

IMPIANTI FOTOVOLTAICI A ISOLA: MANUALE COMPLETO

Dalla Teoria alla Pratica: Tutto ciò che serve per progettare, installare e gestire il proprio impianto off-grid

Per principianti esperti: chi conosce l'elettricità di base e ha buona manualità, ma non ha mai realizzato un impianto fotovoltaico

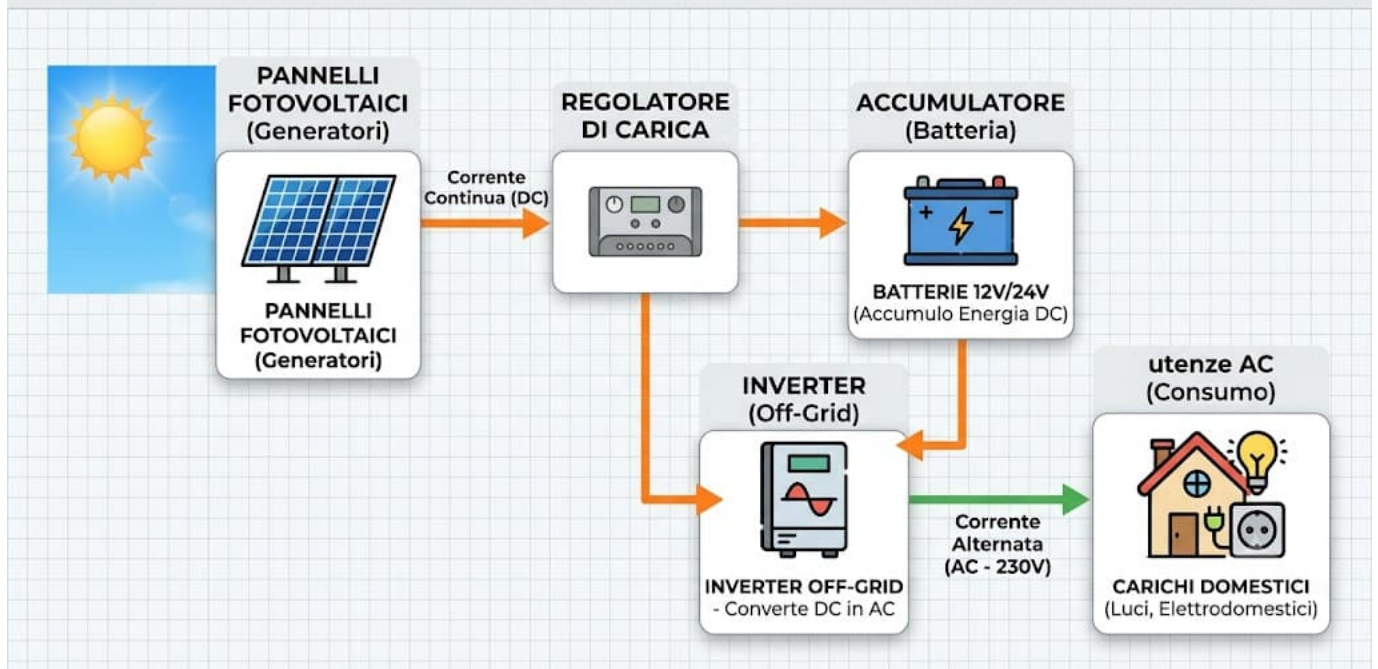
A cura di Achille Sacchi, giugno 2026.

Le informazioni riportate in questo manuale sono aggiornate a quanto disponibile in rete alla data di stesura. La scelta di includere numerose informazioni è stata dettata dalle diverse sperimentazioni effettuate dall'autore.

INDICE

1. Introduzione: Perché questo manuale
2. I Fondamenti che Devi Sapere Prima di Iniziare
3. Fase 1: Calcolare i Consumi (Il Punto di Partenza)
4. Fase 2: Dimensionare i Pannelli
5. Fase 3: Scegliere la Tensione di Sistema
6. Fase 4: Dimensionare le Batterie
7. Fase 5: Scegliere il Regolatore di Carica
8. Fase 6: Scegliere l'Inverter
9. Fase 7: Scegliere i Cavi e le Protezioni
10. Fase 8: Il Quadro Elettrico e la Messa a Terra
11. Fase 9: L'Installazione Meccanica dei Pannelli
12. Fase 10: Il Cablaggio (L'Ordine Giusto)
13. Fase 11: La Messa in Servizio (Il Collaudo)
14. Fase 12: La Manutenzione e il Troubleshooting
15. Il Backup: Il Generatore di Riserva
16. I 20 Errori Fatali (E Come Evitarli)
17. Checklist Finale: Prima di Accendere
18. Glossario dei Termini Tecnici

SCHEMA IMPIANTO FOTOVOLTAICO A ISOLA (Stand-Alone)



INTEGRAZIONI, oltre pag. 38

- I Diodi nel Fotovoltaico: Bypass e Blocco

IMPIANTI FOTOVOLTAICI A ISOLA: MANUALE COMPLETO

Dalla Teoria alla Pratica: Tutto ciò che serve per progettare, installare e gestire il proprio impianto off-grid

Per principianti esperti: chi conosce l'elettricità di base e ha buona manualità, ma non ha mai realizzato un impianto fotovoltaico

1. INTRODUZIONE: PERCHÉ QUESTO MANUALE

Hai deciso di renderti indipendente dalla rete elettrica. Ottima scelta. Ma il percorso è pieno di insidie.

