



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



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Progetto Stapelia

A. Balzarotti

Report RdS/2010/247

PROGETTO STAPELIA

Alessio Balzarotti, Omega Impianti

Settembre 2010

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Usi Finali

Tema: Tecnologie per il risparmio energetico nell'illuminazione pubblica

Responsabile Tema: Simonetta Fumagalli, ENEA

Sommario

CONSIDERAZIONI GENERALI – PREMESSA	3
1) STRUTTURA MECCANICA DEL CORPO ILLUMINANTE	3
2) TIPOLOGIA D'ILLUMINAZIONE	4
3) SISTEMA DI CARICABATTERIE E TIPOLOGIA DI BATTERIA	5
4) CIRCUITI DI CONTROLLO, CHARGER TRESHOLD E AUTOMATIC INTELLIGENT CHARGE	7
5) CREPUSCOLARE DI ATTIVAZIONE/SPEGNIMENTO	7
6) POWER SHARING	7
CONCLUSIONI	8
ALLEGATO 1	9
ALLEGATO 2	10
ALLEGATO 3	11
ALLEGATO 4	11
ALLEGATO 5	12

CONSIDERAZIONI GENERALI – PREMESSA

Stapelia è una struttura per illuminazione a forma stilizzata del fiore dell'omonima pianta progettata per illuminare parchi, strade, aree pubbliche senza l'ausilio di energia elettrica fornita dalla rete in quanto dotata di pannelli solari disegnati "ad hoc" posti sulla sommità della struttura stessa (petali) che la rendono autonoma.

Il "fiore" di Stapelia è la parte captatrice di energia mentre particolari "foglie" sono le strutture che portano gli elementi illuminanti che fissati al palo di sostegno trasformano di fatto l'intera struttura in lampione per illuminazione.

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.

Pertanto il progetto realizzato interessa l'intero sviluppo di Stapelia ed è articolato nei successivi punti.

1) STRUTTURA MECCANICA DEL CORPO ILLUMINANTE

Questa struttura è la "foglia" della Stapelia, cioè il corpo meccanico attaccato al palo di sostegno che alloggia l'elemento illuminante e che fa di Stapelia un lampione.

L'idea è quella di dotare Stapelia di una foglia che possa essere posizionata attorno al palo in modo da indirizzare la luce ove necessari; ovviamente la foglia può essere più di una in modo da adeguare Stapelia alle diverse esigenze illuminotecniche richieste siano esse di flusso luminoso e/o di aree da illuminare.

Per Stapelia è stata impiegata una illuminazione realizzata con leds di potenza opportunamente posizionati e pilotati in modo tale da ottenere il massimo dell'efficienza possibile.

Sono stati sviluppati a tale proposito due prototipi radicalmente diversi; il primo impiegante strisce di leds di potenza posizionate su una struttura molto fine simile come consistenza e forma ad una vera e propria foglia, il secondo invece impiega leds di potenza con lenti secondarie particolari e la struttura meccanica stessa ha sembianze più di un lampione vero e proprio.

Nel primo prototipo i leds sono posizionati sotto la foglia in una sorta di nervatura e vengono resinati per essere impermeabili agli agenti atmosferici (*allegato 1*).

Questa struttura illuminante non ha lenti secondarie ed arriva ad illuminare una zona circolare di 12 metri di diametro con un illuminamento relativamente modesto di 7-8 lux al suolo per un posizionamento della foglia stessa a 4 metri d'altezza; il consumo di questa struttura è di circa 36W.

La seconda struttura (*allegato 2*) è radicalmente differente dalla prima in quanto impiega 18 leds di potenza con relative lenti secondarie e grazie a tali lenti è possibile

illuminare aree maggiori con flussi luminosi più elevati impiegando meno di 30W di potenza elettrica.

Entrambi i progetti sono validi con pregi e difetti, tuttavia, in accordo con le scelte effettuate da Enea-Portici si preferisce l'impiego della seconda soluzione perchè più efficiente della prima anche se la struttura stessa non assomiglia più ad una foglia vera e propria bensì ad un moderno braccio illuminante.

Attualmente le due strutture sono prototipi realizzati in lamiera elettrosaldata ed il loro peso è di 8 kg. circa per la prima struttura e di 10 kg. circa per la seconda.

L'utilizzo di altre tipologie di materiali può sensibilmente diminuire il peso complessivo della struttura stessa; i collegamenti elettrici con i leds sono contenuti all'interno della foglia stessa e la loro alimentazione è assicurata con cavi che corrono all'interno del palo.

