

Impianti Fotovoltaici

per generare elettricità dal sole

Calcoli e scelta dei moduli con relativi accessori, per realizzare piccole installazioni che producono energia elettrica dalle radiazioni solari.



Testi, foto, tavole e diagrammi: **ELSEKit**

Realizzazione grafica ed impaginazione: **Stefano Rota**

Impianti Fotovoltaici

per generare elettricità dal sole.

ELSEKit

www.elsekit.com **E-mail: infokit@elsekit.com**

Testi, foto, illustrazioni ed impostazione grafica sono di proprietà della ELSEKit.

Ogni riproduzione anche parziale è vietata senza l'autorizzazione scritta.

INDICE

Sole	4
Energia Solare	5
Cella Fotovoltaica	7
Modulo Fotovoltaico	11
Pannello Fotovoltaico	17
Impiego	19
Batteria	20
Regolatori di Carica	22
Inverter	26
Posizionamento dei Pannelli Fotovoltaici	28
Tabelle Valori ESH	32
Dimensionamento	36
Esempi	45
Glossario	61

Appendice

Solarimetro	70
Costruzione di un Solarimetro	71
Costruzione di un Regolatore di Carica	74
Costruzione di un Accoppiatore di Moduli Fotovoltaici (scatola di giunzione)	77

Sole

Volendo trattare l'argomento dell'Energia Solare è bene avere qualche conoscenza sul SOLE che è sempre stato riconosciuto come fonte di ogni vita e, in molte civiltà, oggetto di adorazione.

Dell'enorme quantità di energia che irradia nello spazio, quella che raggiunge il nostro pianeta è soltanto una frazione piccolissima.

Ciò nonostante si tratta ancora di un ammontare enorme (**circa 745 quadrilateri di KW/h**) che opportunamente utilizzata potrà senz'altro alleggerire, se non risolvere, il pesante problema legato all'energia che ormai è diventata la linfa vitale della nostra società.

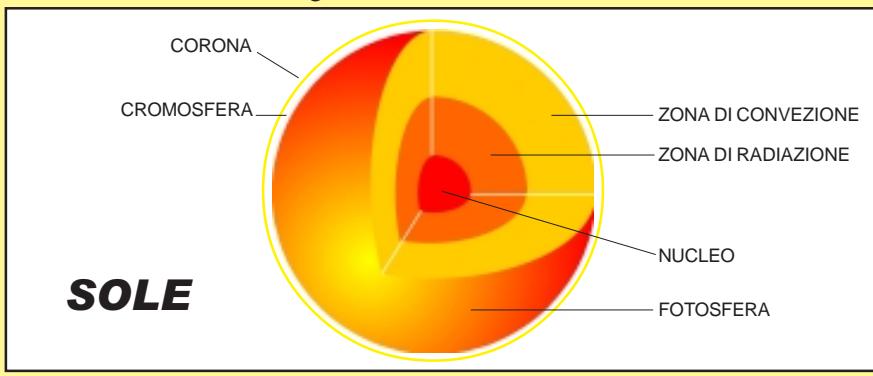
Il Sole è la stella attorno a cui orbitano i pianeti del nostro Sistema Planetario. Poichè dista mediamente **149.600** milioni di chilometri, ossia una **UA** (Unità Astronomica), viene visto dalla Terra come un disco di circa mezzo grado di diametro, pari a quello della Luna piena, mentre le altre stelle appaiono sempre puntiformi.

La superficie è la parte luminosa del Sole. È uno strato di poche centinaia di chilometri di spessore chiamato **FOTOSFERA**, da cui si propagano la maggior parte delle radiazioni solari.

Nella zona centrale del Sole avvengono le reazioni di fusione nucleare dell'Idrogeno in Elio che generano l'energia della stella. La sua temperatura è di circa **15 milioni di °C**.

Al di sopra della fotosfera si estende la **CROMOSFERA**, uno strato spesso circa 2.000 Km con strutture allungate, che si innalzano fino a 10.000 Km. La temperatura sale fino a $8.000 \div 10.000$ °C.

Oltre questo strato ha inizio la **CORONA**, con bassa densità e temperatura dell'ordine di milioni di gradi, visibile durante le Eclissi di Sole.



PRINCIPALI DATI RELATIVI AL SOLE

• Raggio:	696.500 Km
• Massa:	$1,99 \times 10^{30}$ Kg
• Densità media:	1,41 g/cm ³
• Temperatura superficiale:	5.700 °C
• Accelerazione di gravità alla superficie:	274 m/s ²
• Distanza dalla terra:	da 147,1 a 152,1 milioni di Km
• Irraggiamento totale:	$3,86 \times 10^{33}$ erg/s
• Irraggiamento per cm² della sup. sol.:	$6,35 \times 10^{10}$ erg/s
solo una parte su due miliardi viene ricevuta ma non utilizzata completamente dalla Terra	

Energia Solare

Il sole irraggia energia sotto forma di radiazione elettromagnetica di lunghezza d'onda compresa tra 0,2 e 3 µm. Questa radiazione è composta da una componente visibile e da una non visibile. La parte visibile ha una lunghezza d'onda compresa tra 0,4 e 0,8 µm.

L'energia generata dal sole si manifesta sotto forma di flusso continuo di **fotoni** che partono dalla superficie del sole stesso e in circa 8 minuti e mezzo raggiungono la terra.

Ogni fotone che raggiunge la terra ha tutta l'energia che possedeva in partenza dal sole.

Tutta l'energia che arriva sopra l'atmosfera (**COSTANTE SOLARE**) è pari a 1,92 cal/cm² al min. = **circa 1,353 KW/m²**.

Sul suolo terrestre, a livello del mare, l'energia disponibile è minore a causa dell'assorbimento che la radiazione subisce nell'attraversare l'atmosfera.

La radiazione che giunge al suolo si compone di **“RADIAZIONE DIRETTA”** e **“RADIAZIONE DIFFUSA”**.

La radiazione diretta è 10 volte maggiore di quella diffusa, quando il sole è sulla verticale del luogo.

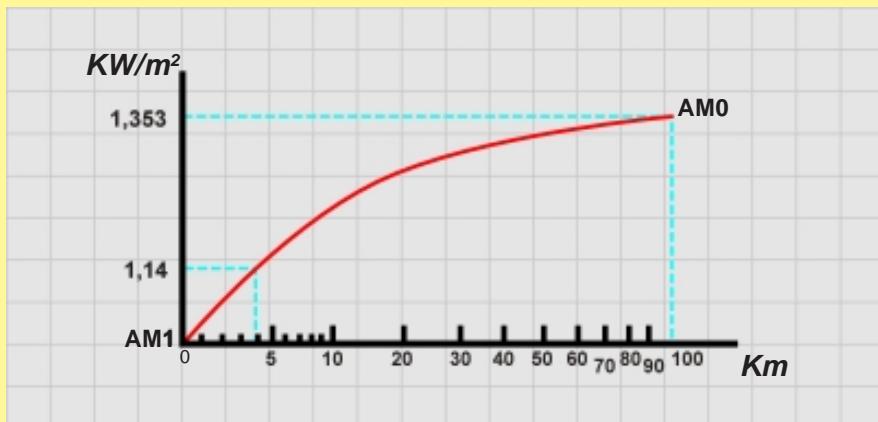
La radiazione diffusa eguaglia quella diretta quando il sole è vicino all'orizzonte. Nei giorni nuvolosi la radiazione diffusa supera in intensità la radiazione diretta.

Oltre alle condizioni atmosferiche, l'intensità dell'irraggiamento solare disponibile sulla terra dipende dalla massa d'aria attraversata dalla radiazione.

In condizioni atmosferiche favorevoli, la massima intensità di radiazione incidente a mezzogiorno, su di una superficie orizzontale al livello del mare, è di **1 KW** per metro quadrato.

Ad una altezza di 1000 metri questo valore sale a circa $1,05 \text{ KW/m}^2$ e sulle alte montagne è superiore a $1,1 \text{ KW/m}^2$.

Il valore della costante solare, cioè l'intensità di irraggiamento oltre l'atmosfera che, come già detto, è di circa **$1,353 \text{ KW/m}^2$** viene definito **AM 0 (AIR MASS ZERO)**, mentre il massimo valore sul suolo terrestre a livello del mare (1 KW/m^2) si definisce **AM 1 (AIR MASS UNO)**.



Variazione dell'intensità di radiazione (KW/m^2) in funzione dell'altitudine rispetto al livello del mare (Km).

Cella Fotovoltaica

La cella fotovoltaica è l'elemento fondamentale di un sistema atto a trasformare l'energia solare in energia elettrica. Trasforma quindi direttamente l'energia delle radiazioni luminose in energia elettrica ed è costituita essenzialmente da due sottili strati di materiali semiconduttori: uno di tipo **N** e l'altro di tipo **P**.

Nella zona di contatto tra i due semiconduttori (giunzione) si forma un campo elettrico dovuto alla diversa natura dei due materiali. Quando la zona di contatto è colpita dalla luce solare vengono mobilitati elettroni e se ai due semiconduttori viene collegato un circuito esterno si avrà una circolazione di corrente elettrica.

Il materiale più usato per la costruzione delle celle fotovoltaiche è il **SILICIO**, che è uno degli elementi più abbondanti della crosta terrestre. Vengono costruite celle con silicio **MONOCRISTALLINO**, **POLICRISTALLINO** e **AMORFO**. Il silicio monocristallino è ottenuto per crescita del silicio fuso da un unico cristallo. Le celle ottenute con questo metodo hanno un'efficienza di circa il **17%**. Il silicio policristallino è ottenuto da più cristalli e le celle da esso derivate raggiungono un'efficienza del **13 ÷ 14%**. Il silicio amoro non presenta struttura cristallina. Le celle ottenute da questo materiale hanno il pregio di costare poco ma hanno un rendimento piuttosto basso: circa **8%**. Le celle di silicio amoro, a differenza di quelle cristalline, sono in grado di funzionare con qualsiasi tipo di luce.

Il rendimento (efficienza) della cella non è altro che il rapporto tra la massima potenza che la cella stessa può restituire e la potenza della radiazione solare che la colpisce.

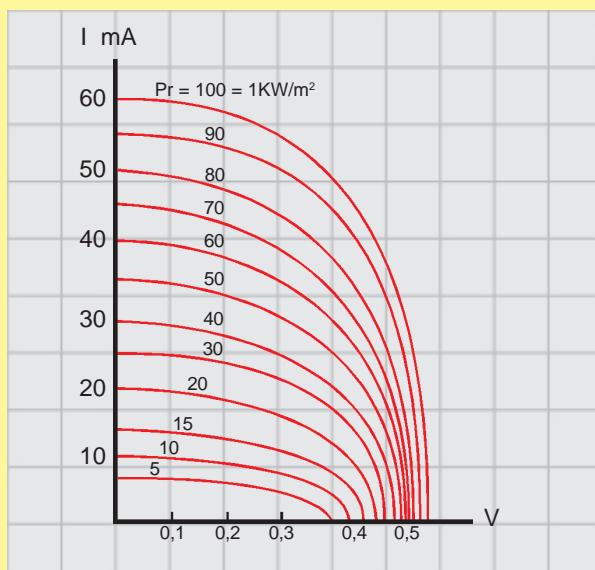
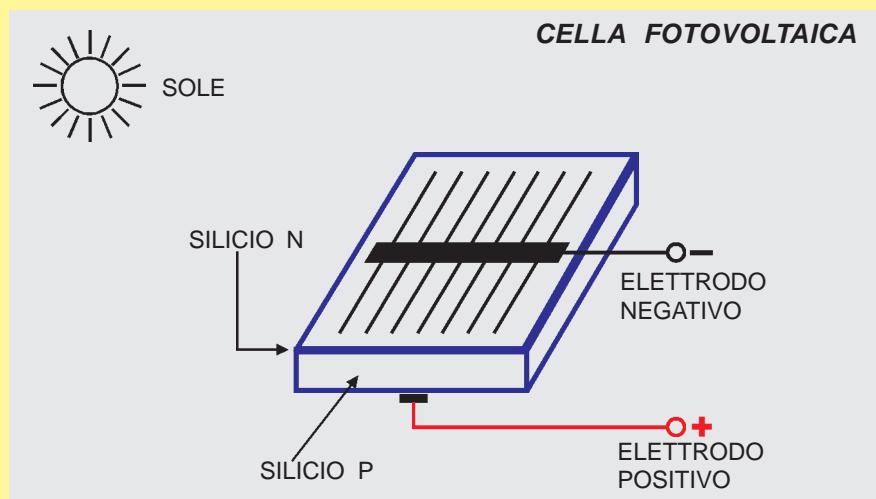
Quindi $R = \frac{\text{POTENZA RESTITUITA}}{\text{POTENZA RADIAZIONE SOLARE}}$ sempre inferiore a 1.

$$\text{POTENZA RESTITUITA} = \text{POT. RADIAZ. SOLARE} \times R$$

Ad esempio, se una cella di silicio monocristallino ($R = 17\%$) è investita da una radiazione solare di **1W** di potenza, al massimo potrà restituire sottoforma di potenza elettrica: **$1 \times 0,17 = 0,17W$** .

La tensione prodotta da una cella cristallina è di circa **0,5V**, mentre l'intensità di corrente generata dipende dalla sua superficie.

Per poter fluire lungo un circuito esterno, le cariche elettriche devono essere opportunamente raccolte da contatti metallici (griglia frontale). Questa griglia si deve estendere a tutta la superficie superiore della cella, ma deve essere formata da conduttori molto sottili in modo che l'area utile (colpita dalle radiazioni solari) resti più ampia possibile.



**ANDAMENTO
TIPICO TENSIONE-
CORRENTE DI
UNA CELLA
FOTOVOLTAICA
AL VARIARE
DELL'INTENSITÀ
LUMINOSA**

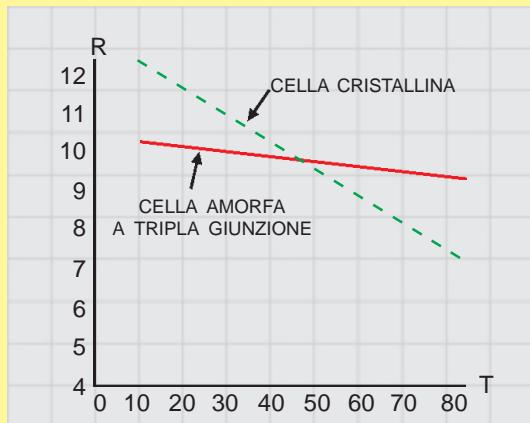
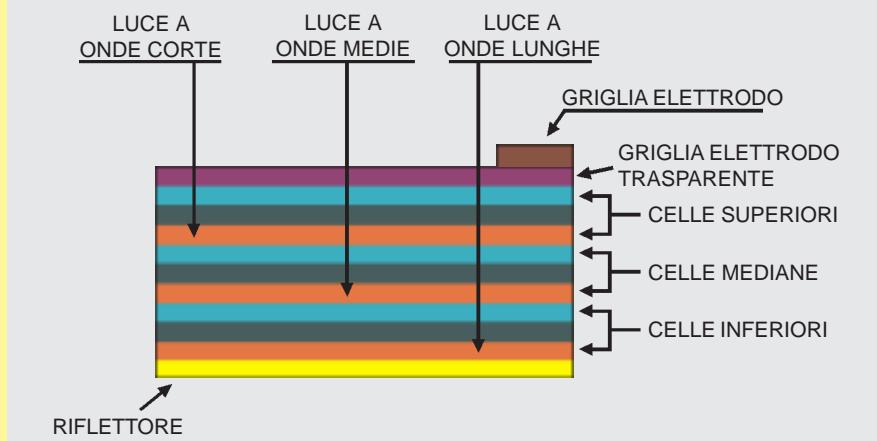
Pr = POTENZA IRRAGGIAMENTO SOLARE mW/cm²

Esistono anche particolari celle di silicio amorfo a **TRIPLA GIUNZIONE** che presentano il vantaggio di avere un buon rendimento durante tutto l'arco della giornata. Infatti ogni giunzione è particolarmente sensibile a differenti lunghezze d'onda della luce.

Recenti prove hanno riscontrato che nell'arco di una giornata sono stati prodotti fino al 20% di Ah in più rispetto all'impiego di celle cristalline di uguale potenza.

L'efficienza di queste celle è praticamente costante al variare della temperatura contrariamente a quelle di silicio cristallino che decade sensibilmente con l'aumentare della temperatura.

STRUTTURA DI CELLA AMORFA A TRIPLA GIUNZIONE



RENDIMENTO AL VARIARE DELLA TEMPERATURA

R = RENDIMENTO %
T = TEMPERATURA °C

Occorre tener presente che le celle di silicio amorfico, nelle prime 100 ore di esposizione, subiscono un degrado delle prestazioni elettriche di circa il 10 ÷ 15%.

A seconda della costruzione possono produrre tensioni diverse, in genere comprese tra 0,75 e 3,5V.

Per qualsiasi tipo di cella, un parametro di giudizio sul rendimento è il **FILL-FACTOR** (fattore di riempimento) che è il rapporto tra la potenza massima e la tensione a vuoto per la corrente di cortocircuito:

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}}$$

FF = FILL-FACTOR

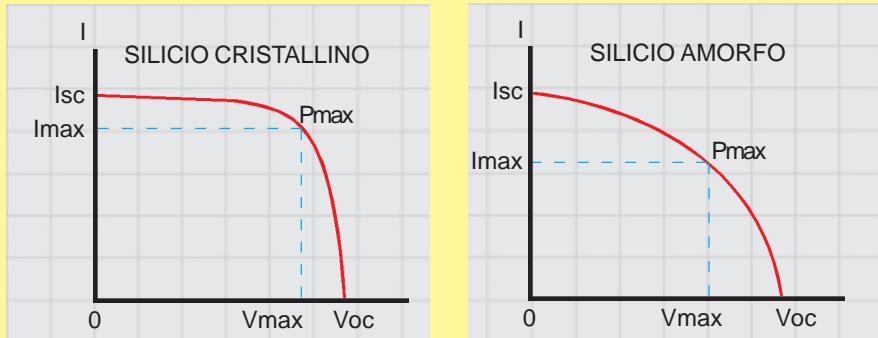
P_{max} = POTENZA MASSIMA

V_{oc} = TENSIONE A VUOTO

I_{sc} = CORRENTE DI CORTOCIRCUITO

Maggiore è il valore di FF e migliore è la cella, poichè sta ad indicare che la caratteristica tensione/corrente, rappresentata sottoforma di funzione nei diagrammi sotto riportati, si avvicina maggiormente ad un rettangolo.

CONFRONTO DELLA CARATTERISTICA I - V TRA CELLA CRISTALLINA E AMORFA



I_{sc} = CORRENTE DI CORTOCIRCUITO

I_{max} = CORRENTE ALLA MASSIMA POTENZA

V_{oc} = TENSIONE A CIRCUITO APERTO

V_{max} = TENSIONE ALLA MASSIMA POTENZA

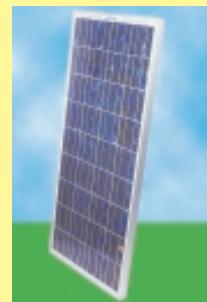
P_{max} = PUNTO DI MASSIMA POTENZA (V_{max} X I_{max})

Modulo Fotovoltaico

La tensione generata da una singola cella risulta essere troppo piccola per essere praticamente sfruttata. Vengono quindi connesse in serie più celle per ottenere la tensione desiderata e montate su un'intelaiatura che conferisca rigidità all'insieme. Un particolare vetro antiriflesso viene sovrapposto alle celle e sigillato per tutto il suo perimetro in modo che l'insieme sia protetto dagli agenti atmosferici.