Questo manuale nasce dall'esperienza diretta e da anni di errori (anche costosi) fatti da chi ha imparato sul campo. È pensato per chi:

- Conosce le basi dell'elettricità (legge di Ohm, differenza tra AC e DC, cosa sono volt, ampere, watt)
- Ha una buona manualità e sa usare gli attrezzi
- Non ha mai progettato un impianto fotovoltaico
- Vuole evitare gli errori più comuni che costano tempo e denaro

Cosa non troverai in questo manuale:

- Teoria astrusa e formule inutilmente complicate
- Marketing di marche o prodotti specifici
- Consigli approssimativi ("metti un po' più di pannelli e stai a posto")

Cosa troverai:

- Procedure passo-passo con esempi reali
- Numeri, calcoli e tabelle pronte all'uso
- I dettagli che fanno la differenza
- I pericoli nascosti e come evitarli

⚠ NOTA DI ATTENZIONE: Questo manuale ha scopo didattico e divulgativo. L'autore non si assume responsabilità per danni derivanti dall'uso delle informazioni contenute. L'installazione di un impianto elettrico è soggetta alle norme CEI e al T.U. Sicurezza. In caso di dubbi, consulta un tecnico abilitato. Verifica sempre i permessi edilizi presso il tuo comune prima di iniziare i lavori.

2. I FONDAMENTI CHE DEVI SAPERE PRIMA DI INIZIARE

2.1 Le Grandezze Elettriche (Il Ripasso Veloce)

Grandezza	Simbolo	Unità di misura	Cosa indica
Tensione	V	Volt	La "pressione" dell'elettricità
Corrente	I	Ampere	La quantità di elettroni che fluisce
Potenza	P	Watt	Il lavoro che può fare: $P = V \times I$
Energia	E	Wattora (Wh)	La potenza moltiplicata per il tempo
Resistenza	R	Ohm	L'opposizione al passaggio di corrente
Capacità	C	Ampereora (Ah)	Quanta carica può immagazzinare una batteria

Le due formule che userai sempre:

1. $Potenza (W) = Tensione (V) \times Corrente (A)$

2. $Energia (Wh) = Potenza (W) \times Tempo (h)$

2.2 Corrente Continua (DC) vs Corrente Alternata (AC)

Caratteristica	DC (Corrente Continua)	AC (Corrente Alternata)
Flusso	Va sempre in una direzione (dal + al -)	Cambia direzione 50 volte al secondo (50Hz)
Dove la trovi	Pannelli solari, batterie	Rete elettrica di casa, inverter
Pericolo	L'arco elettrico non si spegne da solo	L'arco si spegne allo zero della sinusoide
Protezioni	Sezionatori DC specifici	Interruttori AC normali

ATTENZIONE: La corrente DC è più pericolosa della AC a parità di tensione perché l'arco elettrico non si estingue naturalmente. Per questo servono protezioni specifiche.

2.3 I 5 Pericoli di un Impianto a Isola

Pericolo	Da cosa deriva	Conseguenza
Scossa DC	Pannelli (fino a 150V) e batterie (fino a 48V)	Folgorazione, ustioni, arresto cardiaco

Pericolo	Da cosa deriva	Conseguenza
Scossa AC	Inverter (230V)	Folgorazione mortale
Incendio	Cavi sottili, morsetti allentati, connettori falsi	L'impianto prende fuoco
Esplosione	Idrogeno (AGM) o fuga termica (Litio)	Danni strutturali, ustioni, avvelenamento
Caduta	Lavoro in quota per i pannelli	Fratture, paraplegia, morte

Il principio di base: Se non ti senti sicuro in uno qualsiasi di questi ambiti, fermati e chiedi aiuto.

2.4 La Cassetta degli Attrezzi Indispensabile

Prima di acquistare qualsiasi componente, procurati questi strumenti:

Strumento	A cosa serve	Perché è fondamentale
Multimetro True RMS	Misura tensione, corrente, resistenza	Deve essere CAT III 600V minimo
Pinza amperometrica DC	Misura corrente senza interrompere il circuito	Indispensabile per testare i pannelli
Crimpatrice per MC4	Crimpare i connettori solari	Mai usare pinze universali
Spellacavi di precisione	Spellare i cavi senza danneggiare il rame	Per cavi da 2,5 a 16 mm ²
Chiave dinamometrica	Serraggio morsetti batterie alla coppia esatta	Evita punti caldi e rotture
Cacciaviti isolati 1000V	Lavorare in sicurezza su impianti in tensione	Set a taglio e croce
Termometro a infrarossi	Rileva punti caldi su morsetti e cavi	Controllo rapido in manutenzione
Livella e metro	Installazione meccanica	Per un montaggio corretto

2.5 I DPI (Dispositivi di Protezione Individuale)

- **Occhiali a visiera chiusa** (rischio acido e proiezioni)
- **Guanti isolanti Classe 0** (fino a 1000V) + sovraguanti in nitrile per protezione da acidi
- **Scarpe antinfortunistiche** con suola isolante
- **Abbigliamento in cotone** (mai sintetico: fonde sulla pelle in caso di arco elettrico)
- **Rimozione totale di gioielli metallici** (orologi, anelli, catenine, collane)
- **Per lavoro in quota:** imbracatura certificata, cordino con assorbitore di energia, linea vita ancorata a punto fisso

2.6 Le Norme da Rispettare (Anche per un Impianto a Isola)

Anche se non sei collegato alla rete, l'impianto deve rispettare:

Norma	Cosa regola
CEI 64-8	Sicurezza degli impianti elettrici utilizzatori
CEI EN 50272-2	Sicurezza delle batterie stazionarie
CEI 82-25	Connessione di generatori fotovoltaici
T.U. Sicurezza 81/08	Lavoro in quota e DPI

Permessi edilizi: In quasi tutti i comuni italiani, l'installazione di pannelli su tetto richiede una **CILA** (Comunicazione Inizio Lavori Asseverata). In zone vincolate (paesaggistiche, storiche) serve l'autorizzazione della Soprintendenza. Verifica sempre in municipio prima di forare il tetto.

Assicurazione: In caso di incendio, la compagnia assicurativa chiederà la **Dichiarazione di Conformità** dell'impianto. Un impianto realizzato senza documentazione può comportare la decadenza della copertura assicurativa.

