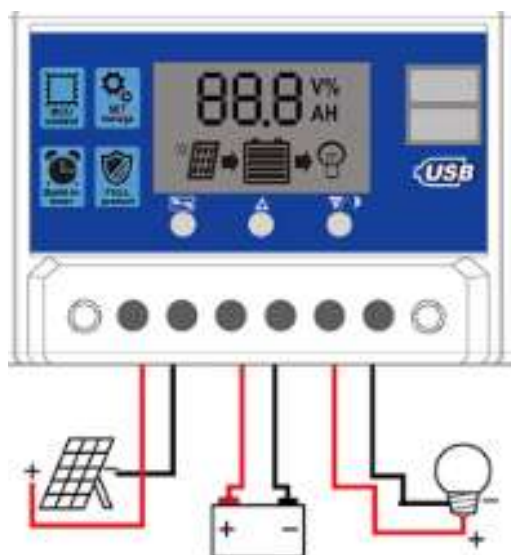


GUIDA COMPLETA AI REGOLATORI DI CARICA: PWM & MPPT

Analisi tecnica revisionata, regole di dimensionamento e criteri di installazione fotovoltaica

Achille Sacchi, 23 giugno 2026

Molte più informazioni su:
Canale Telegram: <https://t.me/KitAntiBlackout>



I [Supercondensatori Artigianali SC](#) possono essere collegati direttamente ai pannelli fotovoltaici, rispettando unicamente il limite di tensione massima. Tuttavia, se si intende realizzare impianti che integrino anche accumulatori commerciali, allora tra i pannelli e le batterie deve essere interposto un regolatore di carica, che provveda a regolare sia la tensione sia la corrente.

GUIDA COMPLETA AI REGOLATORI DI CARICA: PWM & MPPT

Analisi tecnica revisionata, regole di dimensionamento e criteri di installazione fotovoltaica

Nota importante:

Questa guida ha scopo esclusivamente informativo e didattico. L'autore non si assume alcuna responsabilità per danni a persone, animali o cose derivanti dall'uso, da errori di interpretazione o da applicazioni errate delle informazioni qui contenute. La realizzazione pratica di un impianto fotovoltaico richiede competenze tecniche specifiche; chiunque operi seguendo le indicazioni fornite lo fa sotto la propria esclusiva responsabilità, attenendosi scrupolosamente alle norme di sicurezza elettrica e, in caso di dubbi, rivolgendosi a personale qualificato del settore.

GUIDA COMPLETA AI REGOLATORI DI CARICA: PWM & MPPT

Analisi tecnica revisionata, regole di dimensionamento e criteri di installazione fotovoltaica

PARTE 1: IL REGOLATORE DI CARICA PWM

Introduzione

Se stai pensando di realizzare un impianto fotovoltaico fai-da-te per alimentare una baita, un camper, una barca o semplicemente per avere una fonte di energia di riserva, il primo ostacolo è capire come collegare i pannelli alle batterie senza bruciare tutto.

Il cuore di questo collegamento è il regolatore di carica. Tra i vari tipi esistenti, il PWM è il più diffuso per gli impianti economici. Il suo nome è l'acronimo di Pulse Width Modulation. In pratica funziona come un interruttore molto veloce che si apre e si chiude per regolare il flusso di energia dai pannelli verso le batterie.

Questa guida è pensata per chi parte da zero e vuole capire le proporzioni numeriche fondamentali per non sbagliare.

La prima regola: tensione

Il regolatore PWM non trasforma la tensione. Questo è il punto più importante e spesso frainteso.

Il PWM prende la tensione che arriva dai pannelli e la "taglia" per adattarla a quella delle batterie. L'eccesso di tensione viene sprecato sotto forma di calore.

Per questo motivo, con un regolatore PWM, la tensione del pannello deve essere compatibile con quella della batteria. In pratica, un pannello progettato per un sistema da 12V deve caricare una batteria da 12V. Un pannello da 24V deve caricare una batteria da 24V.

Attenzione alla compatibilità e ai limiti hardware: Quando si parla di "pannello da 12V" non ci si riferisce alla sua tensione reale. Un pannello da 12V ha in realtà una tensione a vuoto (V_{oc}) di circa 22 Volt e una tensione al punto di massima potenza (V_{mp}) di circa 17-18 Volt. Questi valori sono più alti della batteria perché il pannello deve poter spingere la corrente nella batteria per caricarla.

