

# REGOLATORE DI CARICA PER PANNELLI SOLARI

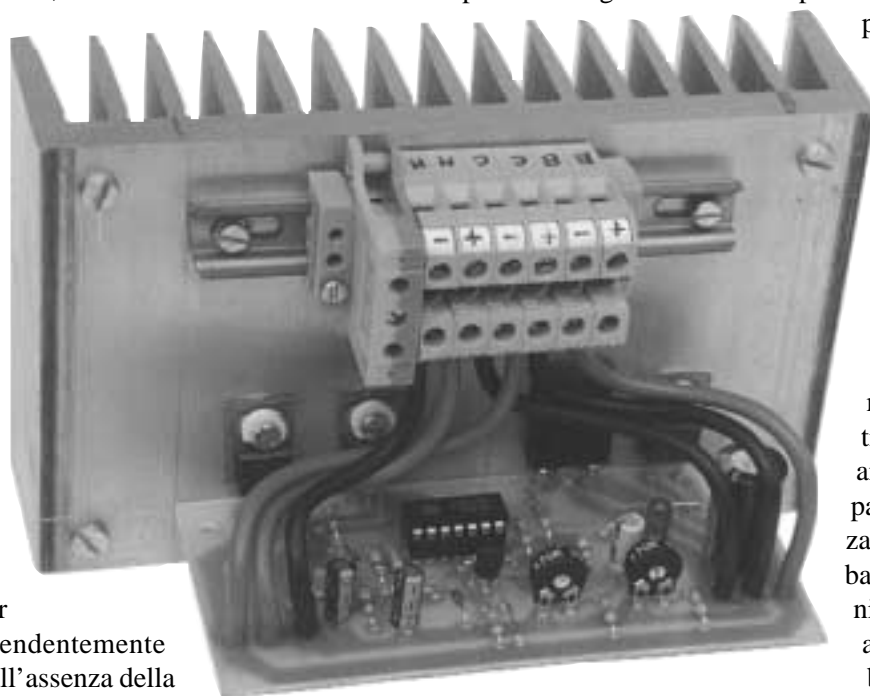
**Collegato fra il pannello e le batterie consente di limitare l'afflusso di corrente in queste ultime quando si sono caricate a sufficienza: interrompe invece il collegamento con l'utilizzatore quando la batteria è scarica o quando la tensione è troppo bassa. Il circuito è in grado di lavorare con correnti massime di 15 A.**

Per realizzare un buon impianto elettrico ad energia solare non basta il semplice pannello e l'eventuale regolatore di tensione, ma occorre necessariamente disporre di una o più batterie che possano accumulare energia nelle ore diurne per poi restituirla quando fa buio; diversamente gli utilizzatori possono funzionare soltanto in presenza della luce del sole. La gran parte dei dispositivi alimentati con celle solari deve poter funzionare indipendentemente dalla presenza o dall'assenza della luce del sole, quindi la batteria è sicuramente necessaria per dare corrente quando non la dà più il pannello. Ma non solo; spesso le batterie servono anche per un motivo un po' meno intuibile ma