Questo è il **MODULO FOTOVOLTAICO**, unità minima di un impianto in grado di generare energia elettrica a tensione sfruttabile.

ALCUNI TIPI DI MODULI FOTOVOLTAICI



Generalmente i moduli sono costituiti da **36 celle** connesse in serie per una tensione risultante di circa **18V**.

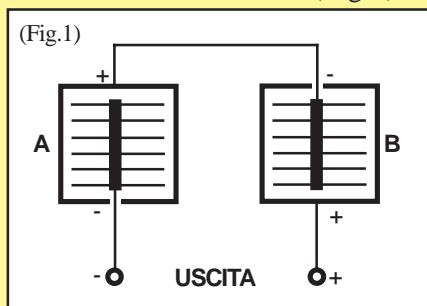
Quasi sempre, sul retro di ogni modulo, vi è la cassetta di terminazione dotata di coperchio stagno. All'interno vi sono i morsetti per prelevare la tensione e i diodi di **BY-PASS**.

Lo scopo di questi diodi è di evitare il danneggiamento delle celle in caso di malfunzionamento. Infatti, se una cella che compone il modulo viene ombreggiata e le terminazioni del modulo si trovano in cortocircuito (ad esempio se il regolatore di carica è entrato in funzione) o a tensione molto bassa, la cella oscurata si trova ad essere polarizzata inversamente con una tensione uguale alla tensione a vuoto di tutta la serie formata dalle celle rimanenti.

In questo caso, in mancanza dei diodi di by-pass, la cella si troverebbe a dover dissipare la potenza generata dalle rimanenti celle del modulo con conseguente danneggiamento.

Cerchiamo di chiarire meglio il concetto.

Supponiamo, per semplicità, che il modulo sia composto da solo 2 celle, che chiameremo **A** e **B**. (Fig.1)



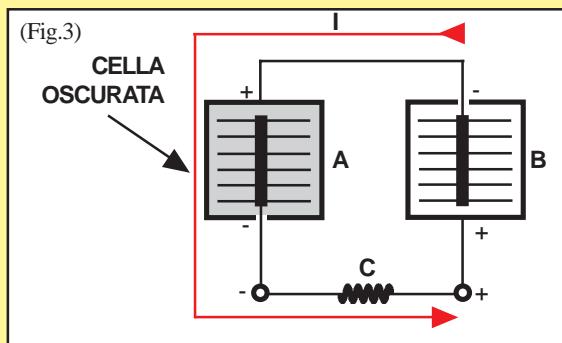
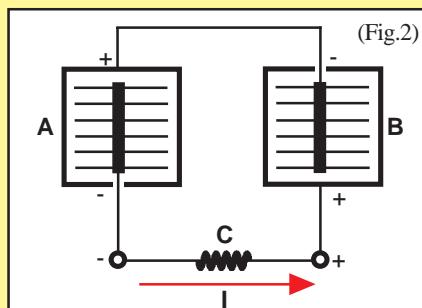
Queste celle, **se investite** da radiazione solare, si comportano come dei generatori di elettricità e ai loro capi si sviluppa una determinata tensione che, all'uscita del modulo, sarà di valore doppio poichè si trovano collegate in serie tra di loro.

Quando invece **NON** sono investite da radiazione solare **NON** generano elettricità e, avendo una loro resistenza interna, si comportano come un qualsiasi carico.

Se all'uscita del nostro modulo (investito dal sole), formato dalle celle **A** e **B**, inseriamo un carico **C**, quest'ultimo sarà attraversato da una corrente che scorrerà dal - al + (senso reale e non teorico). (Fig.2)

Supponiamo ora che la cella **A** venga oscurata mentre la **B** continua ad essere investita dal sole.

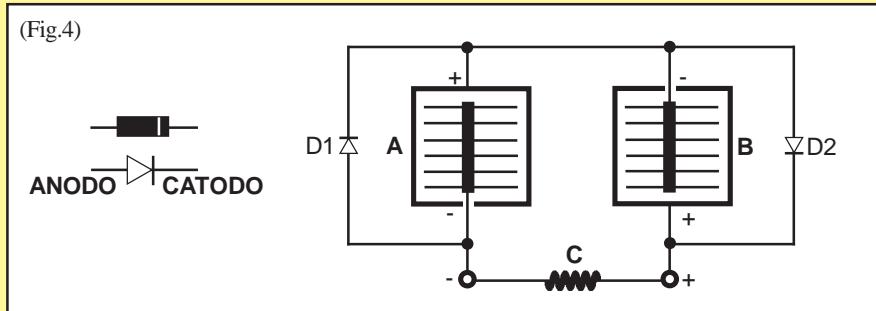
In questo caso la cella **B** continua a comportarsi come un generatore, mentre la **A** non è altro che un carico che si trova in serie al carico **C** collegato al modulo (Fig.3)



e quindi la corrente generata dalla cella **B** attraverserà il carico collegato al modulo e il carico rappresentato dalla cella **A**.

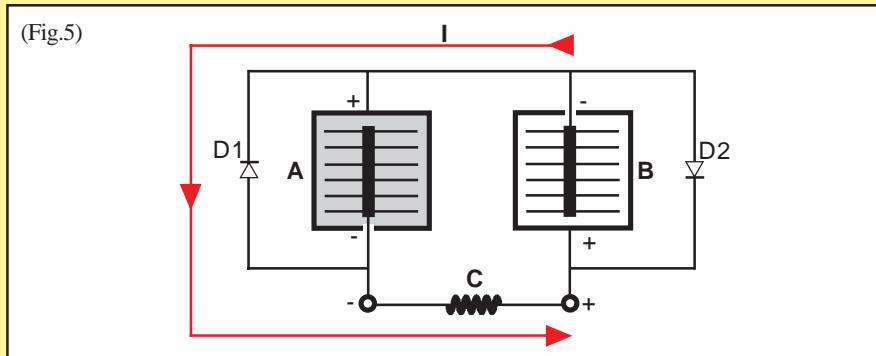
Se il carico **C** è molto elevato (resistenza molto bassa) o addirittura un cortocircuito, tutta l'energia prodotta dalla cella **B** dovrà essere dissipata dalla cella **A**, che si danneggerebbe irrimediabilmente!

A questo inconveniente si può ovviare mettendo in parallelo alle celle dei diodi polarizzati in senso di **NON** conduzione. (Fig.4)



Considerando il senso reale della corrente, i diodi conducono solo quando il catodo è negativo rispetto all'anodo.

In una situazione normale (insolazione su tutte le celle) è come se i diodi non ci fossero (infatti si trovano ad essere polarizzati in senso di **NON** conduzione), ma se una delle due celle fosse oscurata, la corrente generata da quella ancora attiva **NON** attraverserà più l'altra cella, ma scorrerà nel diodo in parallelo ad essa, cioè sarà **BYPASSATA**. (Fig.5)

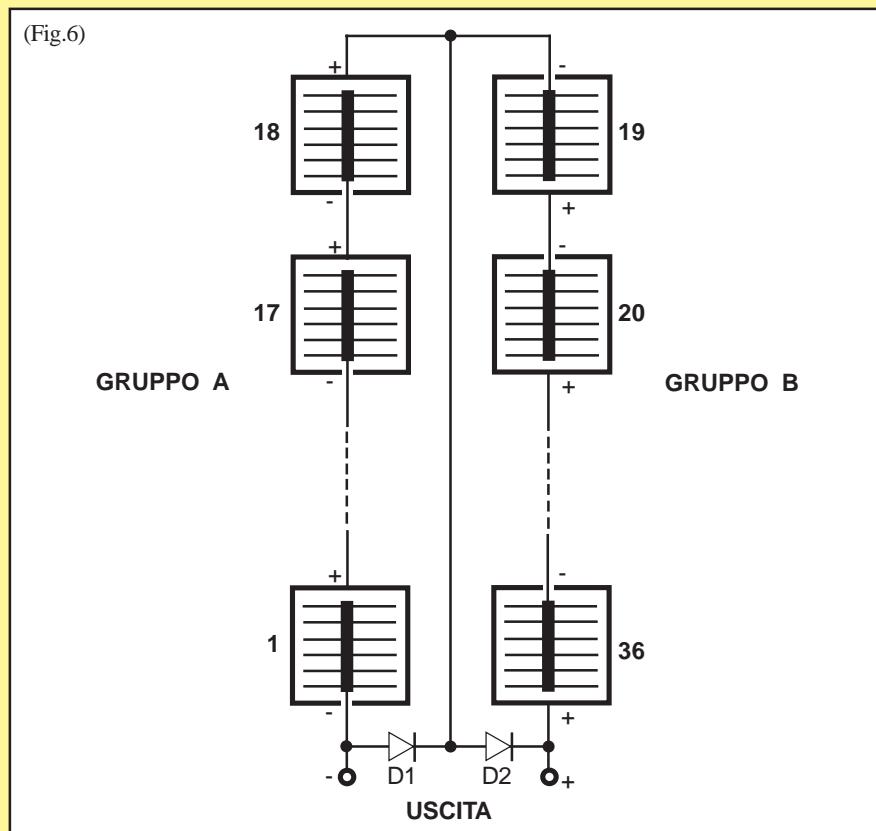


In realtà nella cella oscurata passerà ancora una debole corrente, ma il suo valore sarà del tutto trascurabile.

È ovvio che se al posto della cella **A** venisse oscurata la cella **B**, quest'ultima sarebbe bypassata dal diodo **D2**.

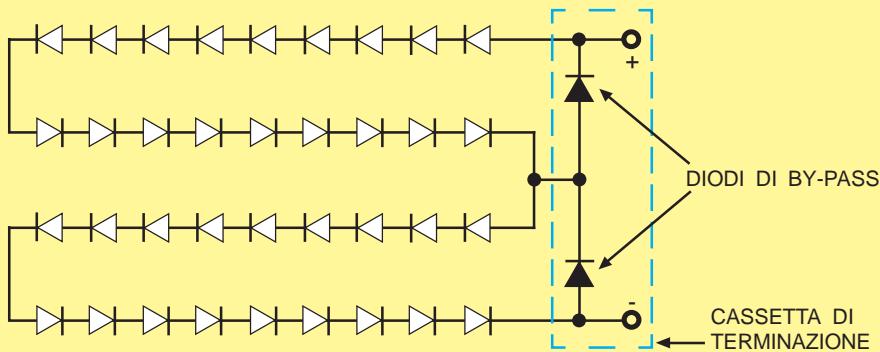
Il caso che il carico **C** diventi un cortocircuito, si può verificare quando la batteria ha raggiunto la sua carica completa e il regolatore di carica, di tipo parallelo, è entrato in funzione cortocircuitando l'uscita del modulo. In questa situazione, le celle ombreggiate verrebbero danneggiate se il modulo fotovoltaico fosse privo dei diodi di by-pass.

Nella realtà, salvo qualche caso (ad esempio nei moduli composti da celle di silicio amorfo a tripla giunzione che hanno un diodo per ogni cella), i diodi di by-pass sono due e ciascuno si trova in parallelo ad una metà di celle che compongono il modulo. (Fig.6)



Se una qualsiasi cella del gruppo **A** viene ombreggiata, il diodo **D1** bypassa l'intero gruppo **A**, mentre se viene ombreggiata una cella del gruppo **B** sarà il diodo **D2** a bypassare l'intero gruppo **B**.

CIRCUITO EQUIVALENTE DI UN MODULO FOTOVOLTAICO A 36 CELLE



Ogni modulo fotovoltaico è caratterizzato dai seguenti parametri:

Nc	=	numero di celle
Pmax	=	potenza massima (Wp)
Vmax	=	tensione alla massima potenza (V)
Imax	=	corrente alla massima potenza (A)
Voc	=	tensione a vuoto (V)
Isc	=	corrente di cortocircuito (A)

I valori relativi a questi parametri si riferiscono alla condizione **STC** (standard test condition) che sono:

IRRAGGIAMENTO	$1\text{KW/m}^2 = 100\text{mW/cm}^2$
TEMPERATURA	25°C
AIR MASS	1,5



**COMPOSIZIONE SPETTRALE DELLA LUCE SOLARE CON
ATTENUAZIONE ATMOSFERICA AM 1,5**

Pannello Fotovoltaico

Collegando tra di loro più moduli fotovoltaici si ottiene il **PANNELLO FOTOVOLTAICO**, cioè l'insieme dei moduli capaci di produrre la potenza richiesta alla tensione stabilita.

Generalmente i moduli hanno una tensione nominale di 12V per cui, collegandoli in serie si ottiene una tensione multipla di 12 con uguale corrente, ma essendo aumentata la tensione anche la potenza aumenta. Collegandoli in parallelo la tensione resta invariata, ma le correnti si sommano, per cui anche la potenza aumenta.

In entrambi i casi la potenza totale risultante è uguale alla somma delle potenze dei singoli moduli fotovoltaici.

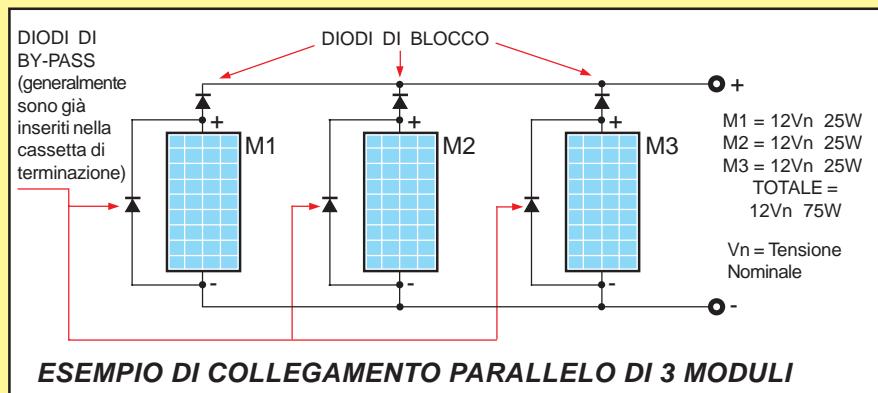
Più moduli collegati in serie si definisce **STRINGA**.

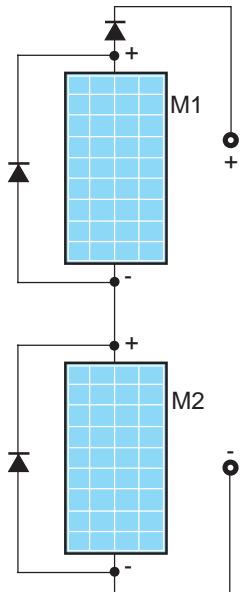
Per ottenere la potenza richiesta alla tensione voluta si collegano più stringhe in parallelo.

Nei collegamenti in parallelo, siano moduli o stringhe, occorre sempre inserire un **DIODO DI BLOCCO** per ogni unità.

Lo scopo di questo diodo è di impedire che, qualora l'erogazione di potenza dei singoli moduli o stringhe non sia bilanciata, gli squilibri di tensione tra le unità possano provocare del ricircoli di corrente verso quelle a tensione minore. Inoltre, questo diodo, serve ad evitare che una eventuale batteria collegata all'uscita del pannello o modulo fotovoltaico possa scaricarsi su quest'ultimo nei periodi di oscuramento o mancanza di insolazione (es. notte).

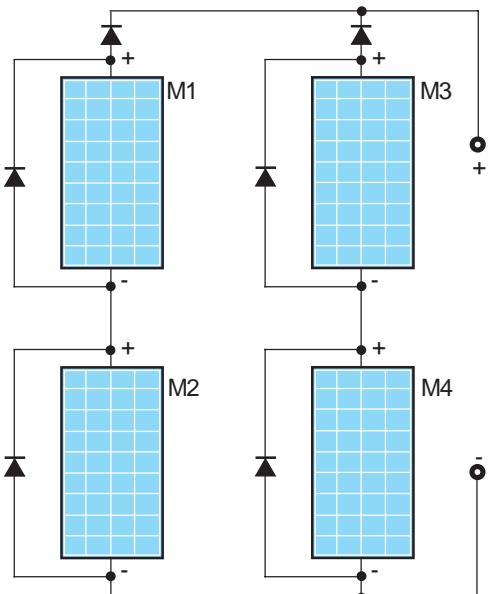
Questo diodo deve essere di tipo **SCHOTTKY** per avere una minima caduta di tensione.





$M1 = 12Vn 40W$
 $M2 = 12Vn 40W$
 TOTALE = 24Vn 80W

ESEMPIO DI COLLEGAMENTO SERIE DI 2 MODULI "STRINGA"



$M1 = 12Vn 30W$
 $M2 = 12Vn 30W$
 $M3 = 12Vn 30W$
 $M4 = 12Vn 30W$
 TOTALE = 24Vn 120W

ESEMPIO DI COLLEGAMENTO PARALLELO DI DUE STRINGHE

Impiego

Il fotovoltaico trova applicazioni in vari settori:

COMUNICAZIONI	- radio mobili, stazioni ripetitrici, telemetria.
SEGNALAZIONI	- navigazione marittima e aerea, piattaforme off-shore, traffico ferroviario e stradale.
RILEVAMENTO DATI	- stazioni meteorologiche, inquinamento ecc.
POMPAGGIO ACQUA	- potabile ed irrigazione.
DISSALAZIONE	- zone in prossimità del mare caratterizzate da siccità.
ELETTRIFICAZ. RURALE	- casolari in zone remote.
CASE USO STAGIONALE	- baite, case uso vacanze.
VEICOLI RICREAZIONALI	- camper, imbarcazioni ecc.
PROTEZIONE CATODICA	- ponti, gasdotti, oleodotti, acquedotti.

La protezione catodica si applica alle strutture metalliche per evitare fenomeni di corrosione locale o diffusa dovuti alla presenza nel terreno di elettroliti o di correnti vaganti.

Vengono impiegati generatori in corrente continua con tensioni comprese tra 0,85V e 3,5V collegando il negativo (catodo) alla struttura da proteggere, mentre il positivo (dispersore) viene interrato ad una distanza di 50 ÷ 200 metri dalla struttura stessa.

Batteria

In quasi tutti gli impianti fotovoltaici è previsto un sistema di accumulo (batteria) la cui funzione è di immagazzinare energia (fornita dal pannello fotovoltaico) durante il giorno per poi restituirla nella notte o nei periodi di scarsa insolazione.

Le batterie disponibili in commercio lavorano ad una tensione di 12V o suoi multipli.

Il tipo di batteria più idonea ad essere impiegata negli impianti fotovoltaici dovrebbe avere le seguenti caratteristiche:

ELEVATA EFFICIENZA	- rapporto tra energia fornita ed energia immagazzinata.
LUNGA DURATA	- numero di cicli carica-scarica.
BUONA RESISTENZA AGLI SBALZI DI TEMPERATURA	- impianti in quota.
BASSA MANUTENZIONE	- utenze isolate - remote.
RIDOTTA AUTOSCARICA	- impianti che rimangono inattivi per mesi.