Mentre nel primo prototipo i leds sono a strisce e sono posizionati e resinati all'interno della nervatura sottostante la foglia stessa, per il secondo prototipo la piastra che reca a bordo i leds di potenza verrà incassata nella parte finale inferiore della struttura, quella parte che è più a sbalzo rispetto al palo e che si trova in posizione orizzontale rispetto al terreno.

2) TIPOLOGIA D'ILLUMINAZIONE

Come già accennato, è stata abbandonato l'impiego della striscia luminosa di potenza a favore di leds di potenza con lenti secondarie.

Tale scelta è frutto di diverse considerazioni e tests ma la considerazione più importante e decisiva è stata quella di poter utilizzare leds con efficienza di 118 lm/W @ 6.700°K con lenti secondarie speciali, asimmetriche, in grado di coprire aree notevoli con buon illuminamento, sino ad interdistanze tra palo e palo con un rapporto 3,5 (*grafici fotometrici allegati 3 e 4*).

In particolare, la sorgente illuminante è composta da un circuito con 18 leds di potenza che lavorano a 1,2 W cadauno per un totale complessivo di 22 W di consumo elettrico; ogni led ha temperatura di colore bianco 6.700°K ed è alimentato singolarmente con proprio circuito switching ad alta efficienza (tipico 85%) con corrente costante di 350mA. Tale scelta è voluta perchè questa matrice di dimensioni 150 x 235 mm. fa lavorare i 18 leds tutti sulla stessa area quindi l'illuminamento totale è dato dal contributo di ogni singolo led.

Qualora si verificasse un guasto ad un led verrebbe penalizzato solo quel componente in quanto alimentato singolarmente e l'illuminamento totale verrebbe a meno per 1/18 del flusso complessivo totale; questo è praticamente impercettibile.

Questa scelta seppur più costosa e laboriosa rispetto a soluzioni di connessione serie di leds ha il grande pregio di conservare una buona efficienza del sistema anche in caso di guasti.

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

L'alimentazione della matrice di leds è 6 V con assorbimento complessivo di 4A circa.

I leds impiegati sono in realtà leds da 3 W cadauno e quindi possiamo chiedere di più dei 1,2 W attualmente progettati, ma tale scelta sarà da valutare attentamente in funzione dell'energia immagazzinata e dalle prestazioni volute per Stapelia stessa.

Se diamo uno sguardo alle curve illuminotecniche prodotte con le lenti impiegate ci

accorgiamo che questa matrice può essere tranquillamente posizionata attaccata al palo di sostegno di Stapelia ottenendo ancora una buona illuminazione al suolo; questo fatto potrebbe rivoluzionare il concetto di “foglia” sviluppato in precedenza perchè basterebbe una piccola struttura a sbalzo adatta a reggere in orizzontale la matrice di leds.

Il prototipo di matrice sviluppato come già detto, impiega leds a luce fredda con bianco a 6.700K perchè con tale colorimetria si raggiungono i 118 lm/W; preferiamo l'impiego di leds con temperatura di colore più bassa, più calda, attorno ai 4.500K, perchè la qualità della luce è migliore anche se il flusso luminoso totale verrebbe penalizzato di 10-12% rispetto a quello ottenuto impiegando leds a 6.700K; anche questo punto sarà frutto di discussioni ma il progetto elettronico rimane invariato, eventualmente, si può recuperare il flusso perso a causa dell'impiego di una luce più calda, aumentando del 10-15% la corrente di pilotaggio dei leds per compensare il flusso perso.

Un'ultima considerazione è relativa al bilancio termico.

La piastra su cui sono montati i leds è un circuito a conduzione di calore che è fissato alla struttura meccanica di metallo della foglia; questo fa sì che vi sia un'ottima dissipazione dei componenti attivi facendoli lavorare a temperature abbondantemente inferiori ai 45°C spostando così la curva di vita dei leds stessi a più di 70.000 ore.

3) SISTEMA DI CARICABATTERIE E TIPOLOGIA DI BATTERIA

Visto la strategia d'illuminazione impiegata (led singolo più lente secondaria) con tensione di alimentazione di 6 V, ho calcolato che una batteria da 6 V, 160A/Hr può essere sufficiente per garantire un'autonomia d'illuminazione di 40 ore consecutive che corrispondono a quattro notti con 10 ore di luce per notte.

Questi calcoli sono validi con un sistema di foglia illuminante a 18 leds pilotati a 1,2 W cadauno, ovviamente 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.