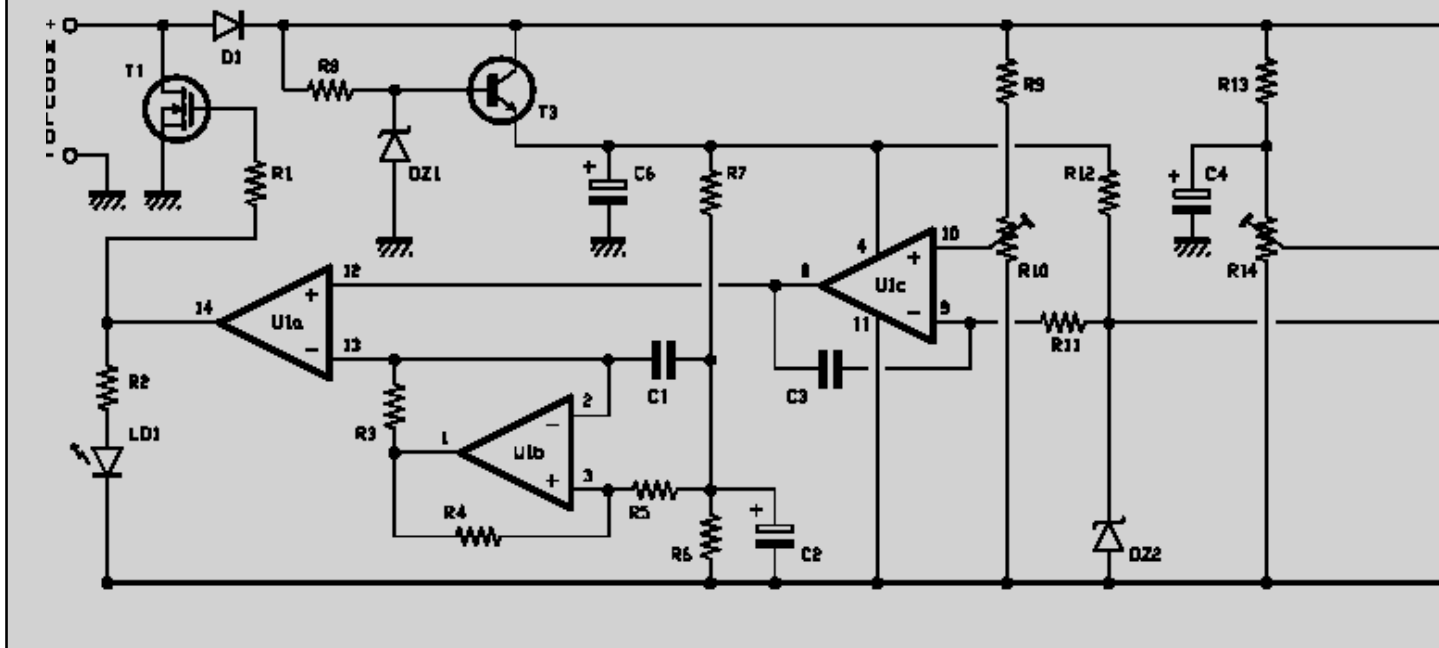
ineccepibile: potendo immagazzinare una certa quantità di elettricità, più o meno grande a seconda del tipo, possono erogare correnti ben più elevate di quanta se ne

possa chiedere alle celle solari, pur essendo caricate sempre da queste ultime. Volendo fare un esempio, un pannello solare in grado di erogare 1 A di corrente non può, da solo, alimentare un dispositivo che assorbe 2 ampère; però, se il pannello viene utilizzato per caricare una batteria che può fornire in scarica 2, 3 ampère o più, il problema è risolto: il

pannello carica la batteria che, quando serve, alimenta l'utilizzatore. Chiaramente in questo caso è impensabile che il carico funzioni a regime continuo, dato che la corrente fornita dal pannello solare è mino-