Le batterie che, in qualche misura, corrispondono alle esigenze sopra descritte sono del tipo **PIOMBO - ACIDO** sviluppate per le esigenze automobilistiche e ormai collaudate da decenni.

Esistono anche batterie con elettrolita non liquido ma in forma di gel. Questo consente una ridottissima manutenzione e un trasporto più agevole, per contro però sono disponibili in commercio con capacità non molto grandi e richiedono regolatori di carica dedicati, inoltre questi tipi di batterie hanno un costo decisamente più elevato rispetto a quelle tradizionali.

Ogni elemento che compone una batteria ha una tensione nominale di 2V.

Durante la fase di carica occorre fare in modo che questa tensione non superi determinati valori, altrimenti gli elementi, sviluppando gas, provocherebbero il surriscaldamento della batteria stessa, danneggiandola.

Durante la scarica è bene che la tensione di ogni elemento non scenda al di sotto di 1,85V.

TEMPERATURA ELETTROLITO °C	TENSIONE SVILUPPO GAS V/elemento
15	2,445
25	2,400
35	2,335

Variazione della tensione di sviluppo gas in funzione della temperatura.

La capacità nominale di una batteria è riferita ad una scarica completa in 10 ore (con tensione finale di 1,85V per elemento).

Se la scarica avviene in tempi più brevi la capacità effettiva si riduce, mentre aumenta se la scarica avviene in tempi più lunghi.

CAPACITÀ NOMINALE 100A/h

ORE SCARICA	5	10	24	48	72	120	240
CAPACITÀ A/h	90	100	120	136	144	150	156
VARIAZ. CAPAC.	-10%	---	+20%	+36%	+44%	+50%	+56%

Variazione di capacità di una batteria da 100A/h in funzione del tempo di scarica (tensione finale del singolo elemento = 1,85V).

Regolatori di Carica

Una batteria con tensione nominale di 12V è composta da sei elementi e quindi, durante la fase di carica, occorre fare in modo che la sua tensione non superi i 14,1V circa altrimenti si svilupperebbero i dannosi gas di cui abbiamo già accennato.

Abbiamo precedentemente visto che i moduli fotovoltaici composti da 36 celle sviluppano una tensione di circa 18V, tensione che cala a batteria completamente scarica per poi risalire man mano che si carica ma, quando quest'ultima ha raggiunto la sua carica completa, la tensione applicata supera i 14,1V e perciò potrebbe danneggiare la batteria stessa. Per evitare questa spiacevole situazione occorre inserire tra pannello e batteria un **REGOLATORE DI CARICA**.

Il mercato offre una notevole varietà di questi prodotti. Per correnti del pannello fotovoltaico inferiori ai 30 ÷ 40A generalmente vengono impiegati regolatori completamente elettronici, mentre per correnti superiori si ricorre a regolatori elettronici con attuazione elettromeccanica.

I regolatori più diffusi sono del tipo **ON-OFF** che consistono nella completa connessione o sconnessione del pannello fotovoltaico dalla batteria quando la tensione della stessa supera una determinata soglia (generalmente 14,1V).

Il pannello può essere lasciato a circuito aperto (regolazione serie) o in cortocircuito (regolazione parallelo).

In piccoli impianti si preferisce la regolazione del tipo parallelo perché non essendoci elementi di regolazione in serie, non vi è neppure su questi alcuna caduta di tensione, per cui la tensione fornita dal pannello viene completamente utilizzata.

Esistono altri tipi di regolatori più sofisticati, ma i più diffusi sono quelli precedentemente citati.

Tra i regolatori di tipo ON-OFF (quelli che a noi interessano) ne esistono due tipi:

1. REGOLATORI VERSO IL PANNELLO.

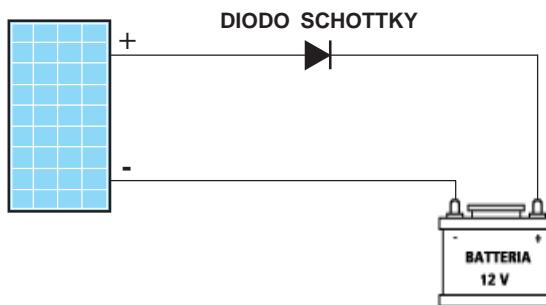
Il pannello fotovoltaico viene scollegato o cortocircuitato quando la tensione di batteria raggiunge 14,1V; viene invece ricollegato o eliminato il cortocircuito quando la batteria scende a 12,5V.

2. REGOLATORI VERSO IL PANNELLO E VERSO IL CARICO.

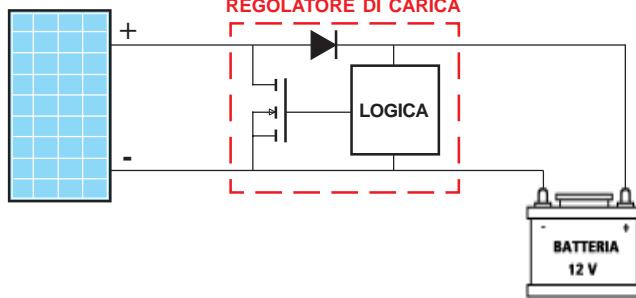
Oltre ad espletare le funzioni precedentemente descritte, controlla anche la corrente verso il carico, scollegandolo se viene superato un determinato amperaggio o se la tensione di batteria scende al di sotto di un certo valore (generalmente 10,8V).

Un normale modulo fotovoltaico a 35 o 36 celle può essere usato per caricare piccole batterie o mantenere la carica di batterie più grandi (ad es. in auto o camper durante soste molto lunghe) collegandolo senza il regolatore di carica, a condizione che la corrente generata non sia troppo elevata (meno di 1A).

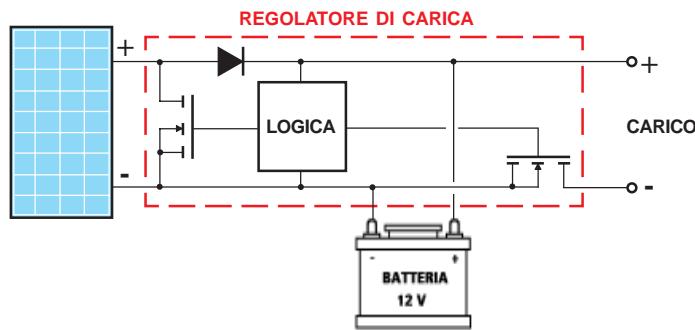
In questo caso occorre interporre tra il modulo e la batteria un diodo a bassa caduta di tensione (SCHOTTKY) in modo da impedire che la batteria stessa si scarichi sul modulo durante i periodi di assenza o scarsa insolazione.



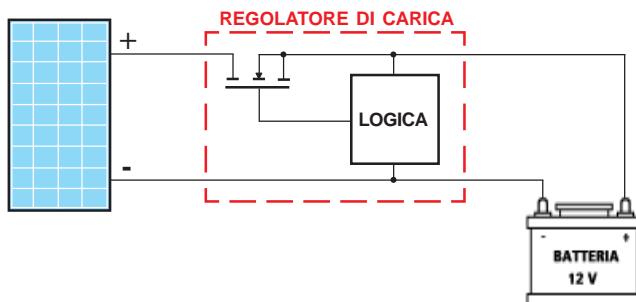
Circuito per carica batteria senza regolatore.



Esempio di regolatore di carica verso il pannello (tipo parallelo)



Esempio di regolatore di carica verso il pannello (tipo parallelo) e verso il carico



Esempio di regolatore di carica verso il pannello (tipo serie)

Per piccoli impianti, i regolatori più diffusi sono quelli tipo parallelo. Quando la tensione della batteria raggiunge i 14,1V (piena carica), un transistor di potenza, (**MOS-FET**) entra in conduzione mettendo in cortocircuito il pannello fotovoltaico.

Come si può notare nell'esempio di regolatore di carica tipo serie non è presente il diodo di blocco in quanto è già il transistor di potenza che impedisce la circolazione di corrente in senso inverso (dalla batteria al pannello).

Il regolatore di carica andrà scelto tenendo conto della corrente di cortocircuito che il pannello può fornire.



Inverter

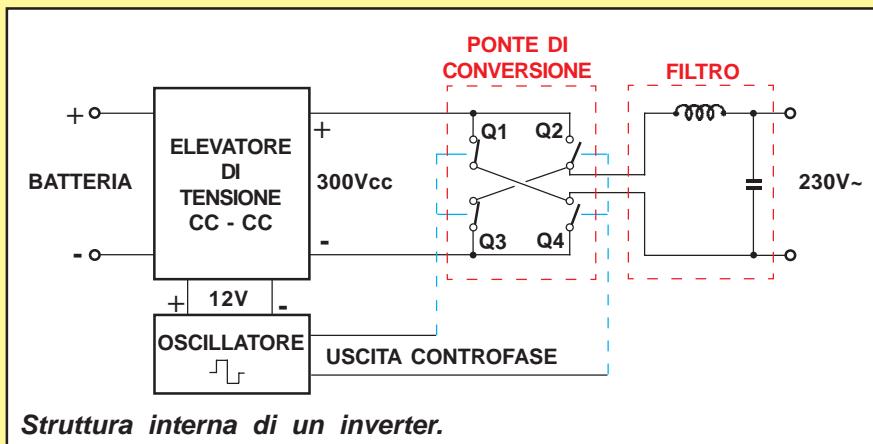
Un'ultima considerazione va fatta sulla natura del carico.

Se quest'ultimo è previsto per essere alimentato in corrente alternata, occorrerà far uso di un convertitore statico di potenza che si identifica col termine di **INVERTER**.

Il principio di funzionamento dei moderni inverter si basa su di un elevatore di tensione a commutazione e da un ponte di conversione.

La tensione di batteria, tramite l'alimentatore a commutazione, viene elevata a circa 300V e, tramite il ponte di conversione, trasformata in alternata.

Il ponte di conversione fa uso di semiconduttori pilotati alternativamente che fungono da interruttori. La tensione di uscita viene poi filtrata.



Q1, 2, 3, 4 sono transistor di commutazione (generalmente MOS-FET di potenza). Facendo condurre ed interdire alternativamente le coppie Q1 - Q3 e Q2 - Q4 si ottiene la conversione da corrente continua ad alternata. Quando Q1 e Q3 conducono, Q2 e Q4 sono interdetti e viceversa.

Si fa uso di un elevatore di tensione a commutazione per poter operare con frequenze relativamente alte (30 ÷ 200KHz) in modo da ridurre notevolmente l'ingombro del trasformatore. Infatti questi inverter hanno dimensioni molto ridotte rispetto a quelli delle generazioni precedenti.

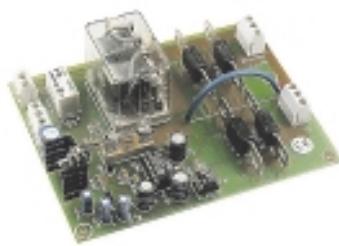


Alcuni tipi di INVERTER 12Vcc/220Vca

MAX 600W



MAX 2500W



Automatismi di accensione e spegnimento per INVERTER

Sono dispositivi che applicati ad un inverter, ne permettono l'accensione e lo spegnimento direttamente dal carico. In questo modo l'inverter può essere posizionato in qualsiasi posto ed eventualmente occultato.

Posizionamento dei Pannelli Fotovoltaici (orientamento e inclinazione)

In un impianto fotovoltaico, uno dei fattori più importanti è l'esposizione del modulo o pannello.

A questo proposito occorre tener presente che, come già accennato, i raggi del sole colpiscono la terra, in condizioni di cielo sereno e a mezzogiorno, con una potenza di 1KW/m².

Nell'arco della giornata, però, l'irraggiamento non è sempre uguale ma dal mattino alla sera presenta valori diversi.

Il fattore **ESH** (Equivalent Sun Hours - Ore di Sole Equivalente) indica quanti KWh/m² colpiscono una superficie piana in un giorno.

Il fattore ESH varia da luogo a luogo a seconda della latitudine, del periodo dell'anno, dalle condizioni ambientali e metereologiche, e viene riportato in modo statistico da apposite tabelle.

Il fattore ESH è di fondamentale importanza per il dimensionamento degli impianti fotovoltaici.

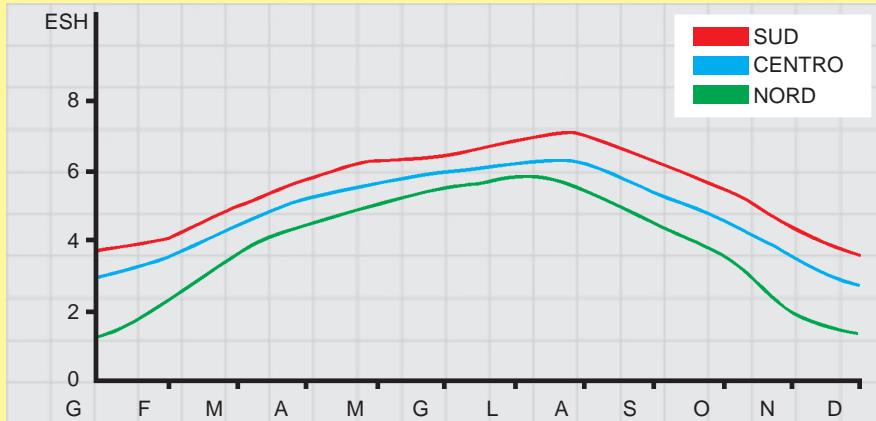
Per meglio comprendere è bene fare un esempio:

il valore ESH (ricavato dall'apposita tabella) per superficie piana parallela al suolo (non inclinata) a Bologna, nel periodo estivo, è pari a 5,29.

Ciò sta a significare che, anche se l'irraggiamento non è sempre uguale nell'arco della giornata, è come se i raggi del sole colpissero la superficie in oggetto alla massima intensità (1KW/m²) per 5,29 ore al giorno. Per cui, il fattore ESH, può anche essere espresso in KWh/m² al giorno.

A volte i dati vengono forniti in Kcal/m² al giorno e per trasformarli in KWh/m² al giorno è sufficiente dividerli per 860.

$$\frac{\text{Kcal/m}^2 \text{ g}}{860} = \text{KWh/m}^2 \text{ g}$$

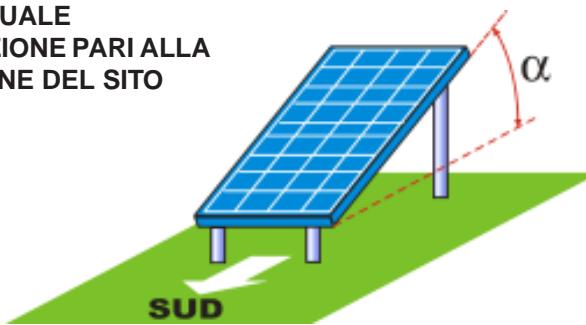


INSOLAZIONE MEDIA SU PIANO DI INCLINAZIONE PARI ALLA LATITUDINE (IN ITALIA)

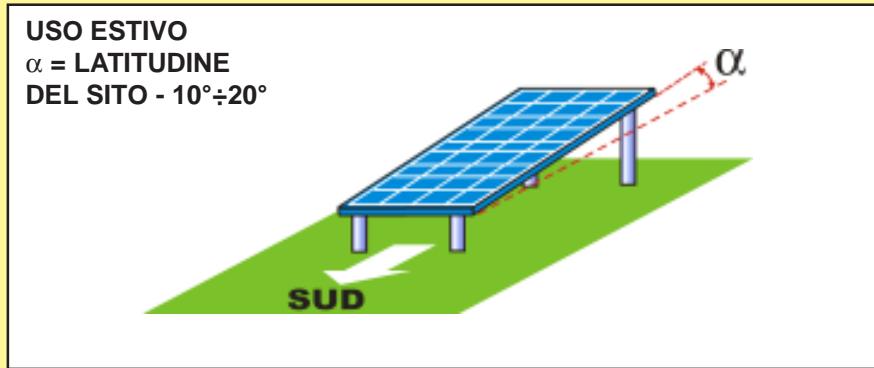
Per ricevere la massima insolazione, nel nostro emisfero (boreale), i pannelli fotovoltaici vanno, naturalmente, orientati a **SUD**, mentre l'inclinazione dipende dalla latitudine del sito di installazione e dal periodo di utilizzo dell'impianto.

Se l'utilizzo è **ANNUALE**, l'inclinazione che consente di captare la massima energia solare è pari alla latitudine del sito. Ad es. se installato a Pisa: $\alpha = 43^\circ 40'$.

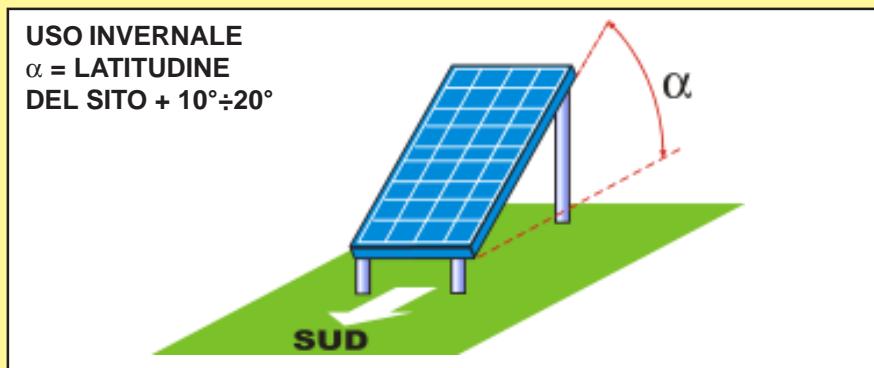
USO ANNUALE
INCLINAZIONE PARI ALLA
LATITUDINE DEL SITO



Se l'uso è **ESTIVO** è bene che l'inclinazione sia di circa $10^\circ \div 20^\circ$ in meno rispetto alla latitudine.



Per il periodo **INVERNALE** è invece più proficuo aumentare l'inclinazione di circa $10^\circ \div 20^\circ$.



In zone dove si prevede la presenza, con una certa frequenza, di nebbie mattutine, è opportuno orientare i pannelli di $5^\circ \div 10^\circ$ verso **SUD-OVEST** rispetto al sud (**AZIMUTH** $+5^\circ \div 10^\circ$).

È buona norma scegliere l'inclinazione del pannello considerando il periodo peggiore del tempo di utilizzo dell'impianto, perciò per utilizzo annuale si dovrà scegliere l'inclinazione per il miglior valore ESH per periodo invernale.

Sempre per utilizzo annuale, ma per impianti senza sistema di accumulo, ad esempio quelli connessi alla rete elettrica di distribuzione (**GRID-CONNECTED**), l'inclinazione migliore per il pannello è di una angolazione pari alla latitudine del sito.

Ciò è dovuto al fatto che, in questi impianti, è importante produrre più energia possibile nell'arco dell'anno senza tener conto dei cattivi periodi di soleggiamento, poichè è sempre disponibile l'energia fornita dalla rete elettrica.

Questo tipo di impianto (generalmente di grandi dimensioni), non viene trattato in questo manuale.