Usa un pannello che ha una tensione di circa 17-18 Volt per caricare una batteria da 12 Volt. Usa un pannello che ha una tensione di circa 34-36 Volt per caricare una batteria da 24 Volt.

Rischio di danneggiamento e inefficienza: Se colleghi un pannello con una tensione molto più alta (es. un pannello da 24V con V_{mp} di 36V) a una batteria da 12V utilizzando un regolatore PWM, oltre a subire un pesante spreco energetico poiché la tensione viene tagliata a circa 14V mantenendo la sola corrente nativa del pannello, **rischi di bruciare il regolatore**. La maggior parte dei PWM economici non accetta infatti tensioni a vuoto (V_{oc}) così elevate in ingresso.

La seconda regola: la corrente

Il regolatore PWM deve avere una portata in Ampere sufficiente per gestire la corrente prodotta dai pannelli.

Per calcolare la portata necessaria, prendi la corrente di corto circuito del pannello, indicata sul retro come I_{sc} , e moltiplicala per 1,25.

Pratica ingegneristica consigliata:

$$\text{Portata minima del regolatore} = I_{sc} \times 1,25$$

Questo margine prudenziale del 25% non è un vincolo fisico assoluto, ma è una saggia e raccomandata pratica di progettazione per evitare sovraccarichi termici nelle giornate di massima irradianza, facendo lavorare i componenti elettronici a temperature più basse e prolungandone la vita utile.

Esempio: Un pannello da 250W ha una I_{sc} di circa 14 Ampere. Moltiplica 14 per 1,25 e ottieni 17,5 Ampere. Scegli quindi un regolatore da 20 Ampere.

Se hai più pannelli in parallelo, la corrente si somma. Due pannelli da 14 Ampere ciascuno danno una corrente totale di 28 Ampere. Moltiplica 28 per 1,25 e ottieni 35 Ampere. Scegli un regolatore da 35 o 40 Ampere.

Se hai più pannelli in serie, la tensione si somma ma la corrente rimane uguale a quella di un singolo pannello. Questo è un vantaggio perché puoi usare un regolatore più piccolo.

La terza regola: il rapporto di carica

Questa è la regola più importante per la durata delle batterie. Il rapporto di carica è il rapporto tra la corrente di carica dei pannelli e la capacità della batteria.

Per le batterie al piombo, che sono le più comuni per i principianti, la regola d'oro è: la corrente di carica deve essere circa un decimo della capacità della batteria. Questo rapporto è spesso indicato come **C/10**, dove C è la capacità in Ampereora.

In parole povere, per ogni 10 Ampereora di capacità della batteria, ti serve 1 Ampere di corrente dai pannelli.

- Una batteria da 100 Ampereora ha quindi bisogno di una corrente di carica di circa 10 Ampere.
- Una batteria da 200 Ampereora ha bisogno di una corrente di carica di circa 20 Ampere.
- Una batteria da 300 Ampereora ha bisogno di una corrente di carica di circa 30 Ampere.

Questo rapporto è il migliore compromesso tra costi e durata. Con C/10 si punta a ottenere una carica completa nelle ore utili di sole garantendo un'ottima gestione della batteria.

Chiarimento sulla corrente lenta e sottocarica:

Se usi un rapporto più basso, ad esempio C/20 (es. 5A di carica su 100Ah), la corrente ridotta non rovina la batteria di per sé; anzi, una carica lenta è strutturalmente molto delicata sulle piastre. Il vero pericolo risiede nel tempo di insolazione giornaliero limitato: se le ore di sole non sono sufficienti a raggiungere la tensione di assorbimento (boost) per completare la carica, l'accumulatore rimarrà in uno stato di **sottocarica cronica**, che causerà una solfatazione precoce e distruttiva nel giro di pochi mesi.

Al contrario, se usi un rapporto troppo alto, ad esempio C/5, la ricarica diventa eccessivamente rapida, la batteria si surriscalda e la sua vita utile si riduce.

Come calcolare la potenza dei pannelli

Una volta che hai capito il rapporto di carica, calcolare la potenza dei pannelli è semplice.