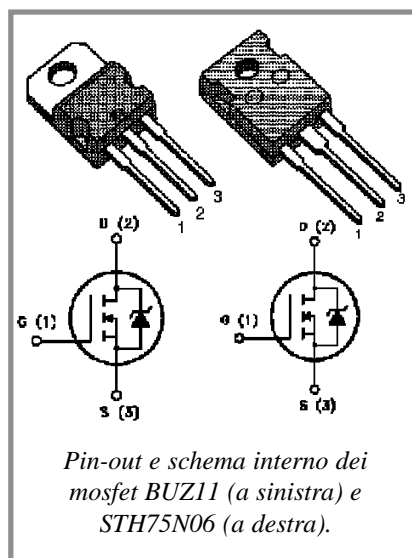
## schema elettrico



re di quella che esso richiede; per la precisione, l'utilizzatore può essere alimentato per un periodo di tempo rapportato alla quantità di corrente data nello stesso periodo dal pannello solare. Riprendendo l'esempio fatto in precedenza, se il pannello può erogare 1 A ed il carico richiede 2 ampère, ammettendo che la batteria possa essere caricata per 10 ore al giorno, il carico potrà funzionare per poco meno di 5 ore, salvo eccezioni. Conti a parte, per gestire un impianto ad energia solare e per fare in modo che questo possa caricare la batteria con una corrente pressoché costante, interrompendo la corrente stessa quando la batteria è a piena carica, bisogna disporre di un particolare regolatore che solitamente è allo stato solido: un circuito elettronico del tipo di quello proposto in questo articolo. Il nostro, oltre a regolare la carica della batteria sospendendola quando si arriva al valore limite, permette di gestire il carico, collegandolo quando la tensione della batteria è sufficiente a tenerlo in funzione, e scollegandolo quando invece la tensione di batteria è troppo bassa. Insomma, il nostro regolatore di carica è un completo gestore del funzionamento di un impianto a celle solari, e può lavorare controllando carichi la cui corrente complessiva non superi i 15A. Ma vediamo bene di cosa

si tratta analizzando il circuito elettrico visibile in queste pagine: il regolatore è in sostanza un partitore di corrente realizzato con l'ausilio di un circuito PWM e di un mosfet che assorbe la parte di corrente in eccesso; il tutto è completato da un comparatore che permette di connettere e disconnettere l'utilizzatore dalla batteria in funzione dello stato di carica di quest'ultima. Il pannello solare si collega ai punti marcati "MODULO", secondo la polarità indicata nello schema, e alimenta l'intero circuito; il transistor T3, polarizzato in base con la tensione ricavata dal

diodo Zener DZ1, funziona da regolatore e permette di ricavare 12 volt ben stabilizzati, disponibili tra il suo emettitore e massa, ovvero ai capi del condensatore di filtro C6. La tensione ricavata da T3 è costante e indipendente dal valore di quella applicata al circuito, il che permette di ottenere in pratica il funzionamento ottimale con pannelli solari che forniscono tensioni comprese fra 12 e 24 volt. Il regolatore permette quindi di alimentare con una tensione stabilizzata tutta la parte del circuito che deve provvedere al rilevamento dello stato di carica della batteria. Poiché il dispositivo è composto da due parti principali studiamo ciascuna di queste separatamente, iniziando con quella che controlla la corrente di carica. Questa sezione fa capo ai tre operazionali U1a, U1b e U1c: quest'ultimo funziona da buffer non-invertente e trasferisce al piedino 12 dell'U1a una tensione proporzionale a quella presente ai capi della batteria: quanto più è alta tale tensione, tanto maggiore è il potenziale applicato al piedino 12 dell'U1, e viceversa. L'operazionale U1b funziona nella configurazione da multivibratore astabile (ovvero fa da generatore di onda quadra) leggermente modificata perché lavora a tensione singola, quindi richiede metà del potenziale di alimentazione sul piedino non-invertente



Pin-out e schema interno dei mosfet BUZ11 (a sinistra) e STH75N06 (a destra).

## CARATTERISTICHE TECNICHE

**Tensione di ingresso (pannello solare) di 12 ÷ 28 V;**

**Massima corrente di ingresso (pannello solare) di 15 A;**

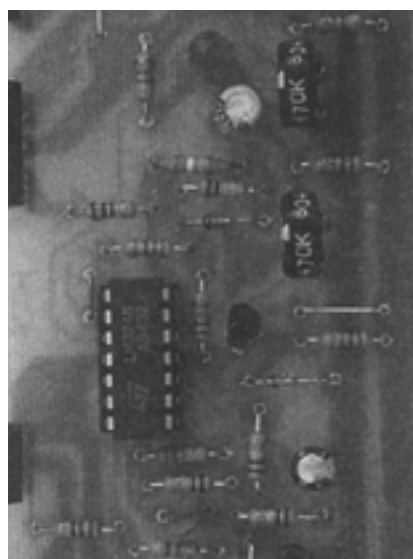
**Corrente massima in uscita (carico) di 25 A;**