In qualsiasi tipo di impianto occorre fare molta attenzione che non vi siano ombreggiamenti anche parziali del pannello.

Anche se una sola cella resta ombreggiata, il rendimento del pannello cala bruscamente.

VALORI ESH GIORNALIERI MEDI STAGIONALI SU PANNELLI ORIENTATI A SUD DIVERSAMENTE INCLINATI

LOCALITÀ LATITUDINE	INCLINAZ.	INVERNO	VALORI ESH PRIMAV.	ESTATE	AUTUNNO
BOLZANO 46° 28'	0°	1,29	3,64	4,59	2,25
	30°	1,99	3,81	4,47	3,06
	45°	2,20	3,67	4,20	3,24
	60°	2,28	3,34	3,69	3,24
UDINE 46° 2'	0°	1,42	3,80	4,98	2,46
	30°	2,26	3,99	4,87	3,39
	45°	2,52	3,85	4,57	3,60
	60°	2,64	3,50	4,00	3,61
TRIESTE 45° 39'	0°	1,33	3,88	5,17	2,54
	30°	2,05	4,04	5,05	3,50
	45°	2,26	3,88	4,73	3,71
	60°	2,34	3,50	4,13	3,72
MILANO 45° 26'	0°	1,04	3,59	4,76	2,03
	30°	1,42	3,72	4,63	2,58
	45°	1,51	3,57	4,33	2,68
	60°	1,53	3,23	3,78	2,64
TORINO 45° 11'	0°	1,46	3,78	4,75	2,21
	30°	2,26	3,95	4,62	2,93
	45°	2,50	3,80	4,33	3,08
	60°	2,60	3,45	3,78	3,06
BOLOGNA 44° 32'	0°	1,39	4,11	5,29	2,41
	30°	2,07	4,27	5,14	3,16
	45°	2,26	4,09	4,79	3,31
	60°	2,33	3,65	4,15	3,28
GENOVA 44° 25'	0°	1,38	3,80	5,05	2,35
	30°	2,07	3,94	4,89	3,12
	45°	2,26	3,77	4,56	3,27
	60°	2,33	3,40	3,95	3,26

LOCALITÀ LATITUDINE	INCLINAZ.	VALORI ESH			
		INVERNO	PRIMAVER.	ESTATE	AUTUNNO
M.CIMONE 44° 12'	0°	1,53	3,20	4,49	2,29
	30°	2,34	3,28	4,37	2,97
	45°	2,58	3,13	4,08	3,10
	60°	2,67	2,83	3,56	3,06
CAPO MELE 43° 57'	0°	1,81	4,27	5,55	2,85
	30°	2,91	4,46	5,39	3,95
	45°	3,24	4,28	5,01	4,19
	60°	3,39	3,86	4,32	4,21
PISA 43° 40'	0°	1,49	3,89	5,16	2,59
	30°	2,22	4,01	4,99	3,46
	45°	2,42	3,83	4,64	3,63
	60°	2,50	3,44	4,00	3,61
ANCONA 43° 37'	0°	1,38	4,41	5,82	2,72
	30°	1,90	4,58	5,65	3,65
	45°	2,16	4,38	5,27	3,84
	60°	2,21	3,93	4,54	3,83
ROMA 41° 48'	0°	1,76	4,45	5,86	2,93
	30°	2,62	4,59	5,64	3,90
	45°	2,86	4,36	5,20	4,08
	60°	2,93	3,88	4,42	4,05
OLBIA 40° 56'	0°	1,69	4,28	5,67	2,77
	30°	2,41	4,36	5,43	3,60
	45°	2,60	4,12	4,98	3,74
	60°	2,65	3,65	4,22	3,69
NAPOLI 40° 51'	0°	1,47	3,63	4,96	2,52
	30°	2,03	3,66	4,74	3,21
	45°	2,16	3,46	4,35	3,32
	60°	2,18	3,07	3,71	3,26
BRINDISI 40° 39'	0°	1,59	4,01	5,26	2,68
	30°	2,22	4,07	5,03	3,44
	45°	2,38	3,84	4,62	3,56
	60°	2,41	3,41	3,93	3,50

LOCALITÀ LATITUDINE	INCLINAZ.	VALORI ESH			AUTUNNO
		INVERNO	PRIMAVERA	ESTATE	
ALGHERO	0°	1,84	4,74	6,23	3,11
	40° 38'	2,69	4,86	5,97	4,08
	45°	2,91	4,60	5,47	4,26
	60°	2,98	4,08	4,61	4,20
CAPO PALINURO	0°	1,96	4,47	6,10	3,18
	40° 1'	2,88	4,58	5,82	4,19
	45°	3,12	4,33	5,32	4,38
	60°	3,19	3,84	4,47	4,33
CAGLIARI	0°	1,89	4,47	5,66	2,98
	39° 15'	2,69	4,54	5,38	3,84
	45°	2,89	4,27	4,90	3,91
	60°	2,94	3,76	4,12	3,91
CROTONE	0°	1,91	4,35	5,83	2,95
	39° 4'	2,72	4,41	5,54	3,78
	45°	2,92	4,14	5,06	3,92
	60°	2,97	3,65	4,25	3,85
MESSINA	0°	1,72	4,06	5,29	2,66
	38° 12'	2,32	4,07	4,99	3,31
	45°	2,46	3,82	4,53	3,39
	60°	2,47	3,36	3,80	3,31
TRAPANI	0°	2,02	4,55	5,76	3,21
	37° 55'	2,84	4,58	5,44	4,14
	45°	3,04	4,28	4,92	4,29
	60°	3,07	3,76	4,10	4,21
GELA	0°	2,01	4,43	5,50	3,06
	37° 5'	2,78	4,45	5,19	3,86
	45°	2,96	4,16	4,70	3,98
	60°	2,99	3,64	3,91	3,88

I valori stagionali sono stati calcolati con la media dei valori ESH giornalieri dei seguenti mesi:

DICEMBRE-GENNAIO-FEBBRAIO	=	INVERNO
MARZO-APRILE-MAGGIO	=	PRIMAVERA
GIUGNO-LUGLIO-AGOSTO	=	ESTATE
SETTEMBRE-OTTOBRE-NOVEMBRE	=	AUTUNNO

I valori ESH della tabella sono frutto di dati statistici che rappresentano la media di diverse annate ma, evidentemente possono subire variazioni. Sono stati considerati in modo molto prudente in modo che nell'utilizzarli non si vada incontro ad avvillenti delusioni.



**VALORI MEDI ESH PER L'ITALIA NEL PERIODO INVERNALE.
PER IL PERIODO ESTIVO VANNO RADDOPPIATI.**

Dimensionamento

Prima di affrontare i calcoli per il dimensionamento degli impianti fotovoltaici è bene fare una considerazione che ci aiuterà meglio a comprenderne il meccanismo.

Istintivamente viene da paragonare l'impianto fotovoltaico con la rete elettrica, ma le rispettive forniture di elettricità hanno filosofie completamente diverse. L'impianto fotovoltaico è da considerarsi una fonte di **energia**, mentre la rete elettrica fornisce sì energia, ma è da considerarsi una fonte di **potenza**. Se, ad esempio, abbiamo un contratto con la società di distribuzione elettrica da 3KW, significa che in qualsiasi momento possiamo collegare all'impianto un carico fino a 3KW, anche 24 ore su 24, ma non potremo mai collegare carichi superiori alla potenza contrattuale (l'impianto verrebbe disattivato dal limitatore di corrente). Perciò tutti i ragionamenti si effettuano in termini di **potenza**.

La capacità di fornitura elettrica di un impianto fotovoltaico si valuta invece in Wh, e perciò si parla di **energia**. Se, ad esempio, in impianto fotovoltaico ci può fornire una energia di 500Wh al giorno, significa che se noi colleghiamo all'impianto un carico di 500W, nell'arco della giornata potremo utilizzarlo solo per 1 ora. Se il carico è invece di soli 50W lo si potrà alimentare per 10 ore.

In sostanza, il prodotto della potenza del carico per le ore di funzionamento non deve mai superare la capacità di fornitura di energia dell'impianto (nel nostro esempio 500Wh), altrimenti la batteria (che rappresenta il sistema di accumulo di energia) si scaricherà più di quanto il generatore fotovoltaico (moduli o pannello) è in grado di ricaricarla e, in breve tempo l'impianto risulterà inutilizzabile. Perciò tutti i ragionamenti vanno fatti (considerando la potenza del carico e le ore di utilizzo nell'arco della giornata) in termini di **energia**.

Naturalmente la quantità di energia che l'impianto fotovoltaico può fornire dipende dall'insolazione, e quindi è variabile nel corso dell'anno e dalle condizioni metereologiche. Questi fattori devono essere presi in considerazione per un corretto dimensionamento dell'impianto.

Il modo di operare nel dimensionamento di un impianto fotovoltaico si può comprendere abbastanza bene se lo si paragona ad un impianto idraulico con vasca di accumulo.

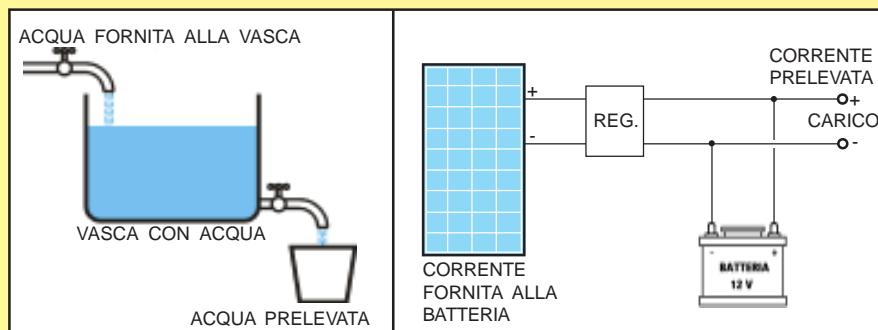
Supponiamo che la vasca contenga 50 litri di acqua e che noi ne preleviamo, per il nostro fabbisogno, 5 litri ogni giorno.

Se vogliamo che la vasca continui a contenere acqua, per poterla poi utilizzare, bisogna che ogni giorno gli vengano introdotti 5 litri d'acqua (la stessa quantità giornalmente prelevata).

Se invece di 5 litri giornalieri gliene introduciamo soltanto 3, potremo prelevare l'acqua per un certo periodo, ma è inevitabile che prima o poi la vasca resterà vuota! Infatti, ogni giorno trascorso la quantità di acqua contenuta nella vasca diminuirà di due litri e dopo 25 giorni sarà vuota.

L'impianto fotovoltaico con sistema di accumulo (batteria), si comporta in modo analogo, dove la batteria è paragonabile alla vasca, la corrente generata dal pannello fotovoltaico all'acqua versata nella vasca e la corrente consumata nel carico all'acqua prelevata.

Se ad esempio, con un determinato carico preleviamo dalla batteria 30Ah al giorno, il pannello fotovoltaico deve essere in grado di fornire almeno 30Ah al giorno (qualche cosa in più per sopperire alle perdite) altrimenti, a lungo andare, ci ritroveremo con la batteria scarica e l'impianto diventerà inutilizzabile.



Appare perciò evidente quanto sia importante, per la scelta del pannello fotovoltaico da impiegare nell’impianto, prevedere la quantità di energia da consumarsi giornalmente.

Da quanto fin qui esposto si può dedurre che i parametri fondamentali da conoscere per poter dimensionare correttamente un impianto, sono tre:

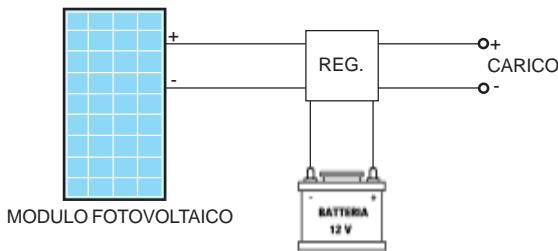
- 1. Luogo e periodo di installazione.**
- 2. Inclinazione del pannello fotovoltaico.**
(*Questi due parametri, sono espressi dal valore ESH. L’orientamento è quasi sempre verso SUD, e solo in alcuni casi verso SUD-OVEST.*)
- 3. Consumo giornaliero previsto (Wh).**

Mentre è facile prevedere i consumi giornalieri per ogni tipo di impianto, per i punti 1 e 2 si potranno assumere valori abbastanza precisi soltanto per installazioni fisse (case isolate, ripetitori, luci giardini ecc.). Per installazioni mobili (camper, imbarcazioni ecc.) occorrerà avvalersi di valori medi e basandosi quasi sempre su pannello posizionato orizzontalmente, per cui l’orientamento non ha più significato.

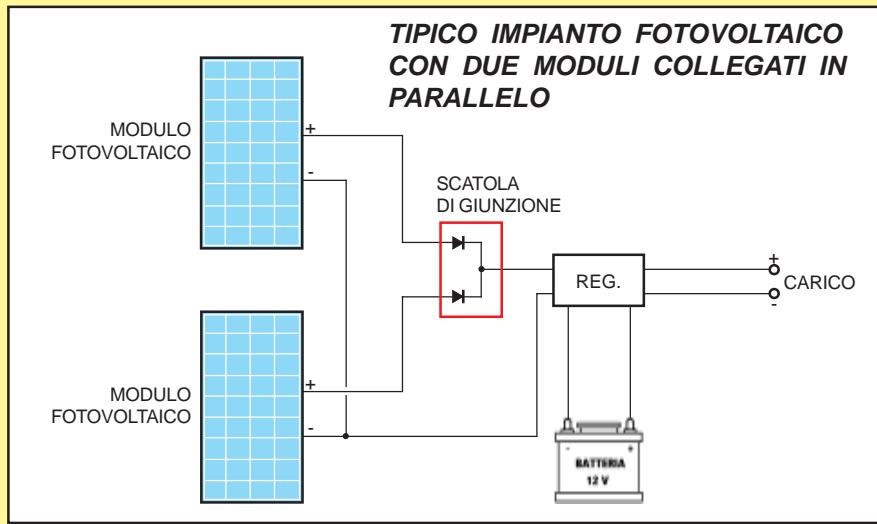
Un tipico impianto fotovoltaico è composto dal pannello (uno o più moduli) che rappresenta il generatore, dal regolatore di carica e dalla batteria che è il sistema di accumulo di energia.

Se il carico deve essere alimentato a corrente alternata, occorrerà far uso di un inverter collegato alla batteria come già accennato precedentemente.

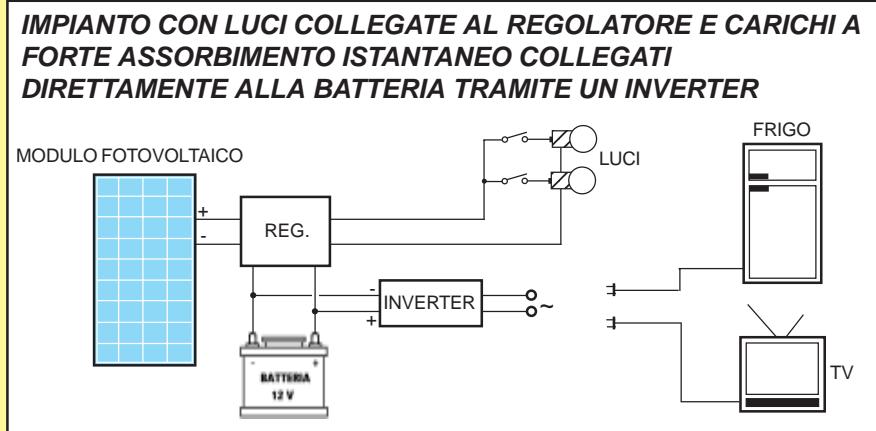
TIPICO IMPIANTO FOTOVOLTAICO CON CORRENTE DEL CARICO CONTROLLATA DAL REGOLATORE



Se un modulo fotovoltaico non è sufficiente a fornire l'energia necessaria occorre comporre un pannello formato da due o più moduli collegati in parallelo tra di loro (se la tensione di lavoro è già quella prevista) tramite una apposita scatola di giunzione che incorpora i diodi di blocco.



Se si utilizzano carichi che hanno un forte assorbimento (anche istantaneo) come ad esempio inverter, motori ecc. è bene scavalcare il regolatore e alimentarli direttamente dalla batteria, mentre l'uscita del regolatore la si può tranquillamente utilizzare per alimentare gli impianti di luci.



Abbiamo già detto precedentemente che per poter dimensionare correttamente un impianto fotovoltaico occorre conoscere il valore **ESH** (che esprime luogo, periodo di installazione e inclinazione del pannello) ed il consumo giornaliero previsto.

La potenza di picco che dovrà avere il pannello fotovoltaico è data dal rapporto tra il consumo giornaliero previsto e il valore ESH:

$$Wp = \frac{Wh}{ESH}$$

dove **Wp** = potenza di picco del pannello e **Wh** = consumo giornaliero. Tenendo conto che nell'impianto esistono perdite inevitabili dovute al rendimento dei vari dispositivi utilizzati (in particolar modo la batteria) e al fatto che nei calcoli viene tenuta in considerazione la potenza di picco del modulo fotovoltaico che la si ha a circa 17V (per impianti a 12V) e non a 12, occorre aumentare di circa il 50% il valore della potenza di picco del modulo necessario. Perciò la formula definitiva diventa:

$$Wp = \frac{Wh}{ESH} \times 1,5$$

Wp	=	potenza di picco del pannello
Wh	=	consumo giornaliero

Il dimensionamento del regolatore di carica non presenta alcun problema. Basterà infatti che la sua corrente massima sia superiore a quella di cortocircuito del modulo o insieme di moduli (pannello). Se, ad esempio, useremo un modulo fotovoltaico con una corrente di cortocircuito di 4A, il regolatore dovrà essere in grado di sopportare una corrente di almeno 4,5A.

Se useremo un pannello composto da tre moduli fotovoltaici in parallelo con una corrente di cortocircuito di 2,5A ognuno, il regolatore dovrà sopportare una corrente di almeno 8A (poichè $2,5 \times 3 = 7,5$ A).

A questo punto dobbiamo pensare a come dimensionare la batteria. Anche in questo caso il calcolo è molto semplice, teoricamente basterà infatti che la capacità della batteria sia uguale alla corrente (Ah) consumata giornalmente. Ma siccome è prudente pensare che il sole potrebbe mancare per diversi giorni, è bene che, in presenza di questo evento, la batteria provveda ad alimentare l'impianto.

Nel nostro paese i giorni di riserva raccomandati variano da 2 a 15 a seconda della latitudine e del periodo dell'anno.