3. FASE 1: CALCOLARE I CONSUMI (IL PUNTO DI PARTENZA)

Il dimensionamento parte sempre dal carico, mai dai pannelli.

3.1 Come Calcolare il Consumo Giornaliero

Procedure passo-passo:

1. Elenca ogni apparecchio che vuoi alimentare
2. Per ciascuno, rileva la potenza in Watt (W) dall'etichetta o usando un wattmetro
3. Stima le ore di utilizzo giornaliere
4. Calcola: **Consumo (Wh) = Potenza (W) × Ore (h)**
5. Somma tutti i valori → **consumo giornaliero totale (Wh/giorno)**

3.2 Esempio Pratico: Seconda Casa

Apparecchio	Potenza (W)	Ore/giorno	Wh/giorno
LED cucina	10	4	40
LED camera	8	3	24
LED esterno	15	2	30

Apparecchio	Potenza (W)	Ore/giorno	Wh/giorno
Frigorifero DC 12V	80 (nominale) / 10 (medio)	24	240
TV LED 32"	35	3	105
PC portatile	40	4	160
Router WiFi	10	24	240
Inverter (standby)	10	10	100
TOTALE			~940 Wh

3.3 Le Insidie sui Consumi (Dove si Sbaglia Più Spesso)

Inganno	Realità	Soluzione
Frigoriferi: i dati di targa sono ottimistici	Un frigo a compressore DC da 100L consuma in media 10W/h (240 Wh/giorno), non i 80W di targa che usa solo quando il compressore è in funzione	Usa 10W medi × 24h come valore prudenziale per frigoriferi DC di piccola capacità
Consumo parassita dell'inverter	In standby consuma 1-3W (24-72 Wh/giorno), a vuoto 5-15W (120-360 Wh/giorno)	Spegnilo quando non serve o usa la modalità "Eco" se disponibile
Picchi di avviamento	Motori e compressori (frigo, pompe) assorbono 3-7 volte la potenza nominale per 1-3 secondi	L'inverter deve reggere i picchi, non solo la potenza media
Misura reale	Le etichette sono spesso ottimistiche	Usa un wattmetro da presa per almeno una settimana prima di dimensionare

3.4 La Regola d'Oro dei Consumi

La Regola d'Oro dei Consumi: Misura, non stimare. Utilizza un wattmetro da presa per almeno una settimana. I dati reali valgono più di mille calcoli teorici.

4. FASE 2: DIMENSIONARE I PANNELLI

4.1 Le Ore di Sole Equivalente (ESH)

La produzione di un pannello dipende dall'irraggiamento locale, espresso in Ore di Sole Equivalente (ESH). Un ESH di 3 significa che in quel luogo, in un giorno, il sole ha prodotto l'energia equivalente a 3 ore di irradiazione massima (1000 W/m²).

Zona	Inverno (ESH)	Estate (ESH)	Media annuale
Nord Italia	1,5 – 2,5	4,0 – 5,0	3,0 – 3,5
Centro Italia	2,0 – 3,0	4,5 – 5,5	3,5 – 4,0
Sud Italia e Isole	2,5 – 3,5	5,0 – 6,5	4,0 – 4,5

4.2 La Formula per Dimensionare i Pannelli

$$\text{Potenza pannelli (Wp)} = (\text{Consumo giornaliero} \times 1,3) / \text{ESH}$$

Il fattore 1,3 (margine di sicurezza) copre:

- Perdite per sporco sui pannelli (5-10%)
- Perdite per aumento di temperatura (0,45% per ogni °C sopra i 25°C)
- Perdite nei cavi (1-3%)
- Perdite nel regolatore (MPPT: 2-5%)
- Giornate nuvolose e condizioni di luce non ottimali

4.3 Esempio Pratico

Consumo: 940 Wh/giorno, Centro Italia (ESH medio 3,5)

$$\text{Potenza pannelli} = (940 \times 1,3) / 3,5 = 1222 / 3,5 = 349 \text{ W}$$

Dimensionamento invernale (per uso tutto l'anno): ricalcola con ESH invernale (2,5)

$$(940 \times 1,3) / 2,5 = 1222 / 2,5 = 489 \text{ W}$$

4.4 La Regola d'Oro dei Pannelli

SOVRADIMENSIONA I PANNELLI! Il costo dei pannelli è basso rispetto al costo di batterie, regolatore e inverter. Mettine una quantità superiore a quanto calcolato.

Perché?

- Con cielo coperto produci il 10-20% della potenza nominale: se hai una maggiore potenza installata, hai comunque energia sufficiente per i carichi di base
- Ricarichi le batterie più velocemente dopo i giorni di brutto tempo
- Le batterie durano di più se vengono caricate completamente con regolarità
- Il costo aggiuntivo dei pannelli è irrisorio rispetto al costo del resto dell'impianto

Esempio: Se i calcoli dicono 350W, considera l'installazione di 600-700W (2 pannelli da 300-350W). Questo ti garantisce energia anche in inverno e con cielo coperto.

4.5 Orientamento e Inclinazione

Parametro	Consiglio	Perché
Orientamento	SUD (emisfero nord)	Massima esposizione al sole
Deviazioni	Max 20° Est/Ovest	Oltre si perde 10-20% di produzione
Inclinazione annuale	30°-35°	Ottimale per tutto l'anno
Inclinazione invernale	60°	Migliore resa in inverno
Inclinazione estiva	20°	Migliore resa in estate

Sistema regolabile due volte l'anno: aumenta la resa del 10-15%.

Ombre: Anche una piccola ombra su una cella abbatte la produzione dell'intera stringa. Verifica con attenzione la presenza di alberi, camini, antenne o altre strutture che possono proiettare ombre.

Temperatura: Le celle perdono lo 0,45% di efficienza per ogni °C sopra i 25°C. Lascia un'intercapedine di **almeno 10 cm** sotto i pannelli per garantire la circolazione dell'aria e il raffreddamento.