**Assorbimento massimo del circuito di controllo 20 mA.**

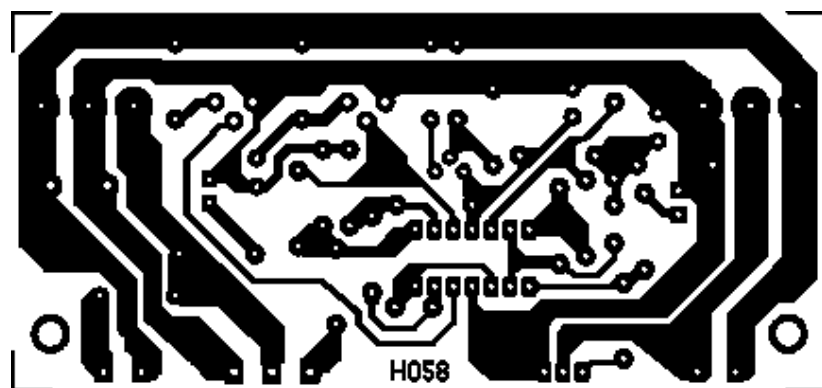
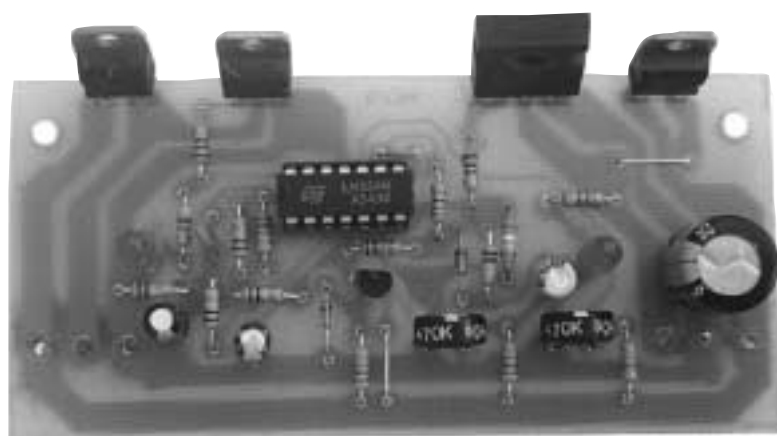
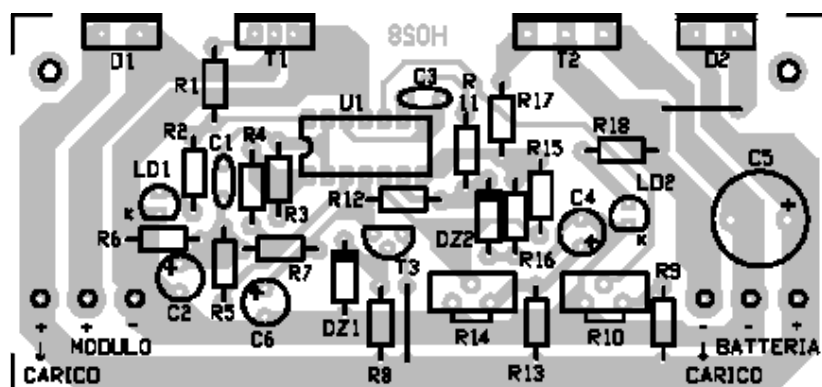
*La corrente di ingresso è quella massima di cortocircuito del regolatore shunt, mentre quella di uscita non è altro che la corrente commutabile dal circuito in generale, ma soprattutto dal mosfet T2: è insomma la corrente fornibile al carico.*