GIORNI ACCUMULO	SUD	CENTRO	NORD
ESTATE	2	3	5
ANNUALE	6	10	15

La prima cosa che dobbiamo fare è trasformare i Wh consumati giornalmente in Ah (questo perchè le batterie hanno la capacità espressa in Ah), perciò, se l'impianto è a 12V occorrerà dividere i Wh di consumo giornaliero per 12:

$$Ah = \frac{Wh}{12}$$

e la formula definitiva per ricavare il valore della capacità della batteria idonea al nostro impianto sarà:

$$Ah = \frac{Wh}{12} \times \text{giorni accumulo}$$

Ah = capacità batteria
Wh = consumo giornaliero

Se, ad esempio, il nostro impianto (a 12V) è ubicato nel centro Italia e viene utilizzato solo nel periodo estivo con un consumo giornaliero di circa 300Wh, la batteria dovrà avere una capacità di:

$$\frac{300}{12} \times 3 = 75 \text{ Ah}$$

Se invece, lo stesso impianto viene utilizzato tutto l'anno la capacità della batteria dovrà essere :

$$\frac{300}{12} \times 10 = 250 \text{ Ah}$$

ATTENZIONE:

Se si utilizza una batteria già carica non occorrono particolari precauzioni salvo ogni 30 gg. circa controllarne l'efficienza ed eventualmente accelerare la ricarica tenendo spenti alcuni carichi per qualche tempo. Se viceversa la batteria da collegare è scarica e si carica con il pannello solare, è opportuno per questa procedura scegliere un periodo di ottima insolazione e temporaneamente non utilizzare i carichi previsti.

Il tempo di carica varia secondo la capacità della batteria e la corrente fornita dal pannello.

Importante:

La corrente di carica non deve mai superare un decimo della capacità (in Ah) della batteria ed anzi è bene che sia sensibilmente più bassa prevedendo tempi più lunghi.

Esempio:

Per la carica di una batteria da 250 Ah con una corrente di 10 A occorrono più di 35 ore !. **Quindi sole e carichi sconnessi.**

A questo punto, per concludere, facciamo alcuni esempi di impianti fotovoltaici a 12V ubicati in zone diverse e utilizzando carichi vari del tipo standard che stabiliremo in anticipo utilizzando l'apposita tabella.

In commercio si trovano kit già pronti per impianti fotovoltaici previsti per diversi tipi di carichi. Le caratteristiche dei componenti di questi kit, molto spesso, si discostano da quelli da noi calcolati, ma ciò, generalmente, è dovuto al fatto che il produttore confida in un parsimonioso consumo di energia da parte dell'utilizzatore.

TABELLA CONSUMI CARICHI STANDARD

da utilizzare per il dimensionamento degli impianti fotovoltaici
e di riferimento per gli esempi di questo manuale.

A	Lampada o plafoniera basso cons.	11W (lum. = 55W incand.)
B	Lampada o plafoniera basso cons.	24W (lum. = 100W incand.)
C	Lampada o plafoniera a LED	0,5W (lum. = 20W incand.)
D	Piccola TV LCD	8W
E	TV	45W
F	Videoregistratore	30W
G	Radio	10W
H	Piccola radio trasmittente TX	20W
I	Ventilatore	20W
L	Frigorifero 60 l. basso consumo	15W (consumo medio)

Il carico tipo **C** è una lampada speciale funzionante a LED la cui luce può essere bianca ma, quasi sempre ha una colorazione arancio. Essendo il suo consumo veramente basso, è molto idonea ad essere impiegata per tutti quei tipi di illuminazione che prevedono periodi lunghi, come ad esempio nei giardini e nei viali durante tutte le ore notturne.

MODELLO STANDARD PER IL DIMENSIONAMENTO DEGLI IMPIANTI FOTOVOLTAICI

SITO		PERIODO		ESH
ORIENT. / INCL.		GIORNI ACCUMULO
CARICO TIPO	UTILIZZO (ORE GIORNAL.)	CONSUMO (GIORNAL.)	TOTALE (CONS. GIORN.)	

Valori da adottare secondo i parametri inseriti nella tabella

Wp pannello	Capacità Batt.	I Reg. Carica
-------------------	----------------------	---------------------

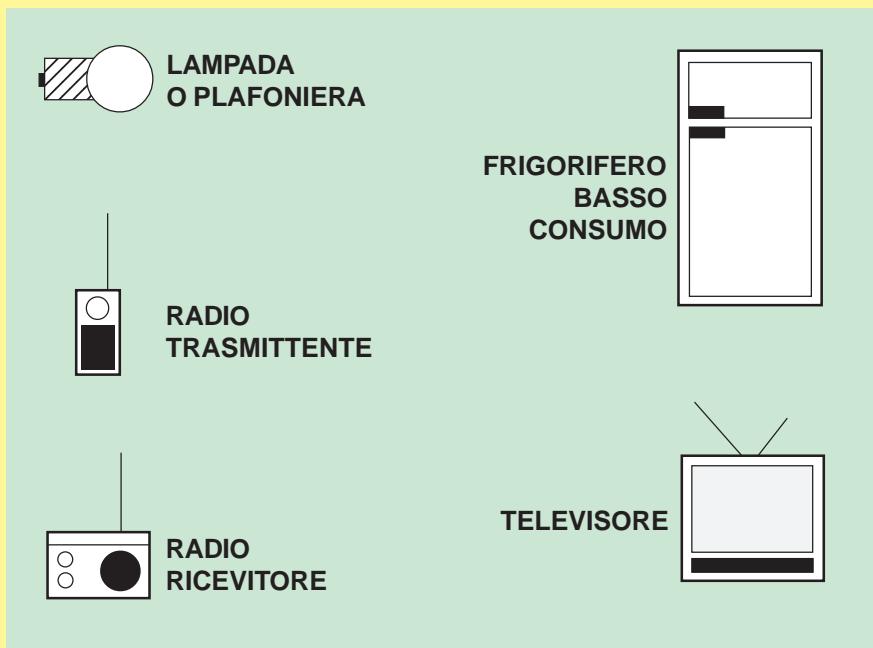
Da qui in avanti, per semplificare, i disegni degli impianti verranno fatti in modo schematico utilizzando una sola linea di collegamento. È ovvio che in realtà i collegamenti ai vari elementi sono sempre due.

Negli esempi che faremo abbiamo considerato un'inclinazione del modulo di 30° per il periodo estivo, anche se a questa inclinazione non si ha il miglior valore ESH. La ragione di ciò è dovuta al fatto che con questa inclinazione si ha il miglior compromesso tra energia raccolta nelle ore di punta ed energia raccolta nel primo mattino e nelle ultime ore di insolazione.

Questo effetto si evidenzia in modo particolare se vengono impiegati moduli costituiti da celle di silicio amorfo a tripla giunzione.

In ogni caso, questo modo di operare, come già accennato nelle note relative alla tabella dei valori ESH, ci porta ad avere sempre risultati soddisfacenti evitandoci delusioni e scoraggiamenti.

CARICHI TIPICI USATI NEGLI ESEMPI



Esempi

1. Si vuole realizzare un impianto fotovoltaico a Brindisi da utilizzare soltanto nel periodo estivo. I carichi collegati sono:
- **due plafoniere da 11W** che verranno accese per **4 ore al giorno**,
 - **una radio** tenuta accesa per **4 ore al giorno**,
 - **un televisore** che verrà utilizzato per **2 ore al giorno**
 - **un frigorifero** da 60 litri.

Per determinare i consumi, ci riferiamo alla tabella di pagina 43.

Per determinare i valori ESH, ci riferiamo alla tabella di pag. 32, per un orientamento a SUD ed una inclinazione del pannello di 30°.

Possiamo ora compilare il nostro modello standard.

SITO <u>BRINDISI</u>		PERIODO <u>ESTATE</u>		ESH <u>5.03</u>
ORIENT. / INCL.	<u>SUD/30°</u>	GIORNI ACCUMULO	<u>2</u>	
CARICO TIPO	UTILIZZO (ORE GIORNAL.)	CONSUMO (GIORNAL.)	TOTALE (CONS. GIORN.)	
<u>2 x A</u>	<u>4</u>	<u>88Wh</u>		
<u>G</u>	<u>4</u>	<u>40Wh</u>		
<u>E</u>	<u>2</u>	<u>90Wh</u>	<u>578Wh</u>	
<u>L</u>	<u>24</u>	<u>360Wh</u>		

Valori da adottare secondo i parametri inseriti nella tabella

Wp pannello <u>180</u>	Capacità Batt. <u>100Ah</u>	I Reg. Carica <u>15A</u>
------------------------	-----------------------------	--------------------------

Per ricavare i valori della potenza di picco del pannello, della capacità della batteria e la corrente del regolatore di carica, abbiamo utilizzato le formule già descritte:

$$Wp = \frac{Wh}{ESH} \times 1,5 = \frac{578}{5,03} \times 1,5 = 172,36 = 173$$

$$Ah = \frac{Wh}{12} \times \text{gg. acc.} = \frac{578}{12} \times 2 = 96,3 = 100$$

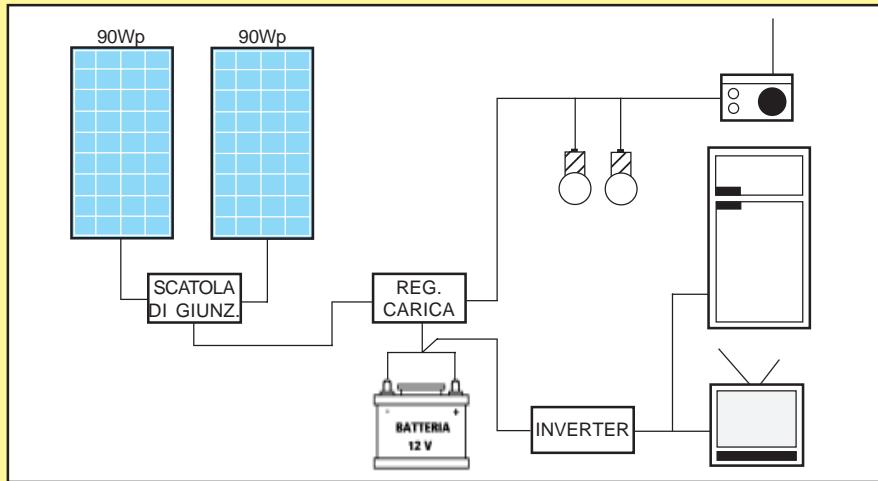
Per quanto riguarda la corrente del regolatore di carica, abbiamo diviso la potenza di picco del pannello fotovoltaico per 12 (tensione dell'impianto). In questo modo siamo certi che il valore della corrente del regolatore è sempre superiore a quella di cortocircuito del pannello:

$$I \text{ reg.} = \frac{Wp}{12} = \frac{180}{12} = 15A$$

Poichè in commercio non si trovano moduli da 173Wp bisognerà collegare in parallelo 2 moduli da 90Wp ciascuno tramite una scatola di giunzione.

Frigorifero e televisione funzionano ad una tensione di 230Vca ed hanno una corrente istantanea abbastanza elevata, perciò vanno collegati, tramite un inverter, direttamente alla batteria escludendo la regolazione verso il carico del regolatore di carica.

Lo schema dell'impianto sarà il seguente:



È molto importante che l'inverter sia collegato direttamente ai morsetti di uscita della batteria.

Naturalmente, l'inverter, dovrà avere una potenza di uscita adeguata ai carichi da alimentare.

Abbiamo considerato che il frigorifero abbia un consumo medio di 15Wh per il fatto che, generalmente, rimane inserito per circa 1/3 dell'intero tempo di utilizzo, perciò la potenza del motore è da considerarsi di 45W. Poichè i motori (carico induttivo) hanno un forte assorbimento allo spunto di partenza, l'inverter dovrà essere in grado di fornire una potenza almeno tripla.

Anche il televisore ha un assorbimento istantaneo più elevato di quello di regime, per cui la sua potenza istantanea è da considerarsi di almeno 70W.

La potenza che l'inverter dovrà essere in grado di sopportare sarà di almeno $(45 \times 3) + 70 = 205$, quindi, commercialmente $250 \div 300W$.

2. Con un impianto fotovoltaico vogliamo illuminare **8 punti di passaggio** di un giardino per **10 ore al giorno** (naturalmente durante la notte), in una zona nei pressi di Bologna.

L'illuminazione deve essere garantita in tutti i periodi dell'anno, per cui prenderemo in considerazione quello peggiore, cioè l'inverno. Per risparmiare energia utilizzeremo lampade a LED (tipo C).

Dalla tabella di ore di sole equivalente rileviamo che per Bologna il miglior valore ESH relativo al periodo invernale è, con pannello inclinato di 60° , **2,33**.

Considerando che, in particolar modo nei mesi invernali, la zona è investita da nebbia nelle ore mattutine, è conveniente spostare l'orientamento del pannello e cioè, anzichè completamente a SUD, leggermente verso SUD-OVEST in modo da raccogliere una maggiore quantità di energia solare durante le ore pomeridiane.

Vogliamo avere almeno 15 giorni di riserva di energia in caso di maltempo.

SITO	BOLOGNA	PERIODO ANNUALE	ESH
ORIENT. / INCL.	5/0/60°	GIORNI ACCUMULO	15
CARICO TIPO	UTILIZZO (ORE GIORNAL.)	CONSUMO (GIORNAL.)	TOTALE (CONS. GIORN.)
8 x C	10	40Wh	40Wh

Valori da adottare secondo i parametri inseriti nella tabella

Wp pannello

30

Capacità Batt.

50Ah

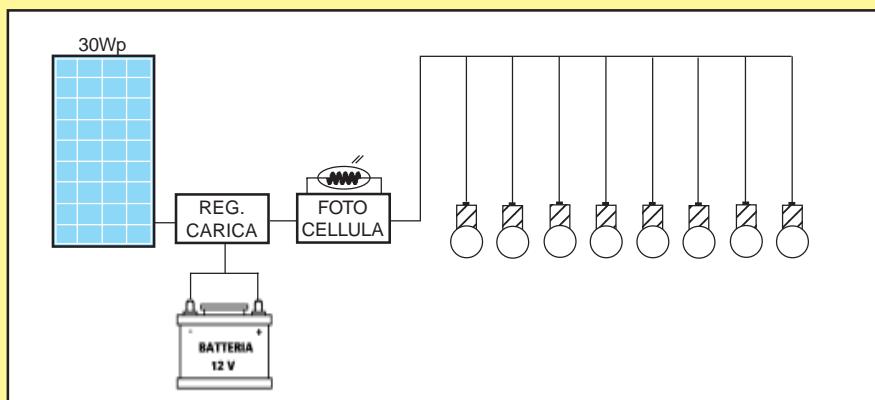
I Reg. Carica

2,5A

$$Wp = \frac{40}{2,33} \times 1,5 = 25,7 = 30 \text{ (val. commerciale)}$$

$$Ah = \frac{40}{12} \times 15 = 50$$

$$I \text{ reg.} = \frac{30}{12} = 2,5A$$



Naturalmente si dovrà far uso di un dispositivo che attivi le lampade durante la notte e le disattivi durante il giorno (come indicato nello schema).

3. Nel periodo estivo, in occasione di un campeggio della durata di un mese nella zona di Bolzano, si vuole garantire il funzionamento di una radio trasmittente per **1 ora al giorno** e l'utilizzo di una **lampada a led** per **4 ore a notte**.

Considerando il tipo di utilizzo, la scelta del modulo fotovoltaico dovrà cadere su di un modello leggero e preferibilmente flessibile. Il suo posizionamento è da considerarsi senz'altro senza alcuna inclinazione perché poggiato al suolo. In questa condizione, nella zona di Bolzano rileviamo dalla tabella che il valore ESH è di **4,59**.

Nell'arco di un mese, per sicurezza, prevediamo 5 giorni di cattivo tempo.

Dovrà essere nostra cura sistemare il modulo fotovoltaico in un posto dove non possa esserci alcun ombreggiamento e non vi cadano sopra foglie o altro.

SITO	<i>BOLZANO</i>	PERIODO	<i>ESTATE</i>	ESH
ORIENT. / INCL.	<i>0°</i>	GIORNI ACCUMULO	<i>5</i>	<i>4,59</i>
CARICO	UTILIZZO	CONSUMO	TOTALE	
TIPO	(ORE GIORNAL.)	(GIORNAL.)	(CONS. GIORN.)	
<i>C</i> <i>H</i>	<i>4</i> <i>1</i>	<i>2Wh</i> <i>20Wh</i>	<i>22Wh</i>	

Valori da adottare secondo i parametri inseriti nella tabella

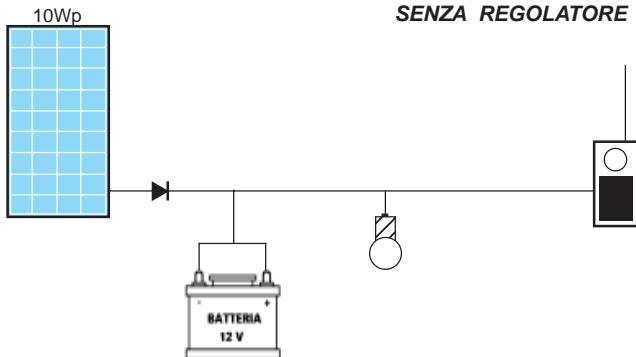
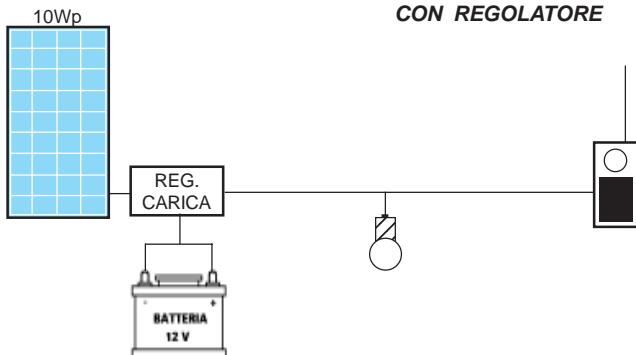
Wp pannello	<i>10</i>	Capacità Batt.	<i>10/12Ah</i>	I Reg. Carica	<i>2,5A</i>
-------------------	-----------	---------------------	----------------	---------------------	-------------

$$Wp = \frac{22}{4,59} \times 1,5 = 7,19 = 10 \text{ (val. commerciale)}$$

$$Ah = \frac{22}{12} \times 5 = 9,1 = 10/12 \text{ (val. commerciale)}$$

$$I \text{ reg.} = \frac{10}{12} = 0,83A = 2,5A \text{ (val. commerciale)}$$

Data la bassa corrente in gioco, il regolatore di carica può essere eliminato.