4.6 Scelta dei Pannelli

Tipo	Efficienza	Durata	Caratteristiche
Monocristallino PERC	20-23%	25-30 anni	Massima resa per superficie, ottimo con luce diffusa
Policristallino	15-18%	20-25 anni	Buon rapporto qualità/prezzo, minore resa con luce scarsa
Film sottile (CIGS)	10-13%	15-20 anni	Flessibili, adatti a superfici curve, ingombro maggiore

Consiglio: Per impianti domestici, i pannelli **monocristallini PERC** offrono il miglior rapporto tra efficienza e durata.

4.7 Il Connettore MC4: Il Pericolo Nascosto

I connettori MC4 sono lo standard per i pannelli fotovoltaici, ma **non sono tutti intercambiabili**. Maschi e femmine di marche diverse possono avere diametri del pin differenti di frazioni di millimetro. L'accoppiamento imperfetto crea una resistenza di contatto che, sotto corrente, genera calore e può innescare un **arco elettrico** sul tetto.

 **REGOLA:** Usa sempre connettori **dello stesso produttore** dei pannelli, oppure utilizza connettori MC4 compatibili certificati da produttori specializzati. In caso di dubbio, sostituisci tutti i connettori con componenti della stessa marca.

5. FASE 3: SCEGLIERE LA TENSIONE DI SISTEMA

5.1 La Regola d'Oro: Più Alta è la Tensione, Minore è la Corrente

Aumentare la tensione riduce la corrente a parità di potenza, permettendo l'utilizzo di cavi di sezione minore, minori perdite per effetto Joule e maggiore sicurezza.

Tensione	Potenza inverter max	Consumo giornaliero	Applicazioni tipiche
12V	Fino a 600-800W	< 1 kWh	Camper, barche, piccoli capanni
24V	Fino a 2000-3000W	1 – 3 kWh	Seconde case, piccole abitazioni
48V	Oltre 3000W	> 3 kWh	Abitazioni complete, sistemi professionali

5.2 Esempio Pratico (Perché 24V è Preferibile a 12V)

Inverter da 1000W:

- **A 12V:** corrente di 83A → cavo di sezione 35 mm², fusibile da 100A
- **A 24V:** corrente di 42A → cavo di sezione 16 mm², fusibile da 50A

La differenza in termini di costo dei cavi, facilità di installazione e sicurezza è notevole.

👍 **Consiglio per principianti:** Scegli **24V**. È il miglior compromesso tra sicurezza, sezione dei cavi e disponibilità di componenti sul mercato.

6. FASE 4: DIMENSIONARE LE BATTERIE

6.1 La Formula di Base

$$Ah_{giornalieri} = Consumo_{Wh} / Tensione_{sistema}$$

Esempio: 940 Wh/giorno, sistema 24V → 940 / 24 = 39,2 Ah/giorno

6.2 Il Fattore di Scarica (DoD - Depth of Discharge)

Ogni tecnologia di batteria ha una profondità di scarica massima consigliata per non accorciarne eccessivamente la vita utile:

Tipo di batteria	Scarica massima (DoD)	Capacità necessaria
AGM/GEL	50%	$(Ah_{giornalieri} \times \text{giorni}) / 0,5$
LiFePO4	80%	$(Ah_{giornalieri} \times \text{giorni}) / 0,8$

Tipo di batteria	Scarica massima (DoD)	Capacità necessaria
Piombo bagnato (opencell)	50-60%	$(Ah_{\text{giornalieri}} \times \text{giorni}) / 0,55$

6.3 Calcolo della Capacità con Autonomia

Per una seconda casa, **2-3 giorni di autonomia** sono il minimo consigliato per affrontare periodi di maltempo.

Esempio: 39,2 Ah/giorno, 24V, 3 giorni, batterie AGM (DoD 50%)

Capacità = $(39,2 \times 3) / 0,5 = 117,6 / 0,5 = 235,2 \text{ Ah a } 24V$

Soluzione pratica: 2 batterie AGM da 12V 120Ah collegate in serie (12+12=24V) → 240Ah totali.

6.4 Le Batterie Giuste per il Fotovoltaico

Tipo	Vantaggi	Svantaggi	Ideale per
AGM/GEL	Costo contenuto, nessuna manutenzione, tecnologia matura	Peso elevato, DoD 50%, durata 300-600 cicli (3-5 anni)	Budget limitato, seconde case, camper
LiFePO4	Leggere, DoD 80-90%, durata 2000-5000 cicli (10+ anni), alta efficienza	Costo più elevato, BMS obbligatorio, non caricare sotto i 3°C	Prestazioni elevate, lunga durata, spazi ridotti
Piombo bagnato	Costo molto basso, durata 800-1500 cicli se mantenute	Manutenzione frequente (rabbocco acqua), ventilazione obbligatoria, peso elevato	Grandianpianti statici con spazio e accesso per manutenzione

ATTENZIONE: Le batterie per avviamento auto NON sono adatte al fotovoltaico. Sono progettate per erogare elevate correnti per brevi periodi (avviamento del motore) e non sopportano scariche profonde ripetute. In un impianto fotovoltaico si deteriorano in poche settimane.

I Supercondensatori Commerciali per Fotovoltaico

Negli ultimi anni sono comparsi sul mercato moduli di accumulo a supercondensatori specificamente progettati per impianti fotovoltaici. A differenza delle batterie tradizionali, che immagazzinano energia tramite reazioni chimiche, i supercondensatori lo fanno tramite un campo elettrostatico. Questa caratteristica fondamentale li rende insensibili ai danneggiamenti per scariche profonde.