Primo passo: dividi la capacità della batteria in Ampereora per 10. Ottieni la corrente di carica ideale in Ampere.

Secondo passo: moltiplica la corrente di carica per la tensione della batteria. Ottieni la potenza dei pannelli in Watt.

Facciamo un esempio con una batteria da 12V e 200 Ampereora.

Dividi 200 per 10 e ottieni 20 Ampere di corrente di carica.

Moltiplica 20 Ampere per 12 Volt e ottieni 240 Watt di pannelli necessari.

Quindi per una batteria da 12V e 200Ah ti serve un pannello da 240W o due pannelli da 120W in parallelo.

Un altro esempio con una batteria da 24V e 300 Ampereora.

Dividi 300 per 10 e ottieni 30 Ampere di corrente di carica.

Moltiplica 30 Ampere per 24 Volt e ottieni 720 Watt di pannelli necessari.

Le batterie al litio

Le batterie al litio, in particolare quelle al litio ferro fosfato, sono diverse dalle batterie al piombo. Possono accettare correnti di carica molto più elevate.

Per le litio, il rapporto di carica ideale è tra un terzo e la metà della capacità. Questo significa che per una batteria da 100 Ampereora, la corrente di carica ideale è tra 33 e 50 Ampere.

Con le litio puoi quindi installare pannelli più potenti e caricare la batteria molto più velocemente. Ma attenzione: i regolatori PWM standard sono progettati per batterie al piombo. Per usare il litio devi verificare che il regolatore abbia un profilo di carica specifico per litio e che sia programmabile. Alcuni modelli moderni hanno versioni dedicate per litio. Se il tuo regolatore non è compatibile, rischi di danneggiare la batteria.

Le proporzioni numeriche in sintesi

Per una batteria al piombo da 12V, il dimensionamento è il seguente.

Batteria (12V)	Corrente di Carica	Potenza Pannelli
50 Ampereora	5 Ampere	60 Watt
100 Ampereora	10 Ampere	120 Watt
150 Ampereora	15 Ampere	180 Watt
200 Ampereora	20 Ampere	240 Watt
300 Ampereora	30 Ampere	360 Watt

Per una batteria al piombo da 24V, i valori raddoppiano.

Batteria (24V)	Corrente di Carica	Potenza Pannelli
100 Ampereora	10 Ampere	240 Watt
200 Ampereora	20 Ampere	480 Watt
300 Ampereora	30 Ampere	720 Watt

Cosa succede se sbagli

Se i pannelli sono troppo piccoli, l'impianto rischia una sottocarica cronica e la batteria si solfata, accorciando la sua vita da 5 anni a soli 1-2 anni. Se i pannelli sono troppo grandi (rapporti superiori a C/5), la batteria si surriscalda deteriorando le piastre interne.

Se il regolatore è sottodimensionato elettricamente rischia la rottura per surriscaldamento, così come cavi troppo sottili generano pericolose cadute di tensione e rischi di incendio. Infine, tensioni dei moduli non compatibili bloccano o compromettono l'efficienza complessiva.

I collegamenti dei pannelli

I pannelli si possono collegare tra loro in due modi.

In serie, si collega il positivo di un pannello al negativo del successivo. La tensione si somma, mentre la corrente rimane uguale a quella di un singolo pannello. Con il PWM, se colleghi pannelli in serie, la tensione totale non deve superare la tensione massima di ingresso del regolatore, che di solito è intorno ai 50 Volt per i modelli economici.

In parallelo, si collegano tutti i positivi insieme e tutti i negativi insieme. La corrente si somma, mentre la tensione rimane uguale a quella di un singolo pannello. Con il PWM, la corrente totale non deve superare la portata del regolatore.

La scelta del collegamento dipende dal sistema. Se hai una batteria da 12V, puoi collegare in parallelo più pannelli da 12V. Se hai una batteria da 24V, puoi collegare in serie due pannelli da 12V.

Esempio pratico passo passo

Partiamo da zero. Vuoi realizzare un impianto economico per una baita di montagna.

Scegli una batteria al piombo AGM da 12V e 200 Ampereora. Costa meno delle litio ed è adatta al fai-da-te.