sione alta (ovvero è abbastanza carica) e sono più stretti se la stessa tensione è bassa (cioè la batteria è scarica) la maggiore o minore illuminazione di LD1 indica lo stato di carica degli elementi collegati alla BATTERIA (punti + e -): in sostanza, più è luminoso il LED, più è carica la batteria, e viceversa. Seguendo lo stesso principio notiamo che più si carica la batteria, maggiore è la durata di ogni stato di conduzione del mosfet, e viceversa: perciò man mano che la batteria si carica, il T1 conduce per un periodo di tempo sempre maggiore, fino ad andare completamente in conduzione restandovi; quindi più la batteria si carica, maggiore è la corrente che viene sottratta dal mosfet al resto del circuito. E' questo il principio di funzionamento del regolatore di tipo "shunt", che per limitare la corrente nel carico (in questo caso la batteria...) la fa assorbire ad un carico fittizio (il mosfet T1). Va notato però che il mosfet non deve andare costantemente in conduzione, non solo per motivi legati alla dissipazione della potenza che assorbe, bensì perché deve sempre scorrere un minimo di corrente di mantenimento dal pannello alla batteria, anche quando la carica di quest'ultima è da ritenersi conclusa. A tale scopo R10 va regolato in modo da ottenere dall'uscita del comparatore U1a degli impulsi, sia pure molto larghi, anche a batteria completamente carica (per batterie da 12V la regolazione va fatta a 13,5 o 14V, mentre per quelle da 24V ad un valore compreso tra 26 e 27V) e non un livello alto costante. Bene, quanto detto conclude la descrizione del funzionamento della parte di circuito che gestisce la carica (ad impulsi) della batteria, ovvero il regolatore di carica vero e proprio. Vediamo adesso la seconda parte, cioè l'automatismo che consente di staccare il carico quando la batteria è scarica, e di ricollegarlo quando si è caricata a sufficienza; il tutto fa capo al semplice operazionale U1d, collegato come comparatore di tensione non-invertente. Questo confronta la tensione della batteria con quella di riferimento applicata al proprio ingresso invertente (piedino 6) che è poi la stessa che polarizza il piedino 9 dell'U1c (in pratica, circa metà della tensione d'alimentazione fornita dal T3); tale tensione è

(il 3). Del generatore a noi interessa però un altro segnale, cioè quello di forma d'onda pressoché triangolare prodotto ai capi del condensatore C1, e dovuto ai cicli di carica e scarica dello stesso determinati dalla commutazione all'uscita dell'operazionale: C1 si carica ogni volta che al piedino 1 è presente il livello alto, mentre si scarica quando tale piedino assume il livello basso. La tensione triangolare viene inviata al piedino 13 dell'U1a, il quale funziona da comparatore e fa il confronto tra questa ed il potenziale portato dall'uscita dell'U1c (direttamente proporzionale a quello della batteria). Il risultato del confronto è una serie di impulsi rettangolari, di ampiezza direttamente proporzionale al valore della tensione di batteria. In pratica tanto più è alta la tensione presentata ai capi della batteria in carica, tanto maggiore è la larghezza degli impulsi prodotti dal comparatore U1a, e viceversa. Per capire da dove nascono gli impulsi ci basta pensare che l'uscita del comparatore (piedino 14) è a livello alto quando il piedino 12 è a potenziale maggiore del 13, mentre è a circa zero volt nella situazione opposta, cioè quando il piedino 13 è a potenziale maggiore del 12. Quindi, fino a che la tensione triangolare localizzata sul C1 è minore di quella applicata al piedino 12 dell'U1a



## realizzazione pratica



### COMPONENTI

- R1 = 10 Ohm
- R2 = 4,7 Kohm
- R3 = 22 Kohm
- R4 = 100 Kohm
- R5 = 100 Kohm
- R6 = 100 Kohm
- R7 = 100 Kohm
- R8 = 27 Kohm
- R9 = 27 Kohm
- R10 = 470 Kohm trimmer vert.
- R11 = 2,2 Mohm
- R12 = 10 Kohm
- R13 = 27 Kohm
- R14 = 470 Kohm trimmer vert.
- R15 = 39 Kohm
- R16 = 100 Kohm
- R17 = 10 Ohm
- R18 = 4,7 Kohm
- C1 = 1.000 pF ceramico
- C2 = 2,2 µF 50 VL elettr.
- C3 = 100 nF multiestrato
- C4 = 2,2 µF 50 VL elettr.
- C5 = 1.000 µF 25 VL elettr.
- C6 = 22 µF 50 VL elettr.
- D1 = BYW80
- D2 = BYW80
- DZ1 = 9,1 V 0,5 W Diodo Zener
- DZ2 = 5,6 V 0,5 W Diodo Zener
- LD1 = Led rosso 5 mm
- LD2 = Led rosso 5 mm
- T1 = BUZ11
- T2 = STH75N06
- T3 = BC547B
- U1 = FUE-423ML
- Varie:**
- c.s. cod. FUE-820H;
- zoccolo 7+7 pin;
- set isolamento (4);
- dissipatore 2°C/W.