Caratteristiche Tecniche:

Caratteristica	Dettaglio
Tecnologia	Supercondensatori al grafene da 48V DC, disponibili in capacità da 3,6 kWh, 5,5 kWh e 7,6 kWh. Accumulo basato su principio elettrostatico, non chimico.
Cicli di vita	Fino a 20.000 cicli di carica-scarica (oltre 40 anni di vita utile con un ciclo al giorno).
Profondità di scarica (DoD)	80-100%: possono essere scaricati completamente senza subire danni.
Temperatura di carica	0°C / +55°C
Temperatura di scarica	-20°C / +60°C
Efficienza andata-ritorno	97,5-97,8%
Autoscarica	2% al mese
Connessione in parallelo	Fino a 16 moduli collegabili in parallelo

Elettronica di Gestione Richiesta:

I supercondensatori richiedono un'elettronica di gestione specifica che li distingue dalle batterie tradizionali:

- **BMS (Battery Management System) integrato:** monitora tensione, corrente, temperatura, stato di carica (SOC) e stato di salute (SOH) di ogni cella.
- **Protocolli di comunicazione:** richiedono interfacce CAN o RS485 per comunicare con regolatori e inverter. Il produttore dell'inverter deve aver sviluppato driver specifici per configurare la connessione tra i moduli e il convertitore.
- **Range di tensione compatibile:** l'inverter deve gestire un range di tensione da 42V a 62V, compatibile con le caratteristiche del supercondensatore (tensione massima di carica 54V, tensione di cut-off in scarica 44V).

 **Nota:** Non sono compatibili con qualsiasi regolatore o inverter. Verifica sempre che i tuoi componenti supportino la comunicazione CAN/RS485 per la gestione dei supercondensatori e che l'inverter abbia un range di tensione lato batteria compatibile (tipicamente 42-62V).

Certificazioni:

I moduli commerciali possiedono le seguenti certificazioni:

- **Sicurezza:** IEC62619, UL
- **Trasporto:** UN38.3, MSDS

- **CE:** EN 62133:2013, EN 55032:2015+AC:2016, EN 55035:2017, EN 61000-3-2:2014, EN 61000-3-3:2013

Vantaggi e Svantaggi:

Vantaggi	Svantaggi
Tecnologia intrinsecamente sicura (nessuna reazione chimica, nessun rischio di fuga termica o emissione di gas)	Costo iniziale molto elevato
Ciclo di vita estremamente lungo (20.000 cicli)	Densità energetica inferiore rispetto alle batterie chimiche (a parità di peso immagazzinano meno energia)
Elevata efficienza (97,5-97,8%)	Richiedono tensione di sistema 48V (non compatibili con sistemi 12V o 24V)
Bassa manutenzione	Richiedono elettronica di gestione specifica (BMS integrato, protocolli CAN/RS485)
Adatti alla connessione in parallelo	Non compatibili con qualsiasi regolatore o inverter

Applicazioni Ideali:

I supercondensatori al grafene sono particolarmente indicati per:

- **Sistemi ibridi:** in combinazione con batterie tradizionali, per gestire i picchi di potenza e prolungare la vita delle batterie chimiche assorbendo le fluttuazioni rapide della produzione fotovoltaica (es. passaggio di nuvole).
- **Progetti professionali:** dove la durata ultra-decennale e la sicurezza assoluta giustificano il costo elevato.
- **Applicazioni con cicli frequenti:** dove le batterie tradizionali verrebbero stressate da continui cicli di carica/scarica.

Riepilogo in Sintesi:

I supercondensatori al grafene rappresentano una tecnologia rivoluzionaria per l'accumulo energetico. La loro durata eccezionale (20.000 cicli), l'efficienza del 97,5-97,8% e la sicurezza intrinseca li rendono ideali per applicazioni professionali dove l'affidabilità e la lunga durata giustificano il costo elevato. Tuttavia, richiedono un'elettronica di gestione specifica (BMS integrato con bilanciamento attivo) e protocolli di comunicazione CAN/RS485 per interfacciarsi con regolatori e inverter. Sono compatibili esclusivamente con sistemi a 48V e richiedono una verifica accurata della compatibilità dei componenti.

6.5 I Pericoli delle Batterie

Batterie AGM/GEL - Due meccanismi di esplosione:

1. **Accumulo di idrogeno:** Durante la carica, specialmente nelle fasi di assorbimento, le batterie producono idrogeno (H_2). Se questo gas si accumula in un ambiente chiuso raggiungendo una concentrazione

superiore al 4% volume, una minima scintilla (interruttore, telefono, scarica elettrostatica) causa un'esplosione.

Soluzione: Ventilazione naturale obbligatoria con aperture in basso (ingresso aria) e in alto (uscita idrogeno). Divieto assoluto di fumare, usare fiamme libere o apparecchi che producono scintille nel locale batterie.

2. **Sovrapressione da sovratensione:** Se la tensione di carica supera i limiti raccomandati (es. >14,4V per una batteria AGM da 12V), la gassificazione diventa massiccia. La pressione interna aumenta fino a far esplodere meccanicamente l'involucro, proiettando acido solforico e frammenti.

Segnali di allarme: Batterie gonfie o deformate, batterie calde al tatto (>50°C), sibili provenienti dalle valvole di sfiato, odore pungente di acido, tensione misurata superiore a 14,5V in carica.

Azione: Staccare immediatamente i pannelli (sezionatore DC), staccare la batteria dal regolatore, evacuare il locale, ventilare, non avvicinarsi finché le batterie non si sono raffreddate.

Batterie LiFePO4 - I rischi reali:

1. **Lithium plating: Non caricare mai una batteria LiFePO4 a temperature inferiori a 0°C** (meglio +3°C per margine di sicurezza). Il litio metallico si deposita sull'anodo formando dendriti (strutture cristalline a forma di ago). Questi dendriti possono perforare il separatore e causare un cortocircuito interno, innescando una fuga termica (thermal runaway) anche giorni o settimane dopo la carica.