-
4. In una casetta di montagna, ubicata nella zona di Genova, si vuole installare un impianto fotovoltaico per garantire il funzionamento di un **piccolo frigorifero**, di un **televisore** e una luce da 11W. Naturalmente, il frigorifero, sarà **sempre inserito** mentre la luce e il televisore saranno messi in funzione per **tre ore al giorno**. La casa in oggetto sarà abitata soltanto nel periodo estivo. Per ragioni di estetica architettonica, il pannello fotovoltaico dovrà poggiare completamente sulla falda del tetto.
-

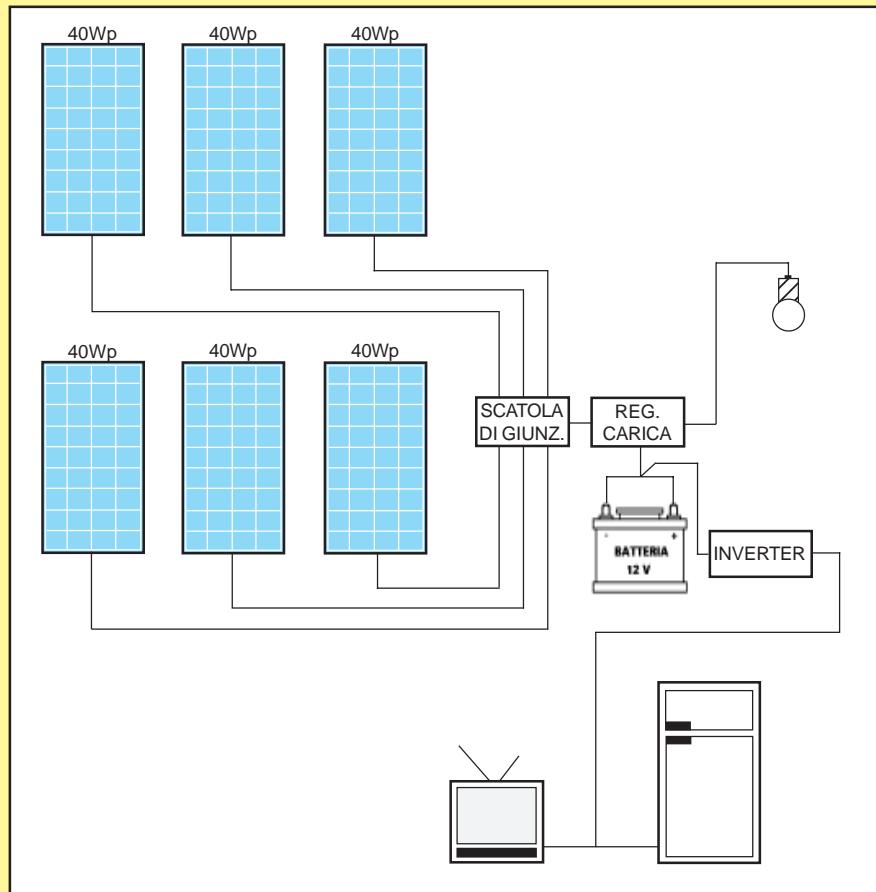
La falda del tetto più idonea ad accogliere il pannello è orientata a SUD-OVEST ed ha un倾inazione di 33° rispetto al terreno.
 Il valore ESH per il periodo estivo più vicino a questa倾inazione è quello relativo a 30° (4,89), che prenderemo per buono.
 Essendo però la falda del tetto orientata a SUD-OVEST e non a SUD, il valore ESH diventa circa il 70%, e cioè 3,42. Valore che utilizzeremo.
 L'autonomia prevista in caso di maltempo è di **5 giorni**.

SITO <i>GENOVA</i>	PERIODO <i>ESTATE</i>	ESH <i>3,42</i>
ORIENT. / INCL. <i>S/O/33°</i>	GIORNI ACCUMULO <i>5</i>	
CARICO TIPO	UTILIZZO (ORE GIORNAL.)	CONSUMO (GIORNAL.)
<i>L</i>	<i>24</i>	<i>360Wh</i>
<i>E</i>	<i>3</i>	<i>135Wh</i>
<i>A</i>	<i>3</i>	<i>33Wh</i>
		<i>528Wh</i>
<i>Valori da adottare secondo i parametri inseriti nella tabella</i>		
Wp pannello <i>240</i>	Capacità Batt. <i>220Ah</i>	I Reg. Carica <i>20A</i>

$$Wp = \frac{528}{3,42} \times 1,5 = 231,5 = 6 \text{ moduli da } 40Wp = 240$$

$$Ah = \frac{528}{12} \times 5 = 220$$

$$I \text{ reg.} = \frac{240}{12} = 20A$$



5. Si vuole installare un impianto fotovoltaico su di un camper che viene utilizzato nel periodo estivo in CENTRO ITALIA.
 I carichi utilizzati sono:
- **impianto luce interno** costituito da 2 lampade a basso consumo da 11W utilizzate per **2 ore al giorno**
 - **frigorifero** funzionante a 230Vca

Dato che il pannello fotovoltaico deve essere fissato al tetto del camper, il valore ESH preso in considerazione dovrà essere quello relativo ad una inclinazione di 0° e, in questo caso, è ovvio che l'orientamento non ha più alcuna importanza.

Essendo, il camper, utilizzato nel periodo estivo, l'inclinazione del pannello (orizzontale) risulta essere la più vantaggiosa e perciò come valore medio ESH per il centro Italia possiamo senz'altro utilizzare quello della cartina che è di 2,5 per l'inverno e perciò 5 nel nostro periodo di utilizzo.

Vogliamo inoltre avere un'autonomia di 3 giorni in caso di cattivo tempo.

SITO <i>CENTRO ITALIA</i>		PERIODO <i>ESTATE</i>	ESH
ORIENT. / INCL. <i>0°</i>		GIORNI ACCUMULO <i>3</i>	<i>5</i>
CARICO TIPO	UTILIZZO (ORE GIORNAL.)	CONSUMO (GIORNAL.)	TOTALE (CONS. GIORN.)
<i>2 x A L</i>	<i>2 24</i>	<i>44Wh 360Wh</i>	<i>404Wh</i>

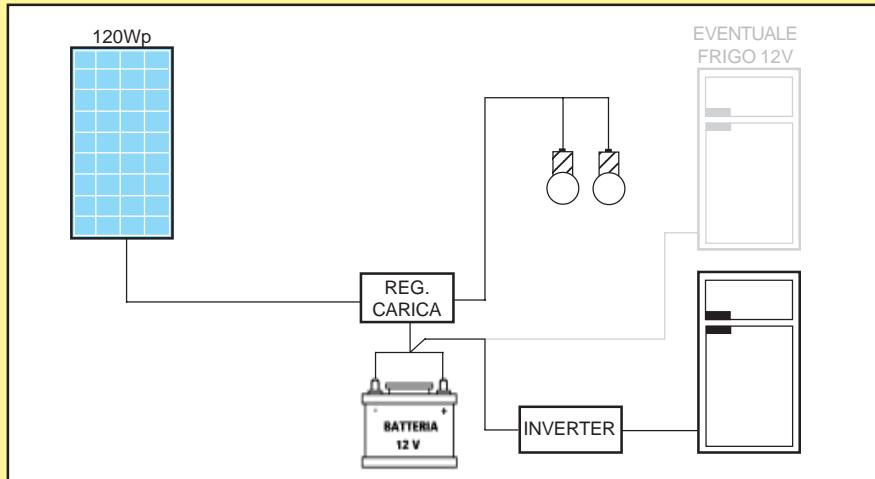
Valori da adottare secondo i parametri inseriti nella tabella

Wp pannello *120* | Capacità Batt. *100Ah* | I Reg. Carica *10A*

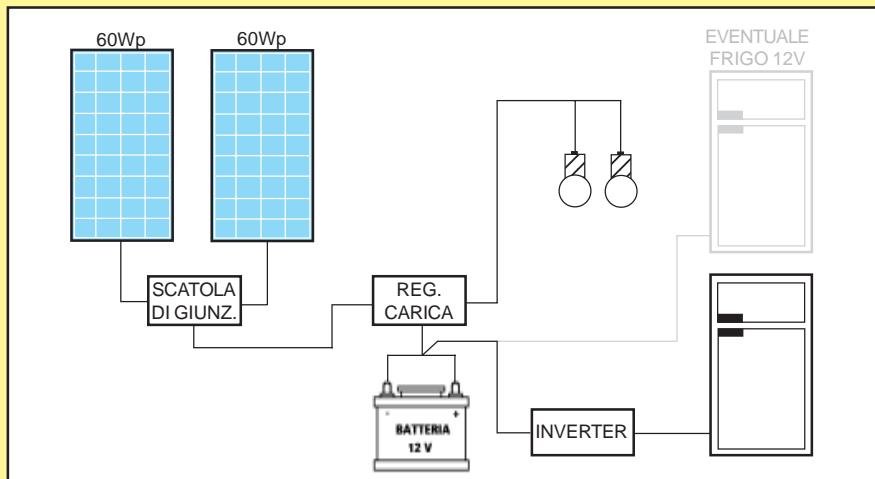
$$Wp = \frac{404}{5} \times 1,5 = 121,2 = \text{circa } 120Wp$$

$$Ah = \frac{404}{12} \times 3 = 101 = \text{circa } 100Ah$$

$$I \text{ reg.} = \frac{120}{12} = 10A$$



Per ragioni di spazio e installazione si può verificare il caso di dover utilizzare 2 moduli. In questo caso lo schema diventa il seguente:



NOTA: se il frigo fosse previsto per un funzionamento a 12Vcc andrebbe collegato direttamente ai morsetti della batteria e l'inverter non servirebbe più.

6. In un cantiere stradale si vuole segnalare la presenza di pericolo con **due luci lampeggianti da 5W ciascuna** fatte funzionare con un impianto fotovoltaico.

Le due luci, comandate da un sistema a fotocellula, si attivano al tramonto e si spengono all'alba per un totale di **12 ore**.

Il periodo è **autunnale** e il cantiere è a **Roma**.

Nei nostri calcoli dobbiamo prendere in considerazione che le due lampade sono lampeggianti, e perciò, accendendosi e spegnendosi, il periodo di consumo è circa la metà nel loro periodo di attività (nell'arco di 12 ore restano accese soltanto per 6).

I consumi dei dispositivi di lampeggio e fotocellula vengono volutamente trascurati in quanto irrisoni e, comunque, abbondantemente recuperati con l'arrotondamento per eccesso del modulo fotovoltaico.

Il modulo fotovoltaico dovrà essere orientato a SUD con una inclinazione di 45° a cui corrisponde un valore ESH di **4,08**.

Il cantiere dovrà rimanere attivo per diverse settimane, per cui è bene calcolare in caso di cattivo tempo, un'autonomia dell'impianto di almeno **7 giorni**.

SITO	ROMA	PERIODO AUTUNNO	ESH
ORIENT. / INCL.	SUD 45°	GIORNI ACCUMULO	4,08
CARICO TIPO	UTILIZZO (ORE GIORNAL.)	CONSUMO (GIORNAL.)	TOTALE (CONS. GIORN.)
2 x 5W	6 (12/2)	60Wh	60Wh

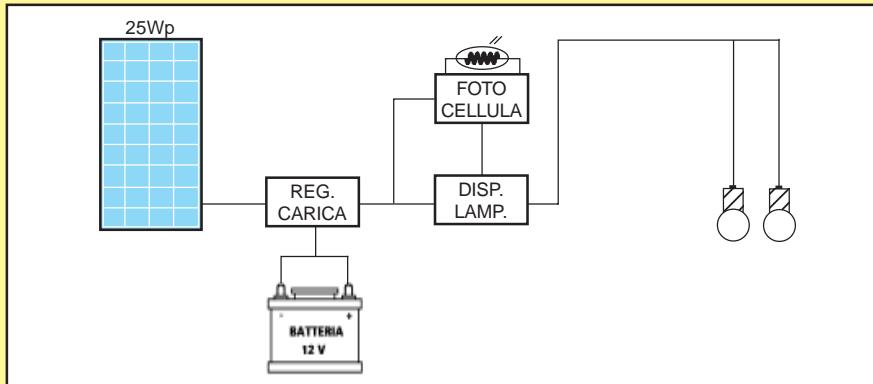
Valori da adottare secondo i parametri inseriti nella tabella

Wp pannello	25	Capacità Batt.	35Ah	I Reg. Carica	2,5A
--------------------------	-----------	----------------------------	-------------	----------------------	-------------

$$Wp = \frac{60}{4,08} \times 1,5 = 22 = 25 \text{ (val. commerciale)}$$

$$Ah = \frac{60}{12} \times 7 = 35$$

$$I \text{ reg.} = \frac{25}{12} = 2,08A = 2,5 \text{ (val. commerciale)}$$



7. In questo ultimo esempio analizzeremo il caso di un impianto fotovoltaico installato in una casa abitata soltanto nel **fine settimana** (Sabato e Domenica).

Il sito è a **Messina**, il periodo è quello **estivo** e l'utilizzo è di soli **2 giorni alla settimana**.

I carichi sono rappresentati da **2 lampade a basso consumo da 11W** che restano accese per **3 ore al giorno cadauna**, un **televisore** che viene messo in funzione per **2 ore al giorno e un frigorifero**.

Vengono considerati 5 possibili giorni di maltempo (mancanza di insolazione).

Come da tabella, l' ESH di Messina per il periodo estivo e con inclinazione del modulo inferiore a 30° orientato a SUD è circa **5**. Però visto l'utilizzo di soli 2 giorni su 7, occorre, una volta stabilito il consumo giornaliero, moltiplicarlo per 2 (2 giorni di consumi) e, seguendo la stessa logica, moltiplicare per 7 il valore ESH (7 giorni di insolazione). Questo perchè la ripetizione di utilizzo, non è giornaliera, ma settimanale. La capacità della batteria andrà trovata tenendo conto che la ricarica avviene in 7 giorni, ma la scarica (utilizzo) avviene in 2, con la seguente formula:

$$Ah = \frac{\text{Wh giorno}}{12} \times \left(\text{gg. utilizzo} + \frac{\text{gg. maltempo} \times \text{gg. utilizzo}}{\text{gg. intero per.}} \right)$$

che risulta dalla capacità occorrente per i giorni di utilizzo + la capacità aggiuntiva riferita ai giorni di maltempo, ma con intervallo settimanale.

SITO <u>MESSINA</u>	PERIODO <u>ESTATE</u>	ESH <u>(5x7)=35</u>
ORIENT. / INCL. <u>SUD/30°</u>	GIORNI ACCUMULO <u>5</u>	
CARICO TIPO	UTILIZZO (ORE GIORNAL.)	CONSUMO (GIORNAL.)
<u>2 x A</u>	<u>3</u>	<u>66Wh</u>
<u>E</u>	<u>2</u>	<u>90Wh</u>
<u>L</u>	<u>24</u>	<u>360Wh</u>
		<u>516Wh cons. totale settiman.</u>
		<u>516 x 2 = 1032Wh</u>

Valori da adottare secondo i parametri inseriti nella tabella

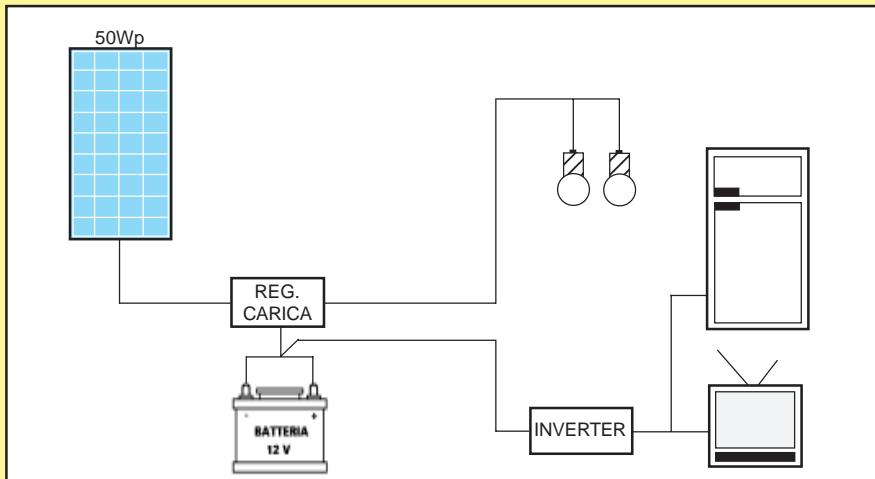
Wp pannello 50..... Capacità Batt.150Ah... I Reg. Carica5A.....

Come si può vedere, in questa situazione, è sufficiente un modulo di soli 50Wp per soddisfare un consumo giornaliero di ben 516Wh.

$$Wp = \frac{1032}{35} \times 1,5 = 44,2 = 50 \text{ (val. commerciale)}$$

$$Ah = \frac{516}{12} \times \left(2 + \frac{5 \times 2}{7}\right) = 147,4 = 150 \text{ (val. commerciale)}$$

$$I \text{ reg.} = \frac{50}{12} = 4,16A = 5A \text{ (val. comm.)}$$



Fin qui abbiamo fatto alcuni esempi che senz'altro aiutano a prendere confidenza con i semplici calcoli per il dimensionamento degli impianti fotovoltaici. Tuttavia esiste un'altro semplice calcolo che, disponendo di un certo numero di moduli fotovoltaici uguali (stesse caratteristiche), aiuta a stabilire quanti ne occorrono per realizzare l'impianto, in modo da avere immediatamente un'idea della superficie impegnata.

La formula è la seguente:

$$N = \frac{Whg}{ESH \times Wp \times 0,67}$$

N = numero di moduli da utilizzare

Whg = consumo giornaliero espresso in Wh

Wp = potenza di picco dei moduli disponibili

0,67 = rendim. approssimativo dell'impianto 67%

(1 = 100%)

ESEMPIO:

Ci troviamo a Gela e vogliamo realizzare un impianto fotovoltaico per il periodo estivo, per alimentare un carico che consuma 400Wh al giorno. Disponiamo di moduli con una potenza di picco di 40W cad.

Vogliamo sapere quanti moduli dovremo usare considerando che verranno inclinati di 30° rispetto al suolo.

Dalla tabella esposta nelle pagine precedenti, riscontriamo che per un'inclinazione di 30° relativo al periodo estivo, il valore ESH della zona di Gela è 5,19.

$$N = \frac{450}{5,19 \times 40 \times 0,67} = 3,23$$

Naturalmente il numero di moduli dovrà essere rappresentato da una cifra intera, per cui il numero risultante della formula andrà arrotondato per eccesso, diventando perciò 4.

Dovremo quindi utilizzare 4 moduli e, conoscendo la superficie del modulo impiegato, diventa facile conoscere l'area impegnata.