E' stato valutato attentamente l'impiego di diverse tipologie di batterie esistenti attualmente in commercio (piombo, Ni-CD, Ni-MH, litio) ed si è optato per una batteria al piombo-gel per trazione, adatta a frequenti cicli di carica/scarica con grandi capacità di scariche profonde senza danneggiamenti.

Originariamente la scelta era caduta su batterie Ni-MH perchè tali batterie sono in grado di immagazzinare notevoli quantità di energia in volumi e pesi ridotti, ma il rapporto prestazioni/prezzo per una 160A/Hr è ancora troppo conveniente a favore delle batterie PbSO₄.

E' stata testata praticamente la serie C500 della Sonnenschein da 12V ed i risultati sono stati eccezionali!

Per quanto riguarda il posto ove riporre la batteria stessa, è scontato che debba essere una sorta di box ispezionabile ai piedi di Stapelia che può anche essere interrato attuando gli opportuni accorgimenti: l'idea originaria di includere tutto all'interno del palo di Stapelia non è più perseguibile a meno di ridurre fortemente autonomia e potenza luminosa.

A questo punto è stata posta particolare cura 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 residua prima di un nuovo ciclo di ricarica.

Innanzitutto, Stapelia, genera con i suoi cinque petali, tensioni che possono essere diverse e si comportano come cinque generatori indipendenti ognuno con potenza $P_p=47W_p$ circa; questo significa che in funzione dell'insolazione favorevole o meno, ogni petalo può fornire tensioni di 10-11V o 7-8V o più basse con correnti che al massimo arrivano a 5-5,5A nelle migliori condizioni.

Ogni petalo di Stapelia verrà 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; la connessione serie ha il pregio di generare una tensione più elevata ma talvolta il pannello che si trova non a favore di luce o addirittura in ombra è attraversato da correnti che per mancata insolazione non può fornire, stressando inutilmente le celle non propriamente illuminate. Questo fenomeno di non equalizzazione di ogni petalo è inevitabile visto l'orientamento diverso dei petali tra loro.

Quindi una volta ottenuta una tensione unica dal contributo dei cinque petali, intervengono il circuito charger treshold (che descriverò in seguito) ed il charger i quali fanno un'analisi dell'energia disponibile e 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 treshold abilita il charger, avviene un controllo di carica con erogazione di una piccola corrente "TRICKLE CURRENT" sino al raggiungimento della VT (tensione di treshold) 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 di buio persistente, 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.

4) CIRCUITI DI CONTROLLO, CHARGER TRESHOLD 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_{max} 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.

5) CREPUSCOLARE DI ATTIVAZIONE/SPEGNIMENTO

Questo circuito è una parte del CHARGER TRESHOLD ed ha funzione di semplice crepuscolare (comparatore con soglia variabile) che consente l'accensione e lo spegnimento automatico dell'illuminazione al suolo e della corolla di Stapelia in funzione della luminosità ambientale.

Questo circuito funziona con la tensione di batteria.

6) POWER SHARING

Questo circuito ha la funzione di rendere disponibile l'energia prodotta da un singolo Stapelia, in una sorta di "rete" per altri Stapelia.

L'idea nasce dal fatto che qualora si verifici il caso di batteria completamente caricata con ancora una condizione sufficiente di insolazione in grado di produrre energia, tale energia prodotta in surplus verrebbe resa disponibile in "rete" in modo da essere

utilizzata da altri stapelia che hanno un'insolazione sfavorevole con la necessità di caricare le proprie batterie.

Ovviamente questa funzione fa perdere la qualità di stand-alone di Stapelia perchè presuppone l'interconnessione cablata delle Stapelia nel circuito di power sharing; ma offre d'altro canto la possibilità di equalizzare tutte le batterie di tutte le Stapelia allo stesso modo.

Naturalmente quest'ultima opzione va attentamente valutata ed è strettamente funzione del luogo ove vengono poste le Stapelia.

L'energia prodotta in surplus verrebbe trasformata in tensione più elevata in modo da limitare la caduta di corrente (perdita) nei cavi di interconnessione per il trasferimento di energia.

Tale tensione viene poi riportata ad una tensione equalizzata all'interno delle singole Stapelia che sfruttano il power sharing per caricare le proprie batterie.