2. **BMS come unico punto di fallimento:** Il BMS è l'unica protezione attiva della batteria. Se si guasta, la batteria è vulnerabile a sovraccarichi, cortocircuiti e squilibri tra le celle.

Requisiti per un BMS affidabile: Certificazione IEC 62619 o UL 9540, protezione da sovracorrente in carica e scarica, protezione da sovratensione e sottotensione per ogni cella, **protezione da bassa temperatura in carica** (soglia a 0°C o superiore), protezione da alta temperatura, bilanciamento attivo (consigliato per banchi di capacità superiore a 200Ah).

7. FASE 5: SCEGLIERE IL REGOLATORE DI CARICA

7.1 PWM vs MPPT (La Scelta che Cambia l'Efficienza)

Caratteristica	PWM	MPPT
Principio di funzionamento	Interruttore che collega il pannello alla batteria a impulsi	Convertitore DC-DC che adatta la tensione del pannello a quella della batteria
Efficienza	70-80%	95-98%
Tensione pannelli	Deve essere prossima a quella della batteria	Può essere superiore a quella della batteria
Utilizzo consigliato	Impianti di potenza inferiore a 150W	Qualsiasi impianto di potenza superiore a 150W

Vantaggio pratico dell'MPPT: Un pannello da 100W con tensione di massima potenza di 18V e corrente di 5,5A, su batteria da 12V:

- **Con regolatore PWM:** la corrente è limitata a 5,5A, quindi la potenza erogata è circa $5,5A \times 12V = 66W$
- **Con regolatore MPPT:** converte la potenza di $18V \times 5,5A = 99W$ in $12V \times 8,25A$, erogando circa 99W

✓ **REGOLA:** Per qualsiasi impianto di potenza superiore a 150W, utilizza un regolatore **MPPT**. La differenza di efficienza giustifica ampiamente il costo aggiuntivo.

7.2 Parametri Critici da Verificare Prima dell'Acquisto

Parametro	Cosa controllare	Perché è critico
Tensione massima di ingresso (Voc max)	Deve essere superiore alla Voc della stringa alla temperatura minima invernale	La Voc aumenta dello 0,3% per ogni °C sotto i 25°C. Esempio: pannello con Voc 37V a 25°C. A -10°C ($\Delta T = 35^\circ C$): Voc reale = $37 \times (1 + 0,003 \times 35) = 39,9V$. Tre pannelli in serie = 119,7V. Un regolatore con limite di 100V si danneggia irreparabilmente al primo inverno.
Corrente massima di carica	Deve essere almeno $1,25 \times$ la corrente di cortocircuito (Isc) della stringa	Per garantire un margine di sicurezza e prevenire sovraccarichi del regolatore
Tensioni di carica configurabili	Per AGM: 14,4V (assorbimento/bulk), 13,8V (mantenimento/float). Per LiFePO4: 14,2-14,6V (assorbimento), 13,5-13,8V (mantenimento)	I regolatori economici spesso hanno tensioni di mantenimento (float) non regolabili. Verifica sempre questa caratteristica.
Protezione da scarica profonda	Deve intervenire a 11,5V (per sistemi 12V AGM) o 12,0V (per LiFePO4)	Protegge le batterie da scariche eccessive che ne ridurrebbero la vita utile
Sensore di temperatura	Deve essere presente e compensare la tensione di carica in base alla temperatura	Senza compensazione termica, le batterie si surriscaldano (se caricate a temperature elevate) o si sottocaricano (se caricate a basse temperature)

7.3 La Regola d'Oro del Regolatore

La Regola d'Oro del Regolatore: Non utilizzare l'uscita LOAD del regolatore per carichi di potenza superiore a 5A o per carichi induttivi (inverter, motori, pompe). I relè interni dei regolatori non sono progettati per queste applicazioni. Collega sempre i carichi di potenza elevata direttamente alla batteria tramite un proprio fusibile e un interruttore sezionatore.

8. FASE 6: SCEGLIERE L'INVERTER

8.1 Onda Sinusoidale Pura vs Modificata

Tipo di onda	Compatibilità con gli apparecchi	Consiglio
Onda modificata	Danneggia i motori (frigoriferi, pompe, ventilatori), gli alimentatori switching (caricabatterie, PC, TV), i forni a microonde e tutti gli apparecchi con componenti elettronici sensibili	SCONSIGLIATO per qualsiasi uso domestico
Onda sinusoidale pura	Compatibile con qualsiasi apparecchio. I motori girano in modo fluido e silenzioso, gli alimentatori funzionano correttamente	OBBLIGATORIO per impianti fissi

● **REGOLA:** La scelta dell'onda sinusoidale pura non è negoziabile. Il risparmio iniziale di un inverter a onda modificata viene ampiamente superato dal costo degli apparecchi che danneggerà.

8.2 Dimensionamento della Potenza

L'inverter deve gestire tre aspetti fondamentali:

1. **Potenza continua (nominale):** è la potenza che l'inverter può erogare in modo stabile per periodi prolungati. Deve essere superiore alla somma di tutti gli apparecchi che potrebbero essere accesi contemporaneamente.
2. **Potenza di picco (surge):** è la potenza massima che l'inverter può erogare per brevi periodi (solitamente 1-5 secondi). Serve per l'avviamento dei motori, che al momento dell'accensione assorbono da **3 a 7 volte** la loro potenza nominale.
3. **Consumo a vuoto (standby):** è l'energia che l'inverter consuma anche quando non sta alimentando alcun carico, semplicemente per rimanere in funzione. Può variare da 5W a 30W a seconda del modello e della qualità costruttiva.