**ESEMPI INDICATIVI
DI CONSUMI ENERGETICI GIORNALIERI
E RELATIVA POTENZA DI PICCO
DEL PANNELLO FOTOVOLTAICO
DA IMPIEGARE PER DUE DIVERSI PERIODI**

	CARICHI	CONS. GIORN.	POT. PANNELLO	
			ESTATE	INVERNO
1	Lampeggiatore segnaletico consumo medio 2W x 12 ore	24Whg	8W	16,5W
2	Radio 3W x 10 ore	30Whg	10W	20,5W
3	Lampada 11W x 5 ore	55Whg	18,5W	37,5W
4	Lampada 11W x 5 ore + Radio 3W x 6 ore	73Whg	24,5W	50W
5	Lampada 18W x 5 ore	90Whg	30W	62W
6	Lampada 11W x 10 ore	110Whg	37W	75W
7	Lampada 24W x 5 ore	120Whg	40W	82W
8	Lampada 11W x 5 ore + TX 20W x 4 ore	135Whg	45W	92W
9	TV 40W x 4 ore	160Whg	54W	110W
10	Lampada 11W x 5 ore + TV 40W x 4 ore	215Whg	72W	147W
11	2 Lampade 11W x 5 ore + TV 40W x 4 ore	270Whg	90W	184W
12	Frigorifero 60 L.	360Whg	120W	246W
13	Lampada 11W x 5 ore + Frigo 60 L.	415Whg	139W	283W
14	Lamp. 11W x 6 ore + Radio 3W per 8 ore + Frigo 60 L.	450Whg	150W	307W
15	2 Lampade 11W x 5 ore + Frigo 60 L.	470Whg	157W	321W
16	5 Lampade 11W x 10 ore	550Whg	184W	375W
17	Lamp. 11W x 5 ore + Frigo 60 L. + TV 40W x 4 ore	575Whg	192W	392W
18	2 Lamp. 11Wx5h.+Frigo 60L.+TV 40Wx5h.+TX 20Wx3h.	730Whg	244W	498W
19	3 Lamp. 11Wx5h.+Frigo 60L.+TV+Reg.+Sat. 80W x 4h.	845Whg	282W	577W

**STESSI ESEMPI DELLA PAGINA PRECEDENTE MA
CON UTILIZZO DI SOLO FINE SETTIMANA
(SABATO E DOMENICA) NEL PERIODO ESTIVO**

	CONSUMI GIORNALIERI	POTENZA PANNELLO
1	24Whg	2,3W
2	30Whg	2,9W
3	55Whg	5,2W
4	73Whg	7W
5	90Whg	8,6W
6	110Whg	10,5W
7	120Whg	11,5W
8	135Whg	13W
9	160Whg	15,2W
10	215Whg	20,5W
11	270Whg	26W
12	360Whg	34,3W
13	415Whg	40W
14	450Whg	43W
15	470Whg	45W
16	550Whg	52,5W
17	575Whg	55W
18	730Whg	70W
19	845Whg	80,5W

I valori delle due tabelle sono indicativi e si intendono con pannello fotovoltaico orientato a SUD e inclinato rispetto al terreno di 0° / 30° nel periodo estivo e di 60° nel periodo invernale. I dati sono approssimativi e validi per il territorio italiano (latitudine compresa tra 37° e 47°). Si è considerato un valore ESH medio di 4,5 per l'estate e di 2,2 per l'inverno. Abbiamo tenuto conto che i moderni frigoriferi da 60 L. (per veicoli ricreazionali e imbarcazioni) hanno un consumo medio di 15Wh.

GLOSSARIO

ACCUMULATORE

Dispositivo che converte l'energia chimica in energia elettrica. Può essere caricato fornendogli energia elettrica che durante il processo di scarica viene restituita. Più accumulatori collegati in serie formano una batteria di accumulo elettrochimico.

ALBEDO

Rapporto tra la radiazione riflessa da una superficie e la radiazione incidente sulla stessa.

AM

AIR MASS (massa d'aria). La radiazione solare per arrivare al suolo terrestre deve attraversare una massa d'aria atmosferica che è minima quando il sole è allo Zenit e che aumenta man mano che il sole si abbassa sull'orizzonte. Si indica con AM 0 (air mass zero) la radiazione solare oltre l'atmosfera ($1,353\text{KW/m}^2$). Si indica con AM 1 (air mass uno) la radiazione solare sul suolo terrestre a mezzogiorno di una giornata perfettamente serena (1KW/m^2). Si indica con AM 1,5 (air mass 1,5) l'intensità della radiazione per confronti in prove comparative di dispositivi fotovoltaici.

AMPERORA (Ah)

Quantità di elettricità equivalente al flusso di una corrente di 1 Ampere per 1 ora.

AUTOSCARICA

La perdita di energia che si manifesta in una batteria col passare del tempo.

AZIMUTH

Angolo orizzontale misurato in senso orario a partire da SUD. Azimuth + 90° = OVEST. Azimuth - 90° = EST.

BATTERIA	Più accumulatori collegati in serie (vedi ACCUMULATORE)
CAMPO AD INCLINAZIONE FISSA	Campo fotovoltaico con struttura di sostegno dei moduli fissa.
CAMPO AD INSEGUIMENTO	Campo fotovoltaico che si muove seguendo il percorso del sole. L'inseguimento può avvenire su uno o su due assi.
CAMPO FOTOVOLTAICO	Lo schieramento complessivo dei pannelli solari di un impianto fotovoltaico.
CAPACITÀ DELLA BATTERIA (Ah)	È la quantità di energia che si può ottenere scaricando la batteria nel modo stabilito dal costruttore.
CAPACITÀ NOMINALE (Ah)	È la capacità della batteria dichiarata dal costruttore. Si riferisce ad un tempo di scarica di 10 ore alla temperatura di 25°C.
CARICO ELETTRICO	La potenza elettrica richiesta in un dato istante.
CATODICA, protezione	Metodo per impedire la corrosione nelle strutture metalliche esposte agli agenti atmosferici (viadotti, ponti, oleodotti ecc.). Fra la struttura ed il suolo viene applicata una piccola tensione elettrica che si oppone al flusso di elettroni poichè più elevata di quelle che si generano durante il processo di corrosione.
CELLA FOTOVOLTAICA	Piastrina di materiale semiconduttore che converte direttamente la radiazione solare in energia elettrica. Il processo è detto “effetto fotovoltaico”.

CONVERSIONE, rendimento di	In una cella fotovoltaica, il rapporto tra la massima potenza di uscita e la potenza della radiazione incidente.
CONVERTITORE A COMMUTAZIONE NATURALE	Inverter che può funzionare solo se connesso alla rete elettrica in quanto la frequenza della tensione di uscita è impostata dalla rete elettrica stessa.
CONVERTITORE cc/ca	Vedi INVERTER.
CORTOCIRCUITO, corrente di	Corrente che fluisce da una cella fotovoltaica attraverso un circuito esterno privo di resistenza. È la massima corrente possibile.
COSTANTE SOLARE	Intensità della radiazione solare. Al di sopra dell'atmosfera terrestre = 1,353KW/m ² . Sul suolo terrestre, in condizioni AM 1 = 1KW/m ² .
DIODO	Dispositivo con conduttività elettrica unidirezionale.
DIODO DI BLOCCO	Diodo usato per evitare che durante i periodi di oscuramento circoli corrente dalla batteria al generatore fotovoltaico.
DIODO DI BY-PASS	Diodo connesso in antiparallelo ad una o più celle per evitarne il danneggiamento in caso di ombreggiamento, offrendo alla corrente un percorso alternativo.
EFFICIENZA DI CONVERSIONE	In un dispositivo fotovoltaico, il rapporto tra l'energia elettrica prodotta e l'energia solare incidente.

ELEMENTO DI BATTERIA	L'unità più piccola di una batteria. Generalmente per gli accumulatori al piombo fornisce una tensione nominale di 2V.
ENEA	Ente Nazionale Energie Alternative.
ENERGIA SOLARE	È l'energia, sotto forma di onde elettromagnetiche, emessa dal sole. Sopra l'atmosfera terrestre ha una densità di potenza pari a $1,92\text{cal}/\text{cm}^2\text{min} = 1,353\text{KW}/\text{m}^2$.
ESH	Equivalent Sun Hours (Ore di Sole Equivalenti). Indica il numero di ore equivalenti alla massima insolazione nell'arco di una giornata.
FILL FACTOR	Fattore di Riempimento. In un dispositivo fotovoltaico è il rapporto tra la potenza massima e il prodotto dato dalla tensione a circuito aperto per la corrente di cortocircuito.
FOTOVOLTAICA, cella	Dispositivo che genera elettricità quando è eccitato da radiazione luminosa. Tipicamente è costituita da una giunzione P-N tra due diversi conduttori.
FOTOVOLTAICO, modulo	Più celle interconnesse tra loro e montate su un'intelaiatura. Un particolare vetro sigillato per tutto il perimetro funge da protezione agli agenti atmosferici.
FOTOVOLTAICO, pannello	Più moduli collegati tra loro in un'unica struttura.
GRID	In inglese, Rete Elettrica di Distribuzione.

INCIDENZA, angolo di	L'angolo che un raggio luminoso forma con la perpendicolare della superficie che colpisce.
INCLINAZIONE, angolo di	L'angolo che forma la superficie captante con il piano orizzontale. È 0° se la superficie è orizzontale. È 90° se è perpendicolare al suolo.
INSOLAZIONE	Intensità della radiazione solare. Sinonimo di Soggiamento.
INVERTER	Dispositivo elettronico che trasforma la corrente continua in alternata.
IRRAGGIAMENTO	Radiazione solare istantanea incidente sull'unità di superficie.
I_{sc}	Vedi CORTOCIRCUITO, corrente di.
MPPT	Inseguitore del punto di massima potenza. Dispositivo elettronico che permette di mantenere il punto di lavoro del pannello (o campo) fotovoltaico al punto della massima potenza della curva I-V in qualsiasi condizione di irraggiamento e temperatura.
NOCT	Normal Operating Cell Temperature. Si misura in $^\circ\text{C}$. È la temperatura che assume un modulo fotovoltaico ad un irraggiamento di 800Wm^2 con temperatura ambiente di 20°C e velocità del vento di 1m/sec .
ORIENTAMENTO	Posizione che assume il modulo rispetto ai punti cardinali. Il valore dell'Azimuth determina la misura dell'orientamento.

PARALLELO	Modo di connettere due o più moduli fotovoltaici in modo che la tensione prodotta rimane costante ma aumenta la corrente.
PICCO, carico di	Il carico elettrico massimo che si verifica in un sistema di consumo di elettricità durante un certo intervallo di tempo, generalmente 24 ore.
PIRANOMETRO	Strumento per misurare l'intensità della radiazione solare. Sinonimo di SOLARIMETRO.
POTENZA	Velocità di utilizzazione o di produzione di energia.
POTENZA DI PICCO	Si indica con Wp. È la massima potenza prodotta da un dispositivo fotovoltaico durante il funzionamento in condizioni standard (25°C di temperatura e irraggiamento di 1000W/m ²).
PUNTO DI FUNZIONAMENTO	Caratteristica I-V. Corrente e tensione che un dispositivo fotovoltaico produce sotto carico.
Rad	Radiante. Unità di misura angolare. 1 Rad = 360/6,28 (57° 17' 44",80). Il disco solare si vede dalla terra sotto un angolo di 0,009 Rad (circa mezzo grado).
RADIAZIONE DIFFUSA	Parte della radiazione solare che riceve una superficie di captazione dopo la riflessione e la dispersione dovuta all'atmosfera.
RADIAZIONE DIRETTA	Radiazione solare ricevuta da una superficie di captazione con un unico e definito angolo di incidenza.

RADIAZIONE GLOBALE	Somma delle radiazioni diretta, diffusa e riflessa.
RADIAZIONE RIFLESSA	Parte della radiazione solare che riceve una superficie di captazione dopo varie riflessioni: dell'acqua, del terreno e della vegetazione circostante.
RADIAZIONE SOLARE	Energia elettromagnetica proveniente dal sole che si propaga nello spazio alla velocità della luce (300.000Km/sec). La lunghezza d'onda della radiaz. solare che interessa il processo fotovoltaico è compresa tra 0,3 e 1,1 μ m.
REGOLATORE DI CARICA	Dispositivo che controlla lo stato di carica delle batterie disattivando il generatore fotovoltaico quando queste hanno raggiunto la completa carica e riattivandolo quando possono essere nuovamente ricaricate.
RESISTENZA SERIE	In una cella fotovoltaica, la resistenza elettrica complessiva dovuta al corpo della cella, allo strato superficiale e ai contatti elettrici.
SEMICONDUTTORE	Sostanza a struttura cristallina. L'agitazione termica degli atomi è sufficiente per permettere il passaggio di elettricità dalla banda di valenza a quella di conduzione e quindi di avere una conducibilità intrinseca inferiore di alcuni ordini di grandezza a quella dei metalli, ma superiore di parecchi ordini di grandezza a quella degli isolanti e fortemente crescente con la temperatura.
SHUNT	Sinonimo di DERIVAZIONE (parallelo). Una resistenza montata in parallelo al carico per ridurre la corrente che lo attraversa.

SILICIO	Simbolo Si. Costituente comune della sabbia e del quarzo. Materiale semiconduttore usato come base per la fabbricazione della maggior parte delle celle fotovoltaiche.
SILICIO AMORFO	Silicio i cui atomi non sono legati tra loro in uno schema uniforme. È usato per la costruzione di determinate celle fotovoltaiche.
SILICIO CRISTALLINO	Silicio usato per la fabbricazione di celle fotovoltaiche. Le molecole che lo compongono occupano lo spazio in modo ordinato, dando luogo ad una stato di aggregazione della materia detto cristallino. Può essere a struttura monocristallina o policristallina.
SILICIO MONOCRISTALLINO	È ottenuto per la crescita del silicio da un unico cristallo.
SILICIO POLICRISTALLINO	È ottenuto facendolo solidificare lentamente in modo da avere una massa fatta da innumerevoli piccoli cristalli. È detto anche polisilicio.
SISTEMA GRID-CONNECTED	Sistema fotovoltaico collegato alla rete elettrica di distribuzione. Tutta o parte dell'energia prodotta viene immessa in rete.
SISTEMA STAND-ALONE O OFF-GRID	Sistema fotovoltaico isolato non collegato alla rete elettrica di distribuzione.
SOLARIMETRO	Vedi PIRANOMETRO.
SOLE	Unità di intensità della radiazione solare. Si dice 1 sole quando la radiazione è 1KW/m^2 .

SOLEGGIAMENTO

Vedi INSOLAZIONE.

STC

Condizioni standard per le prove dei moduli fotovoltaici, che sono:
IRRAGGIAM.: 1KW/m² (100mW/cm²)
TEMPERATURA: 25°C
AIR-MASS: 1,5

STRINGA

Un certo numero di moduli fotovoltaici connessi in serie.

Voc

La massima tensione prodotta da un dispositivo fotovoltaico. Si misura senza applicare alcun carico.

Wh

Unità di misura dell'energia. La potenza continuativa di 1W per 1 ora.

Wp

Vedi POTENZA DI PICCO.

ZENIT

Il punto all'infinito sulla verticale di un dato luogo della superficie terrestre.

Solarimetro

Il SOLARIMETRO è uno strumento che misura con quanta potenza il sole investe una superficie di 1m².

La sua indicazione è ovviamente espressa in W/m².

Per chi si dedica agli impianti fotovoltaici rappresenta un ausilio non trascurabile per valutare l'insolazione del sito, in modo particolare nel posto esatto dove verrà installato il pannello fotovoltaico.

Si potranno quindi eseguire prove a diverse inclinazioni e orientamenti. Si tenga presente che a volte, orientamento e inclinazione possono essere diversi da quelli dettati dalle normali regole perché, nella zona circostante, possono esserci elementi (edifici, capannoni industriali, corsi d'acqua ecc.) che riflettono parte della radiazione solare, concentrandola verso un'angolazione diversa.

Tutto questo viene evidenziato facendo uso del solarimetro, che vi permetterà di trovare il migliore orientamento e la migliore inclinazione. Questo strumento permette anche di misurare in modo abbastanza preciso la potenza dei moduli fotovoltaici evitando così brutte sorprese durante l'acquisto e l'installazione.

Occorre posizionare, vicini, il solarimetro e il modulo in prova orizzontali rispetto al suolo.

Si misura la corrente di cortocircuito del modulo e si legge il valore indicato dal solarimetro.

A questo punto la formula che stabilisce la potenza del modulo in esame (moduli con tensione nominale di 12V) è la seguente:

$$W_p = \frac{1000}{W/m^2} \times I_{sc} \times A$$

W_p = potenza del modulo in esame

W/m² = valore indicato dal solarimetro

I_{sc} = corrente di cortocircuito del modulo in esame

A = modulo con celle cristalline = 15,5

modulo con celle amorfe tripla giunzione = 14

modulo con celle amorfe = 13,5

La prova può avvenire in qualsiasi condizione, l'importante è che il valore indicato dallo strumento sia compreso tra 150 e 1000W/m².

Con l'uso del solarimetro ci si può anche rendere conto di quanto una copertura in vetro, materiale plastico o altro, possa diminuire il rendimento di un modulo fotovoltaico.

Costruzione di un solarimetro

Si può costruire abbastanza facilmente un solarimetro facendo uso di un piccolo modulo fotovoltaico e di un millivoltmetro (200mV fondo scala) che consigliamo digitale a cristalli liquidi. La scelta dei cristalli liquidi è dovuta al fatto che il display rimane ben visibile anche in presenza di luce intensa.

Lo strumento deve essere a 3 cifre e mezzo, in questo modo escludendo i punti decimali, l'indicazione avviene direttamente in W/m².

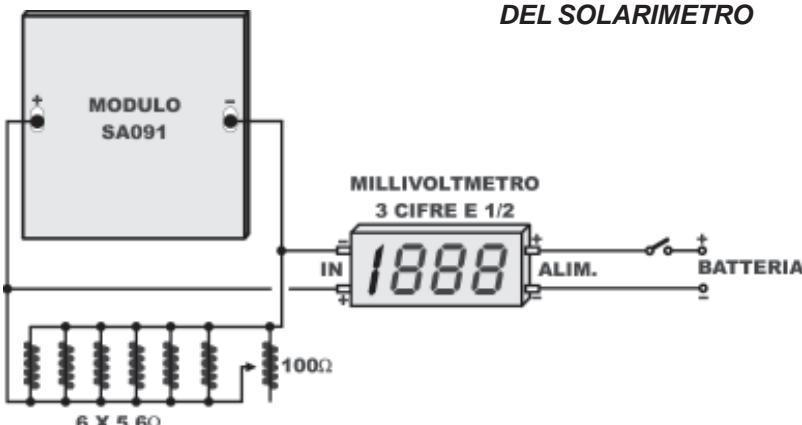
Il modulo che noi consigliamo è l' SA091 (catalogo ELSEKit) che ad una irradiazione di 1KW/m² la corrente di cortocircuito è di 108,2mA. Questa corrente è direttamente proporzionale, in modo lineare, all'insolazione che riceve.

Per la costruzione dello strumento occorre procedere col fissare il modulo al contenitore plastico LP022 (catalogo ELSEKit) dopo aver praticato due fori per il passaggio dei fili da collegare al modulo stesso. Sei resistenze da $5,6\Omega$ andranno messe in parallelo ad un trimmer da 100Ω e, il tutto, collegato ai terminali del modulo.

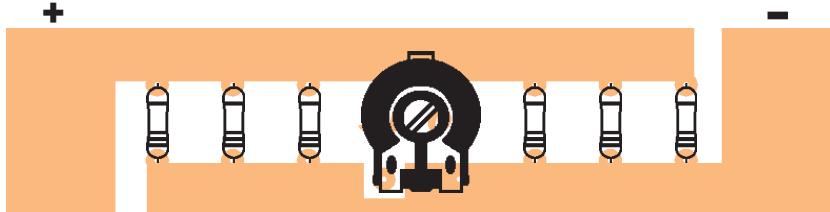
Le sei resistenze ed il trimmer possono essere sistamate su di un circuito stampato.

A questo punto basterà collegare il millivoltmetro in parallelo al tutto escludendo, come già accennato, i punti decimali.