stabilizzata dal diodo Zener DZ2. Regolando opportunamente il trimmer R14 il comparatore assume il livello basso in uscita quando la tensione della batteria è troppo bassa (ad esempio minore di 10 volt) e il livello alto nella situazione opposta, ovvero quando la batteria è carica e presenta ai propri capi almeno 10÷11 volt; nel primo caso il mosfet T2 è interdetto, mentre conduce nel secondo caso. Pertanto vediam

mo che quando la tensione della batteria è sufficientemente alta il potenziale del piedino 5 dell'U1d è maggiore di quello applicato al 6, e il 7 si trova a livello alto e polarizza il gate del T2 mandandolo in conduzione: il drain di quest'ultimo lascia quindi passare la corrente dal carico a massa. Data la sua ridotta resistenza ( $R_{dson}$ ) in stato di conduzione, dell'ordine di un decimo di ohm, il mosfet si compor-

ta da interruttore statico, e mette sotto tensione il carico ogni volta che l'uscita del comparatore U1d si trova a livello alto, cioè connette il carico al circuito della batteria quando quest'ultima è carica abbastanza da poterlo alimentare a dovere. La tensione alla quale si può ritenere sufficientemente carica la batteria viene impostata con il trimmer R14: portando verso massa il cursore di quest'ultimo occorre una tensione più

alta (per far collegare il carico) di quella necessaria se si porta il cursore stesso più verso R13 e C4. Notate infine l'ultimo LED, LD2, che si accende quando il circuito di protezione è intervenuto, ovvero quando è stato staccato il carico. Il diodo D2 serve invece a proteggere il nostro dispositivo da eventuali sovratensioni o picchi di tensione inversa che possono verificarsi commutando carichi induttivi quali i motori elettrici o apparecchi con forti induttanze di filtro. Bene, lasciamo adesso lo schema elettrico perché riteniamo di aver spiegato a sufficienza il funzionamento del circuito; vediamo invece la parte pratica, cioè come lo si realizza. In queste pagine trovate illustrata una traccia lato rame a grandezza naturale: seguitemela per realizzare la basetta sulla quale, poi, prenderanno posto tutti i componenti. Inciso e forato lo stampato montate su di esso le resistenze e i diodi, lasciando momentaneamente da parte D1 e D2; nell'inserire i diodi Zener rammentate che il terminale vicino alla fascetta colorata è il catodo. Infilate e saldate lo zoccolo a 14 piedini per il quadruplo operativo, quindi i due trimmer verticali, e il transistor T3, ricordando di orientare quest'ultimo (il suo lato piatto deve stare rivolto allo zoccolo) come indicato nella disposizione componenti visibile in queste pagine. E' poi la volta dei condensatori, dando la precedenza a quelli non polarizzati e rispettando la polarità indicata per gli elettrolitici; infine si possono montare i due mosfet e i diodi di potenza D1 e D2, che vanno disposti in piedi, con la parte metallica rivolta all'esterno dello stampato, in modo tale che abbiano tutti il foro di fissaggio alla stessa altezza. Fatto ciò bisogna procurarsi un dissipatore di calore avente  $2\text{ }^{\circ}\text{C/W}$  (al massimo) di resistenza termica, forarlo in modo da ospitare le viti dei mosfet e dei diodi di potenza, quindi spalmare di pasta al silicone le parti metalliche di tali componenti, fissandoli uno ad uno al dissipatore mediante viti 3MA provviste di rondelle isolanti in teflon e interponendo tra parti metalliche e dissipatore un foglietto di mica per ogni componente. Fatto ciò il circuito è pronto; innestate l'operazionale nel proprio zoccolo, facendo attenzione al fine di farlo entrare con il riferimento dalla parte

