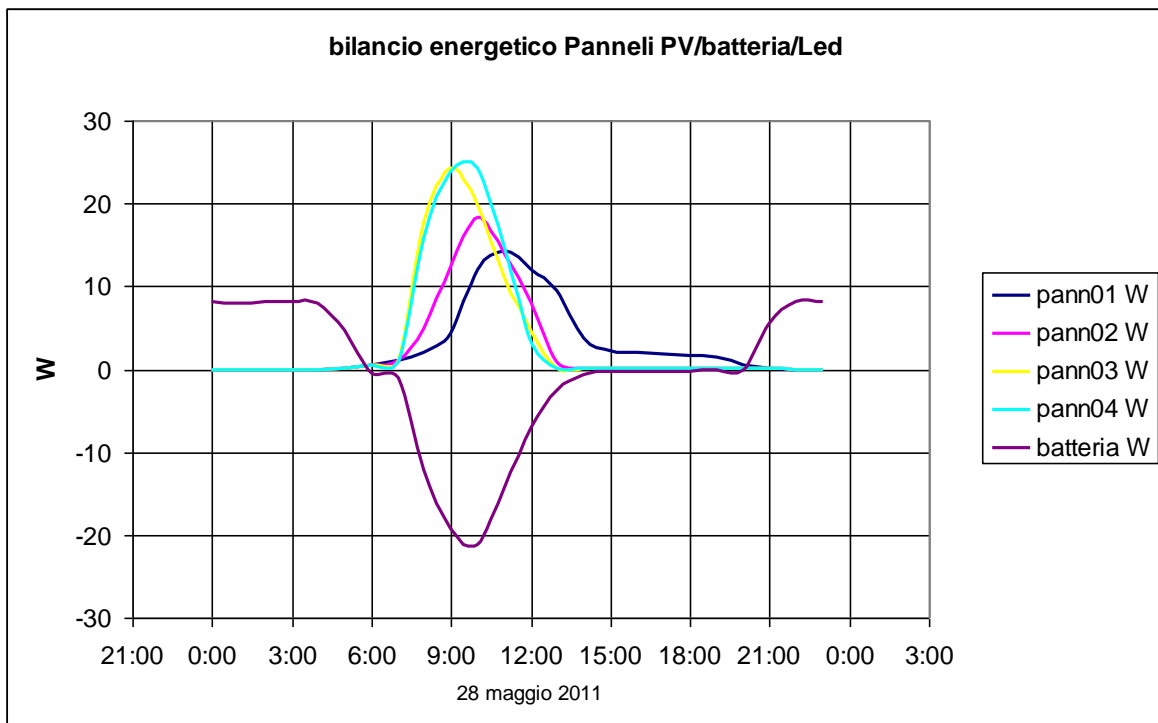
Il sistema Stapelia, composto da pannelli fotovoltaici, circuito elettronico di controllo, batteria per lo storage e sorgenti luminose, è stato cablato e installato al Centro Enea di Ispra. Il sistema è stato strumentato al fine di misurare tensione e corrente di uscita di ciascun pannello fotovoltaico, tensione e corrente di carica/scarica della batteria e tensione e corrente assorbita dalle sorgenti luminose.

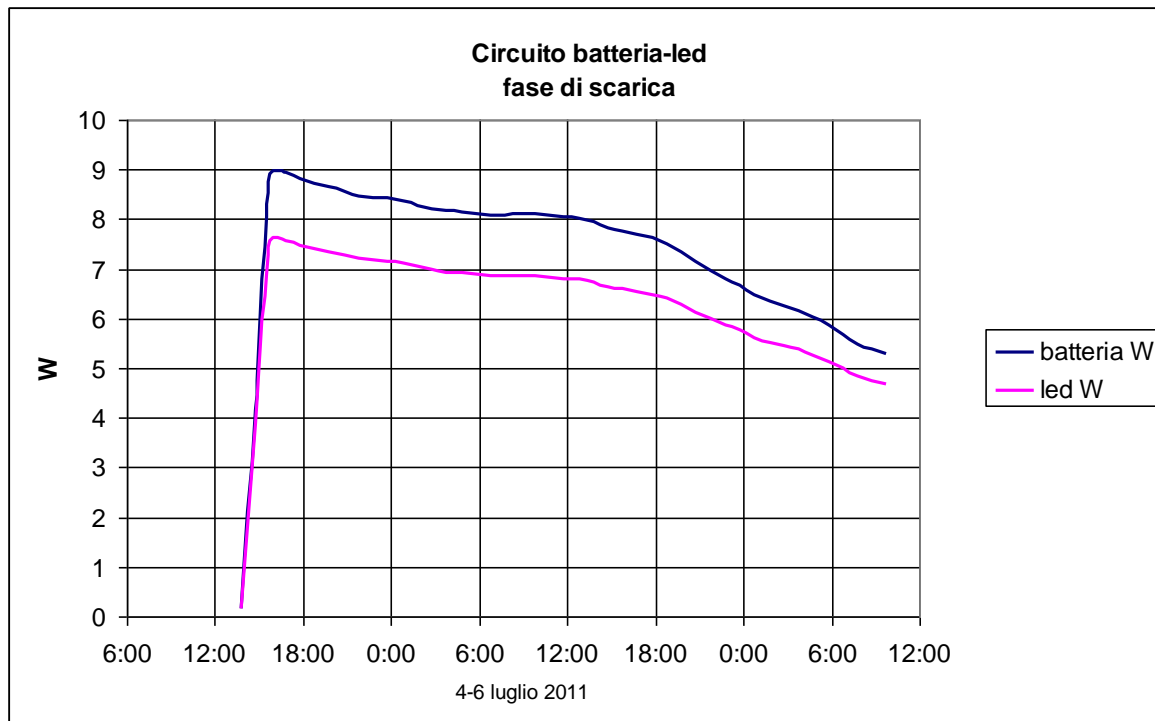
Sono stati acquisiti i parametri elettrici sia nella fase di carica della batteria che nella

fase di accensione dei led che corrisponde alla fase di scarica della batteria. Questa fase è stata forzata fino a 40 ore al fine di valutare la capacità di durata della batteria in mancanza della fase di carica (giornate sfavorevoli per quanto riguarda l'insolazione).



NB solo 4 pannelli pv su 5 sono stati collegati





### Conclusioni

Gli aspetti presi in considerazione durante la fase di collaudo sono stati:  
 le caratteristiche della batteria al fine di ottimizzare i bilanci energetici tra pannelli PV e led;  
 scelta della tensione della batteria e capacità in termini di Ah;  
 la capacità del sistema di gestione di ottimizzare la carica della batteria anche con pannelli PV aventi tensioni differenti;  
 scelta della potenza assorbita dalla sorgente luminosa in funzione dei livelli di illuminamento voluti e della capacità del sistema di mantenerli per il tempo previsto.