SCHEMA ELETTRICO DEL SOLARIMETRO

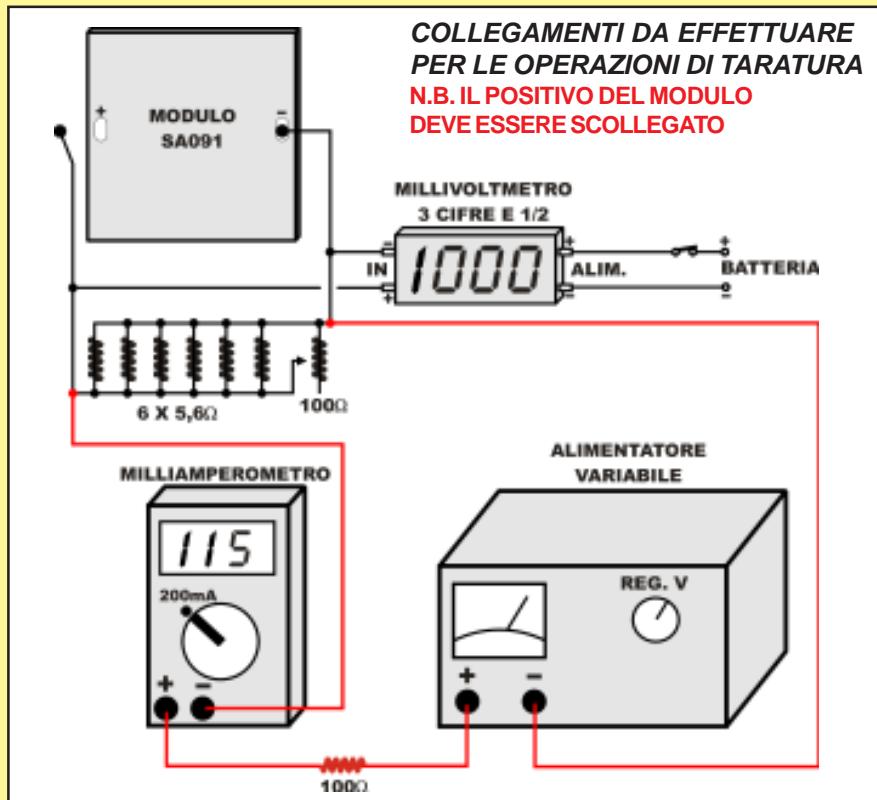


TUTTI I COMPONENTI VANNO POSIZIONATI DAL LATO RAME



CIRCUITO STAMPATO A GRANDEZZA NATURALE
CON COMPONENTI

Per la taratura occorre scollegare il modulo dal lato positivo ed inserire nel circuito un milliamperometro, una resistenza da 100Ω e un alimentatore variabile tra 0 e 15Vcc.



1. Posizionare il trimmer a metà corsa.
2. Regolare l'alimentatore fino a che il milliamperometro segni 115mA.
3. Agire sul trimmer fino a che il millivoltmetro del solarimetro indica 1000.
4. Ripetere le operazioni 2. e 3. per almeno 3 o 4 volte. (Questa operazione è necessaria poichè, regolando il trimmer, la corrente immessa nel gruppo resistivo varia).

A questo punto il dispositivo è tarato e basterà scollegare gli strumenti usati e la resistenza aggiunta e ripristinare il collegamento al positivo del modulo.

L'indicazione letta sullo strumento è direttamente in W/m^2 .

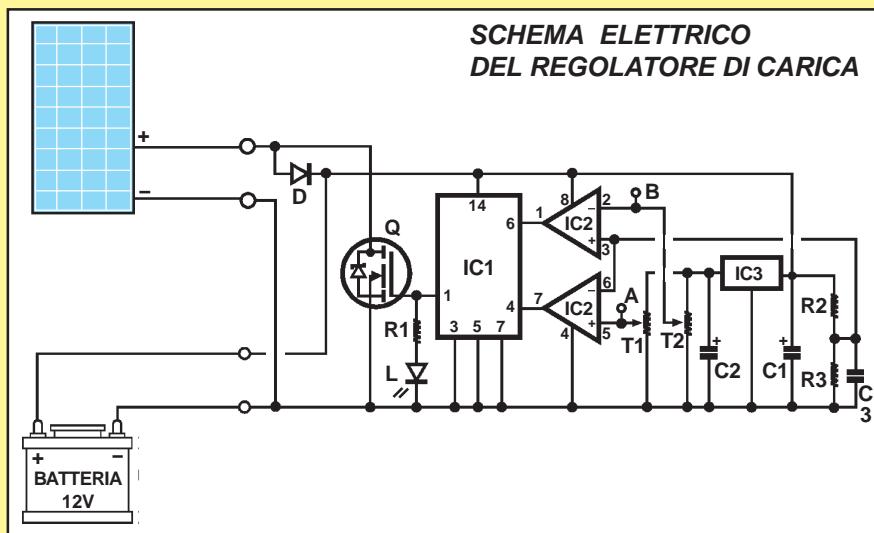
Lo strumento acquisisce la massima precisione dopo essere stato esposto alla luce per almeno 100 ore.

Costruzione di un regolatore di carica

Il regolatore di carica che presentiamo è del tipo parallelo adatto ad essere impiegato con moduli o pannelli fotovoltaici con tensione nominale di 12V e corrente non superiore a 5A.

Le soglie di intervento previste sono di 12,6V per inizio carica e 14,1V di fine carica.

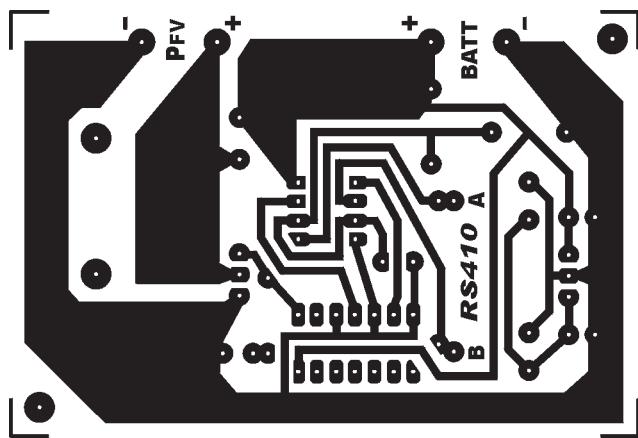
Appena la batteria ha raggiunto la tensione di 14,1V il dispositivo entra in funzione cortocircuitando il pannello fotovoltaico. L'evento viene segnalato dall'accensione del LED verde (batteria completamente carica).



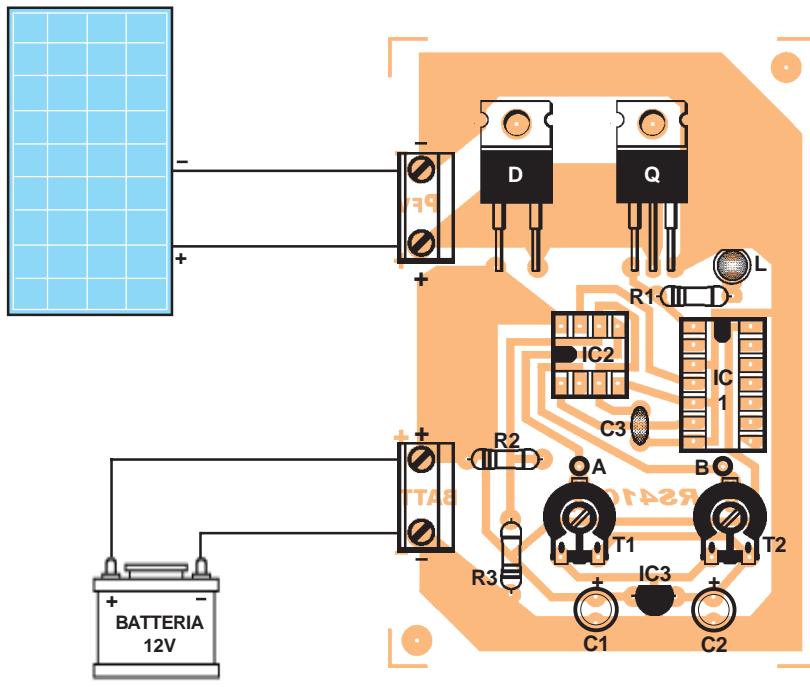
Elenco Componenti

IC1 = 4013 IC2 = MC1458 IC3 = 78L05
Q = IRF540 D = MBR1045 (diodo schottky 45V 10A)
T1-T2 = N.2 x trimmer 47KΩ L = LED VERDE
R1 = 1KΩ R2 = 100KΩ R3 = 33KΩ
C1-C2 = N.2 x 22µF 25V elettrol. C3 = 0,1µF ceram.
N.2 MORSETTIERE 2 POSTI P.10
N.1 ZOCCHILO 8 pin N.1 ZOCCHILO 14 pin

CIRCUITO STAMPATO A GRANDEZZA NATURALE LATO RAME



SCHEMA DI MONTAGGIO E COLLEGAMENTI

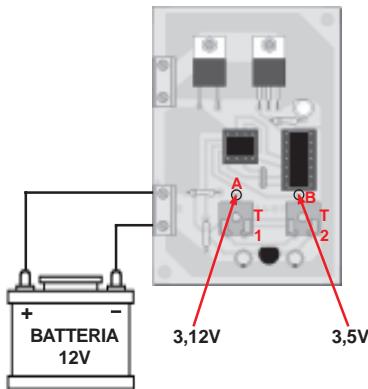


Le operazioni di taratura vanno effettuate nel seguente modo:

1. Collegare al dispositivo (vedi disegno) una batteria 12V o un alimentatore, rispettando naturalmente le polarità.
2. Regolare il trimmer T1 in modo che tra il punto A e il negativo vi sia una tensione di 3,12V.
3. Regolare il trimmer T2 in modo che tra il punto B e il negativo vi sia una tensione di 3,5V.

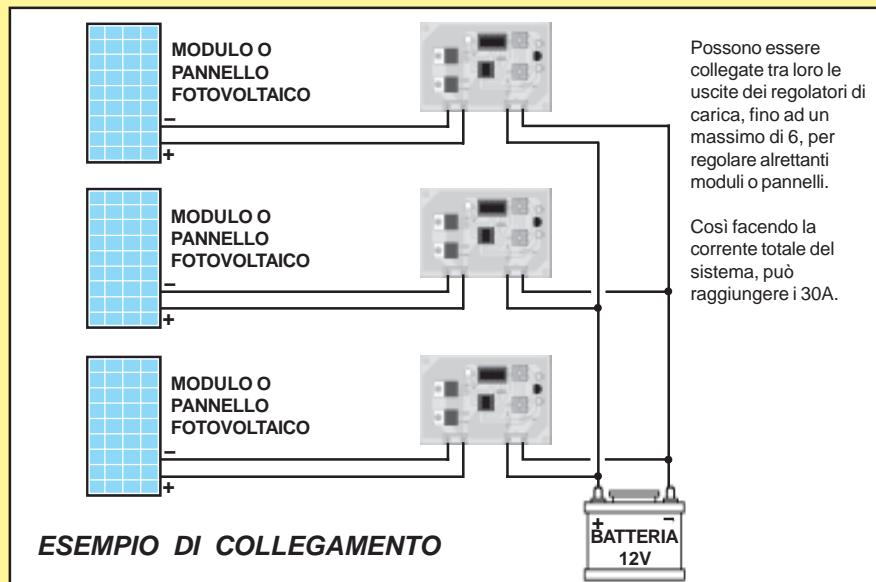
È bene che queste tensioni vengano rilevate con un voltmetro digitale.

Così facendo viene stabilita una soglia di 12,6V per l'inizio carica, e di 14,1V per fine carica.



A questo punto il dispositivo è perfettamente tarato e pronto per essere impiegato.

A questo proposito raccomandiamo di collegarlo **PRIMA** alla batteria e **POI** al pannello fotovoltaico.



La scatola di montaggio è distribuita dalla **ELSEKit** con codice **RS410**.

Costruzione di un accoppiatore di moduli fotovoltaici (scatola di giunzione)

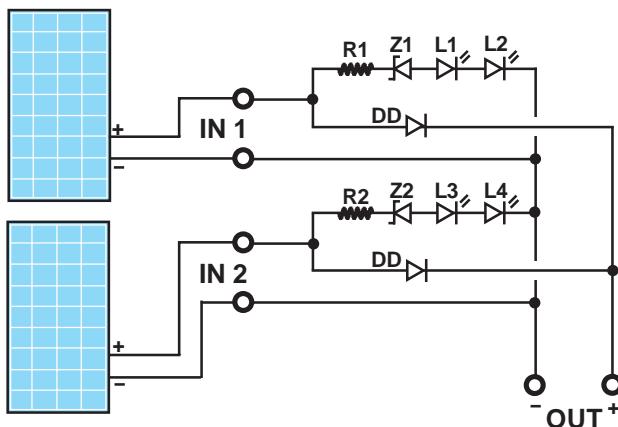
Questa scatola di giunzione può accoppiare due moduli fotovoltaici con tensione nominale di 12V e corrente massima di 8A cadauno.

Collegando insieme più dispositivi si possono accoppiare più moduli. Ogni ingresso è monitorato da due particolari LED che iniziano ad illuminarsi soltanto quando la tensione prodotta dai relativi moduli ha raggiunto un valore utile per la ricarica della batteria (12,6V).

L'assorbimento di questo circuito di segnalazione è di soli 0,5mA !!!

Inoltre, il dispositivo, può essere vantaggiosamente usato per accoppiare il modulo fotovoltaico alla batteria senza il regolatore di carica (solo con moduli con potenza inferiore a 10W).

SCHEMA ELETTRICO DELLA SCATOLA DI GIUNZIONE



Elenco Componenti

DD = DOPPIO DIODO SCHOTTKY MBR1545 45V 15A

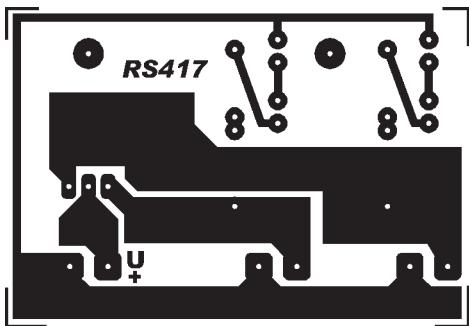
Z1-Z2 = N.2 x ZENER 10V 1W L1..4 = N.4 LED ALTA LUM.

R1-R2 = N.2 x 2,2KΩ DISSIPATORE 20 x 20

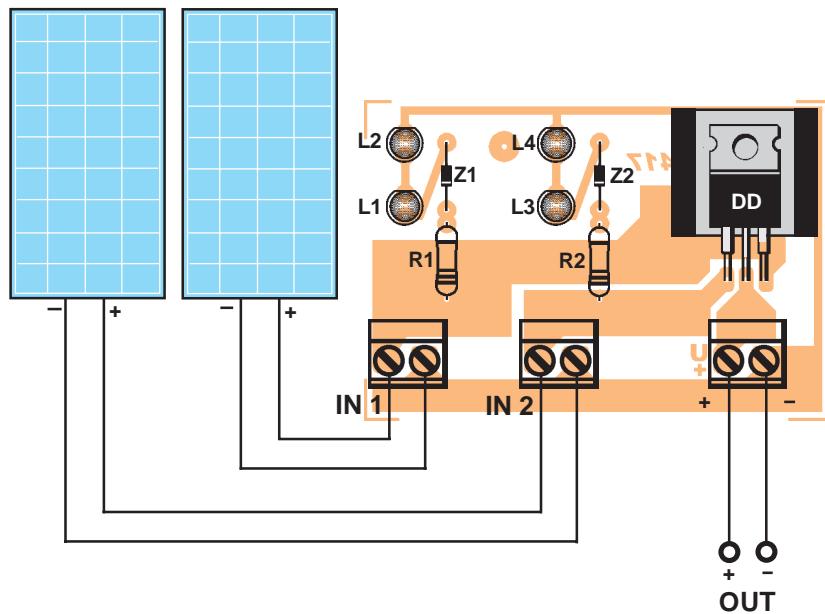
N.3 MORSETTIERE 2 POSTI P.5

VITE E DADO PER DISSIPATORE

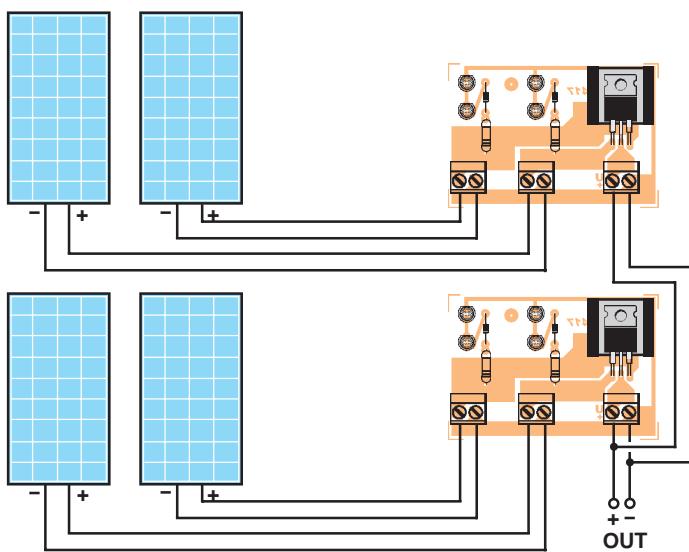
CIRCUITO STAMPATO A GRANDEZZA NATURALE LATO RAME



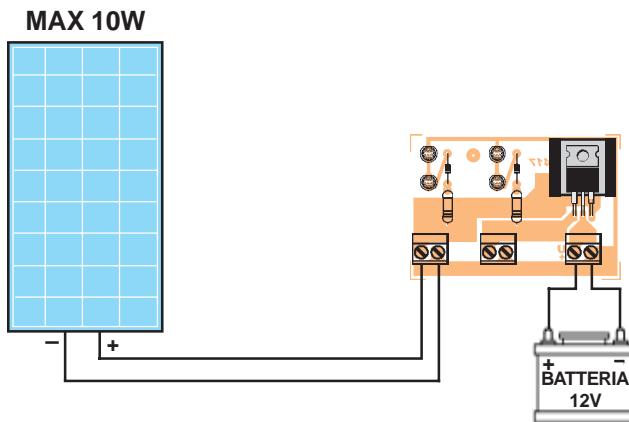
SCHEMA DI MONTAGGIO E COLLEGAMENTI



ESEMPIO DI COLLEGAMENTO PER ACCOPPIARE 4 MODULI



ESEMPIO DI COLLEGAMENTO DIRETTO ALLA BATTERIA



Per moduli con potenza superiore a 10W è necessario interporre tra l'uscita dell'accoppiatore e la batteria un regolatore di carica.

La scatola di montaggio è distribuita dalla **ELSEKit** con codice **RS417**.



**Regolatore di carica
ELSEKit mod. RS410**



**Accoppiatore di moduli
fotovoltaici ELSEKit
mod. RS417**

In questo manuale, determinante per un corretto dimensionamento degli impianti fotovoltaici, vengono esaminati e risolti tutti i problemi relativi al calcolo e scelta dei moduli, dei regolatori di carica, della capacità della batteria per i sistemi ad accumulo e dell'inverter necessario per i carichi funzionanti a 220Vca tenendo conto dei vari parametri: dall'ubicazione del sito al periodo stagionale al consumo giornaliero previsto. Apposite tabelle e formule semplificano i calcoli, ed i numerosi esempi applicativi facilitano l'operatore ad agire con sicurezza.

In appendice viene ampiamente descritta la costruzione di un solarimetro, di un regolatore di carica e di un accoppiatore di moduli fotovoltaici.

Cod. QD200

CD-Impianti Fotovoltaici **€ 13,00**