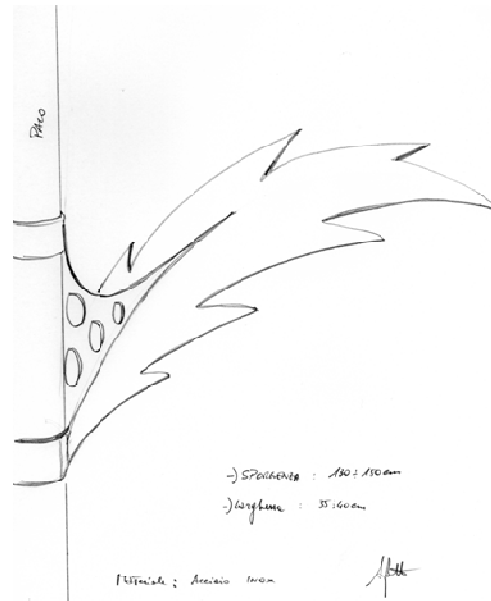
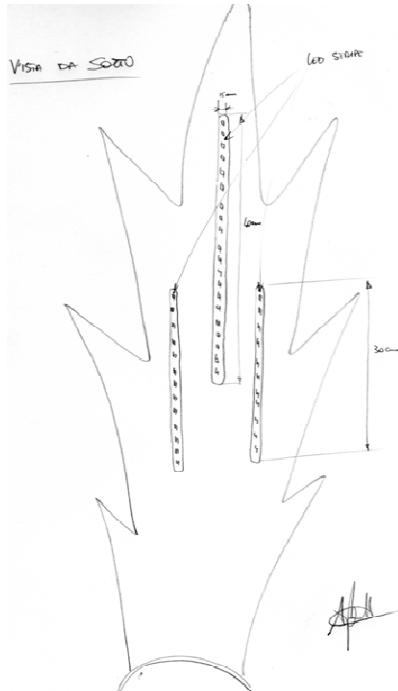
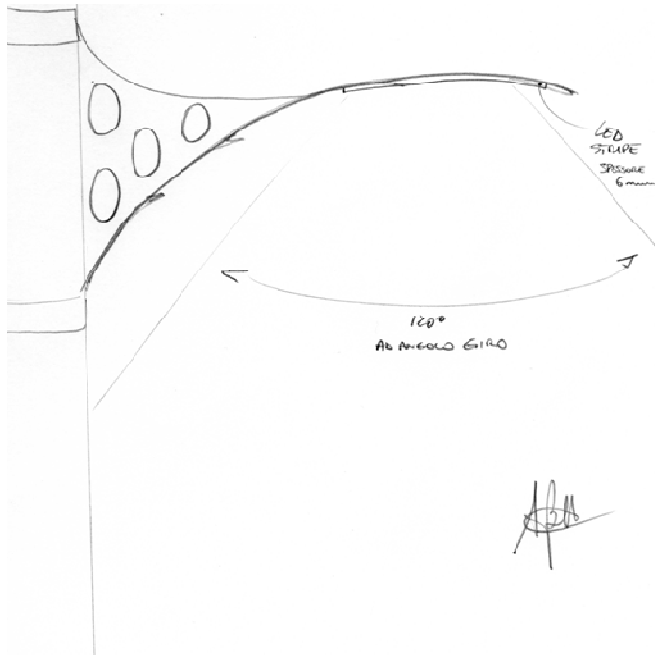
Allegato block diagram dell'intero progetto (*allegato 5*)

CONCLUSIONI

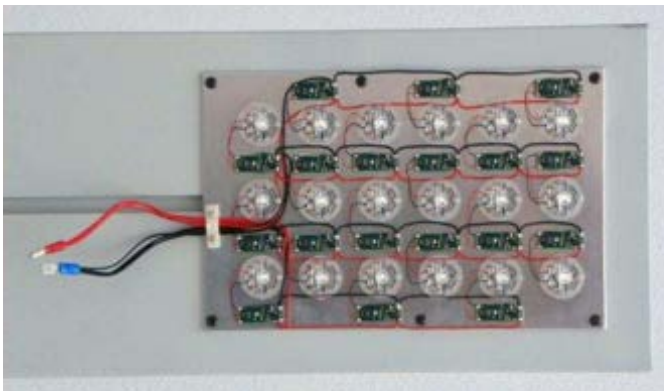
I circuiti sopra esposti sono stati progettati e realizzati a livello di prototipo funzionante secondo le funzioni descritte.

Ovviamente seguirà una fase di messa a punto e collaudo vero e proprio con le discussioni del caso che servono a migliorarne le prestazioni, nonché a modifiche o aggiunte a quanto progettato.

ALLEGATO 1



ALLEGATO 2



ALLEGATO 3

AL MOMENTO RISERVATO

ALLEGATO 4

AL MOMENTO RISERVATO

ALLEGATO 5