indicata nella disposizione componenti di queste pagine. Verificate che durante l'operazione non si sia piegato qualche piedino, quindi date un'occhiata generale al circuito in modo da controllare se è tutto in ordine. Allora il dispositivo è pronto all'uso; per le connessioni conviene utilizzare dei robusti capicorda che dovete saldare in corrispondenza dei punti marcati MODULO + e -, BATTERIA + e -, e CARICO + e -. Ai punti MODULO + e - dovete collegare, rispettivamente, il morsetto positivo ed il negativo del pannello solare, utilizzando cavo di sezione adeguata (1 mmq per 2,5 ampère); l'accumulatore va collegato ai contatti + e - BATTERIA, rispettando la polarità indicata e utilizzando filo di sezione pari ad 1 mmq ogni 2,5 A di corrente. Le stesse considerazioni valgono per i fili elettrici che dovete usare per collegare l'utilizzatore ai punti + e - carico. Rammentiamo che la batteria ed il pannello solare devono "andare d'accordo" per quanto riguarda la tensione: in definitiva se il pannello fornisce  $12\pm 20$  volt bisogna utilizzare una batteria da 12 V, mentre se è da  $24\pm 36$  V l'accumulatore deve essere scelto a 24 volt (solitamente 2 elementi in serie da 12 V l'uno).

Ultimati i collegamenti si può procedere alla taratura dei trimmer, per la quale sarebbe necessario partire con la batteria carica; in alternativa si può effettuare una simulazione al banco, procurandosi un oscilloscopio, un alimentatore stabilizzato da  $8\pm 20$  volt di uscita (bastano 100 mA di corrente) e un tester disposto a funzionare come voltmetro con fondo scala di 20 volt c.c. L'alimentatore va collegato ai punti di batteria, badando di connettere il suo positivo al + e il negativo al - dello stampato; il pannello solare non va collegato, mentre il tester deve essere disposto sull'alimentazione, ovvero tra il catodo del diodo D1 e massa. Il puntale dell'oscilloscopio va disposto tra il piedino 14 dell'U1 (R2) e massa, in modo da prelevare gli impulsi in uscita dal comparatore. Fatti i collegamenti, dopo aver poggiato la basetta su un piano in materiale isolante si procede alla taratura nel modo seguente: si accende l'alimentatore e si regola per ottenere tra la linea positiva del circuito e massa (vedere la lettura del

tester...) una tensione di circa 13 volt; a questo punto si agisce sul cursore del trimmer R10 ruotandolo in un verso o nell'altro fino a vedere, sull'oscilloscopio, impulsi rettangolari molto larghi, spazati da brevi livelli bassi (pause). Alzando la tensione dell'alimentatore a 14,5 volt verificate che all'uscita dell'U1a vi sia un livello alto di tensione e non più impulsi; diversamente agite sul solito R10 fino a veder apparire sullo schermo dell'oscilloscopio una linea continua corrispondente al livello alto (tensione circa uguale a quella di emettitore del T3). Fatto questo avete tarato il regolatore di tensione PWM; ora spegnete e staccate pure l'oscilloscopio, quindi pensate a registrare il circuito a soglia per l'inserimento del carico.

Allo scopo lasciate il tester collegato sulla linea di alimentazione, staccate momentaneamente l'alimentatore di prova e collegate una resistenza da 220 ohm 1 watt ai punti + e - CARICO (ovvero ai capi del diodo D2). Ricollegate l'alimentatore e portatene la tensione di uscita a circa 10 volt, quindi ruotate il cursore del trimmer R14 fino a veder accendere il LED LD2, indicante che il mosfet si è interdetto, scollegando il carico (infatti in tal caso la resistenza da 220 ohm lascia scorrere corrente in R18 e LD2). Alzate gradualmente la tensione di uscita dell'alimentatore e verificate che si spenga nuovamente il predetto LED: ciò deve avvenire ad una tensione non maggiore di 11,5 volt, diversamente tornate giù con l'alimentatore e regolate R14 in modo che il circuito stacchi (ovvero che si accenda LD2) ad una tensione minore di 10 volt.

#### **PER IL MATERIALE**

**Il regolatore di carica è disponibile in scatola di montaggio (cod. FUE-481TF).**

**Il kit comprende tutti i componenti, le minuterie, il circuito stampato e il dissipatore.**