Calcola i pannelli necessari. Dividi 200 per 10 e ottieni 20 Ampere di corrente di carica. Moltiplica 20 Ampere per 12 Volt e ottieni 240 Watt di pannelli.

Scegli il pannello. Puoi prendere un pannello da 250W oppure due pannelli da 120W in parallelo. La tensione del pannello deve essere 12V, il che significa che avrà una V_{mp} di circa 17-18 Volt.

Scegli il regolatore. La corrente di corto circuito del pannello da 250W è circa 14 Ampere. Moltiplica 14 per 1,25 e ottieni 17,5 Ampere. Scegli un regolatore da 20 Ampere.

Verifica il rapporto. 20 Ampere di pannelli per 200 Ampereora di batteria. Il rapporto è un decimo perfetto.

I componenti finali sono: batteria 12V 200Ah AGM, pannello 250W 12V, regolatore PWM 20A.

Regole d'oro per i principianti

1. La tensione del pannello deve essere compatibile con la batteria e rientrare rigorosamente nei limiti del regolatore.
2. La corrente di carica deve essere dimensionata correttamente in base alle ore di sole disponibili per evitare la sottocarica.
3. Applica sempre un margine prudenziale del 25% sulla corrente massima del regolatore rispetto alla I_{sc} .

4. I cavi devono essere di sezione adeguata per prevenire surriscaldamenti.
5. Se passi al litio, assicurati che il regolatore sia compatibile.

PARTE 2: IL REGOLATORE DI CARICA MPPT

Introduzione all'MPPT

Se il regolatore PWM rappresenta la soluzione essenziale ed economica, il regolatore **MPPT (Maximum Power Point Tracking)** costituisce l'evoluzione tecnologica avanzata. La traduzione letterale, "Inseguimento del Punto di Massima Potenza", ne descrive il funzionamento: un microprocessore interno gestisce l'accoppiamento elettrico per fare lavorare il pannello sempre nel punto in cui eroga la massima potenza possibile (V_{mp} e I_{mp}).

Il principio di funzionamento elettrico

A differenza dell'MPPT che ottimizza il punto di lavoro del modulo, il regolatore PWM funziona sostanzialmente come un interruttore elettronico rapido. Quando il PWM è chiuso, il pannello fotovoltaico viene forzatamente "trascinato" a lavorare alla stessa tensione della batteria.

La minore efficienza del PWM non deriva dal fatto che distrugga l'energia in ingresso o che agisca come una resistenza passiva; l'inefficienza è causata dal fatto che, costringendo il pannello a scendere alla tensione della batteria (es. da 36V a 14V), il pannello stesso non opera più nel suo punto di massima potenza e produce strutturalmente meno Watt di quelli che potrebbe dare.

Confronto fisico sulla gestione della potenza:

Immaginiamo un pannello da 200W con punto di massima potenza a 36V e 5,5A ($36V \times 5,5A = 200W$), collegato a una batteria a 14V:

- Il regolatore **PWM** connette direttamente il modulo alla batteria, costringendo la tensione di lavoro a stabilizzarsi a 14V. Di conseguenza, la potenza reale generata dal pannello si riduce, ma la corrente viene comunque trasferita ed efficientata dal regolatore verso la batteria in base al punto della curva di carico. La perdita sul campo rispetto all'MPPT si attesta intorno al 20-30% proprio perché il pannello lavora fuori dal suo range ottimale.
- Il regolatore **MPPT**, grazie a un convertitore DC-DC integrato, lascia lavorare il pannello a 36V e 5,5A (estraendo tutti i 200W) e poi trasforma elettronicamente questa potenza abbassando la tensione a 14V e aumentando proporzionalmente la corrente in uscita verso la batteria a circa 14 Ampere ($200W / 14V \approx 14,2A$).

La prima regola MPPT: svincolo delle tensioni

Con un regolatore MPPT, cade l'obbligo di accoppiare un pannello da 12V a una batteria da 12V. Puoi collegare pannelli ad altissima tensione (ad esempio pannelli da casa/rete con tensioni di 40V, 60V o superiori) su un banco batterie da soli 12V o 24V.