Regola pratica per il dimensionamento:

Potenza inverter consigliata = Potenza continua massima × 1,5 (con un minimo di 1,5-2 volte per gestire i picchi)

Consumo continuo massimo	Inverter consigliato	Motivazione
300W	600-800W	Per gestire i picchi di avviamento del frigorifero, ad esempio
500W	1000-1500W	Margine per futuri ampliamenti
800W	1500-2000W	L'inverter lavora al 50-60% del carico massimo
1200W	2500-3000W	Per alimentare motori ed elettrodomestici
2000W	4000-5000W	Per abitazioni con più elettrodomestici contemporanei

8.3 Il Problema dei Picchi di Avviamento

Sintomo tipico: L'inverter va in protezione (si spegne) quando si accende il frigorifero, la pompa dell'acqua o il condizionatore.

Causa: I motori a compressore e le pompe assorbono una corrente molto elevata (da 3 a 7 volte la corrente nominale) per 1-3 secondi all'avvio.

Soluzioni pratiche:

Soluzione	Principio di funzionamento
Soft-Start (avviatore progressivo) o dispositivi simili.	Dispositivo elettronico da installare in serie al carico. Limita la corrente di avviamento del motore applicando gradualmente la tensione nei primi secondi.
Inverter con elevata capacità di picco	Alcuni inverter di qualità costruttiva elevata hanno una capacità di picco che può raggiungere il doppio o il triplo della potenza nominale per alcuni secondi.
Elettrodomestici con tecnologia Inverter	Frigoriferi, pompe di calore e condizionatori con compressore "Inverter" hanno un avviamento progressivo e dolce, con picchi di corrente molto contenuti (1,5-2 volte la nominale).
Avviamento scaglionato	Evitare che più motori (es. frigorifero e pompa) partano contemporaneamente. Un intervallo di alcuni secondi tra gli avviamenti risolve spesso il problema.



Consiglio pratico: Se l'inverter va in protezione all'accensione del frigorifero, l'installazione di un dispositivo **Soft-Start** è la soluzione più efficace ed economica. Si installa in serie al carico in pochi minuti.

8.4 Caratteristiche Aggiuntive da Ricercare

Caratteristica	Funzione	Perché è importante
Ingresso caricabatterie (AC IN)	Permette di collegare un generatore di backup all'inverter, che provvede a caricare le batterie quando il fotovoltaico non è sufficiente	Garantisce l'autonomia energetica anche in periodi di maltempo prolungato
Priorità dei carichi programmabile	Consente di scegliere se dare priorità all'alimentazione delle utenze o alla carica delle batterie quando è disponibile energia dal generatore	Ottimizza l'utilizzo dell'energia disponibile
Comunicazione con BMS	Permette all'inverter di comunicare con il sistema di gestione della batteria al litio per coordinare carica e scarica in modo sicuro	OBBLIGATORIO per impianti con batterie al litio. Senza questa comunicazione, il BMS potrebbe disconnettere improvvisamente la batteria per protezione, causando lo spegnimento dell'inverter e di tutti i carichi.
Modalità ECO / Search	Riduce il consumo a vuoto dell'inverter a 2-5W quando non viene rilevato alcun carico	Riduce significativamente i consumi parassiti, soprattutto nelle applicazioni dove l'inverter rimane acceso per lunghi periodi
Ventola termoregolata	La ventola di raffreddamento si attiva solo quando necessario, in base alla temperatura interna	Riduce il rumore e il consumo energetico nelle condizioni di funzionamento a basso carico

8.5 Il Consumo a Vuoto (L'Invisibile Nemico)

L'inverter, anche quando non alimenta alcun carico, consuma energia elettrica per mantenere attivi i propri circuiti di controllo.

Può arrivare anche a 15/30 Wh di consumo

Tipologia di inverter	Consumo a vuoto tipico	Energia consumata in 24 ore
Inverter di fascia economica	15-30 W	360-720 Wh
Inverter di qualità costruttiva elevata	5-15 W	120-360 Wh
Inverter con modalità ECO/Search	2-5 W (in standby profondo)	48-120 Wh

Strategie per ridurre il consumo a vuoto:

- Spegnerne l'inverter quando non serve
- Utilizzare la modalità ECO/Search se disponibile
- Scegliere un inverter con basso consumo a vuoto (caratteristica che può incidere sul costo iniziale ma che si ripaga nel tempo)

9. FASE 7: SCEGLIERE I CAVI E LE PROTEZIONI

9.1 I Cavi Giusti per il Fotovoltaico

Tipo di cavo	Dove si utilizza	Caratteristiche tecniche
Cavo solare H1Z2Z2-K	Tra pannelli e regolatore, tra regolatore e batteria	Doppio isolamento, resistente ai raggi UV, alle intemperie e alle escursioni termiche da -40°C a +90°C, conduttore in rame flessibile
Cavo flessibile per batterie	Collegamenti tra batterie e tra batteria e inverter	Conduttore in rame flessibile ad alta sezione, isolamento in PVC o gomma, colori rosso (positivo) e nero (negativo)
Cavo per impianti civili	Lato AC (dall'inverter alle prese e ai carichi)	Cavo normale per impianti elettrici domestici, sezione adeguata alla potenza, isolamento 450/750V

ATTENZIONE: Non utilizzare cavi rigidi per impianti civili sul lato DC. Le vibrazioni meccaniche e il vento possono causare la rottura dei conduttori, con conseguente formazione di archi elettrici e rischio di incendio.