L'unico vincolo elettrico tassativo riguarda la **tensione massima a vuoto (V_{oc})** del campo fotovoltaico, che non deve mai, in nessun caso (soprattutto nei mesi invernali dove il freddo fa aumentare la tensione dei moduli), superare la tensione limite indicata sul manuale dell'MPPT (es. 75V, 100V, 150V).

La seconda regola MPPT: il dimensionamento in base alla potenza

Nei regolatori MPPT, la portata in Ampere indicata sul dispositivo (es. MPPT 30A) rappresenta la **massima corrente che il regolatore può erogare in uscita verso le batterie**.

Per calcolare la taglia del regolatore MPPT necessario, si divide la potenza totale dei pannelli per la tensione nominale della batteria:

$$\text{Corrente di uscita MPPT (A)} = \text{Potenza totale dei Pannelli (W)} / \text{Tensione della Batteria (V)}$$

Esempio pratico: Hai un campo fotovoltaico da 400W e una batteria da 12V.

Dividi 400W per 12V = 33,3 Ampere. Sceglierai un regolatore MPPT da **40 Ampere**.

Se lo stesso impianto da 400W fosse configurato con una batteria a 24V:

Dividi 400W per 24V = 16,6 Ampere. In questo caso basterà un regolatore MPPT da **20 Ampere**.

Il vantaggio del collegamento in serie

Poiché l'MPPT gestisce tensioni elevate in ingresso in modo efficiente, la configurazione ottimale prevede quasi sempre il **collegamento dei pannelli in serie**. Questo offre tre enormi vantaggi:

1. **Cavi più sottili:** Aumentando la tensione, la corrente nel tragitto dai pannelli al regolatore rimane bassa, consentendo l'uso di cavi di sezione inferiore senza perdite.
2. **Ricarica mattutina anticipata:** La tensione dei pannelli in serie supera immediatamente la soglia minima della batteria, avviando la ricarica molto prima rispetto a un sistema PWM.
3. **Migliore gestione delle ombre:** Gli MPPT moderni ottimizzano la resa anche in caso di parziale ombreggiamento delle stringhe in serie.

Tabella comparativa: Quando scegliere PWM e quando MPPT

Caratteristica	Regolatore PWM	Regolatore MPPT
Costo	Molto economico e accessibile	Più costoso (investimento tecnologico)
Efficienza energetica	Modesta (il pannello lavora fuori dal punto ideale)	Massima (insegue il punto di massima potenza)
Compatibilità Pannelli	Solo pannelli dedicati con tensione coerente	Qualsiasi tipo di pannello (anche alta tensione)
Configurazione ideale	Pannelli in parallelo	Pannelli in serie (alta tensione)
Clima ideale	Caldo e costante, forte insolazione	Freddo, nuvoloso o instabile
Dimensione Impianto	Piccolissimi impianti (sotto i 150W-200W)	Impianti medi e grandi (sopra i 200W)

Regole d'oro aggiornate per sistemi MPPT

1. **Controlla la V_{oc} massima:** Calcola la tensione a vuoto totale e mantieniti al di sotto del limite d'ingresso dell'MPPT, includendo un margine per le temperature rigide.
2. **Calcola sugli Ampere di uscita:** Scegli il regolatore basandoti sulla corrente massima di carica erogata alla batteria.
3. **Flessibilità con le batterie al Litio:** I regolatori MPPT integrano funzioni avanzate per la totale personalizzazione delle soglie di carica per il Litio (LiFePO4).
4. **Identica sequenza di avvio:** Ricorda l'obbligo assoluto di collegare prima la batteria e solo successivamente i pannelli solari.

Conclusione Generale

Se il tuo budget è ridotto e stai realizzando un impianto minimale per un uso prettamente estivo, il PWM assolve al suo compito con una spesa irrisoria. Se invece intendi sfruttare moduli di grande potenza, abiti in zone con meteo variabile o desideri massimizzare la resa delle tue batterie, il regolatore MPPT rappresenta un investimento consigliato che si ripaga autonomamente grazie all'energia addizionale recuperata quotidianamente.

Nota importante: Questa guida ha scopo puramente informativo e didattico. L'installazione pratica di un impianto fotovoltaico deve essere effettuata da personale tecnico qualificato, nel rispetto delle normative vigenti in materia di sicurezza elettrica.

Fine della guida completa revisionata