9.2 Dimensionamento della Sezione dei Cavi

Formula per il dimensionamento:

$$Sezione (mm^2) = (2 \times \rho \times L \times I) / \Delta V$$

Dove:

- ρ = 0,0175 $\Omega \cdot mm^2/m$ (resistività del rame a 20°C)
- L = lunghezza totale del cavo in metri (andata + ritorno)
- I = corrente che percorre il cavo in Ampere
- ΔV = caduta di tensione massima ammissibile in Volt

Cadute di tensione massime ammissibili:

- Campo fotovoltaico → regolatore: $\leq 2\%$
- Batteria → inverter: $\leq 2\%$ (particolarmente critico per le elevate correnti)
- Batteria → utenze DC: $\leq 3\%$
- Uscita AC 230V: $\leq 4\%$ (come da norma CEI 64-8)

Tabella orientativa per cavi in rame, caduta di tensione < 3%, sistema a 24V:

Corrente (A)	Lunghezza 2 m	Lunghezza 5 m	Lunghezza 10 m
10 A	1,5 mm ²	2,5 mm ²	4 mm ²
20 A	2,5 mm ²	6 mm ²	10 mm ²
40 A	6 mm ²	10 mm ²	25 mm ²
60 A	6 mm ²	16 mm ²	35 mm ²
80 A	16 mm ²	25 mm ²	50 mm ²
100 A	25 mm ²	35 mm ²	70 mm ²

Nota sulla temperatura: La resistività del rame aumenta con la temperatura. Per cavi che operano a temperature superiori a 40°C, è prudente sovradimensionare la sezione o applicare un fattore di correzione.

👍 **Regola pratica:** In caso di dubbio, scegli la sezione superiore. Un cavo di sezione maggiore comporta un costo leggermente superiore ma riduce le perdite, il surriscaldamento e il rischio di incendi.

9.3 Le Protezioni: Fusibili e Sezionatori

Fusibili DC - Dimensionamento:

Punto di installazione	Dimensionamento	Note
Tra pannello e regolatore	$1,56 \times I_{sc}$ della stringa	Il coefficiente 1,56 deriva da 1,25 (margine di sicurezza) $\times$ 1,25 (derating per temperatura)
Tra regolatore e batteria	$1,25 \times$ corrente massima di carica del regolatore	Protegge il regolatore in caso di cortocircuito sulla batteria
Tra batteria e inverter	$1,25-1,5 \times$ corrente nominale dell'inverter	Deve essere di tipo ritardato (gD o aM) per sopportare i picchi di avviamento senza interventi intempestivi

Sezionatori DC:

⚠ **ATTENZIONE:** I sezionatori per corrente continua devono essere **specificamente progettati per il funzionamento in DC**. Non utilizzare interruttori magnetotermici AC al posto dei sezionatori DC: in corrente continua l'arco elettrico non si estingue naturalmente al passaggio per lo zero della sinusoide (come avviene in AC), quindi un interruttore AC può fondere e incendiarsi.

Differenziale AC (lato inverter):

- Tipo A o F (non tipo AC puro)
- Sensibilità 30 mA
- Deve essere coordinato con l'inverter

SPD (Protezione da sovratensioni di origine atmosferica):

Tipo	Where si installa	Funzione
SPD Tipo 2	Quadro DC lato pannelli (tra pannelli e regolatore)	Scarica a terra le sovratensioni indotte da fulmini o manovre
SPD Tipo 2	Quadro AC lato inverter (tra inverter e utenze)	Scarica a terra le sovratensioni residue che potrebbero danneggiare le apparecchiature

Installazione minima consigliata: SPD di Tipo 2 sia sul lato DC che sul lato AC.

10. FASE 8: IL QUADRO ELETTRICO E LA MESSA A TERRA

10.1 Il Quadro Elettrico

Il quadro elettrico deve essere suddiviso in **sezione DC** e **sezione AC**, fisicamente separate.

Componenti della sezione DC:

1. Sezionatore DC tra pannelli e regolatore
2. Fusibile o sezionatore-fusibile tra regolatore e batteria
3. Fusibili per ogni derivazione di utenza DC
4. **Fusibile ad alta velocità (classe aM o gPV)** tra batteria e inverter — **obbligatorio per batterie LiFePO4** come protezione di backup del BMS
5. SPD di Tipo 2 sul lato DC

Componenti della sezione AC:

1. Interruttore differenziale (salvavita) tipo A o F, con sensibilità 30 mA **il tipo B è il più adatto**
2. Interruttore magnetotermico di protezione delle linee
3. SPD di Tipo 2 sul lato AC

Grado di protezione del quadro:

- Quadri installati all'esterno: **IP65** minimo
- Quadri installati in locali tecnici interni: **IP40-IP55** (per consentire un'adeguata dissipazione del calore)

● **REGOLA FONDAMENTALE:** Non far passare mai cavi DC e cavi AC nella stessa canalina o nello stesso tubo corrugato. L'induzione elettromagnetica può causare interferenze e, in caso di guasto, pericolosi accoppiamenti tra i circuiti.

10.2 La Messa a Terra (Obbligatoria e Fondamentale per la Sicurezza)

Elementi da collegare a terra:

- Telai metallici dei pannelli fotovoltaici
- Struttura di supporto dei pannelli
- Carcassa metallica dell'inverter
- Carcasse metalliche dei quadri elettrici
- Eventuali involucri metallici delle batterie

Realizzazione del dispersore di terra:

1. Picchetto in acciaio ramato di lunghezza non inferiore a 1,5 m, infisso verticalmente nel terreno
2. Conduttore di terra in rame nudo di sezione non inferiore a 25 mm²
3. Pozzetto di ispezione accessibile per la verifica periodica della resistenza di terra
4. Resistenza di dispersione < 20 Ω (valore misurabile con apposito strumento, il terrometro)

Per camper, barche o strutture isolate senza accesso a un terreno: la messa a terra si realizza collegando le masse metalliche al telaio metallico del veicolo o dell'imbarcazione, che funge da dispersore.

11. FASE 9: L'INSTALLAZIONE MECCANICA DEI PANNELLI

11.1 Il Fissaggio sul Tetto

Superficie	Sistema di fissaggio consigliato
Tetto a tegole o coppi	Ganci in acciaio inox A2/A4 da ancorare alle travi portanti, con barre orizzontali in alluminio per il fissaggio dei pannelli
Tetto in lamiera	Morsetti aggraffanti con guarnizioni in EPDM, che non richiedono fori sulla lamiera
Tetto piano o terrazzo	Supporti triangolari zavorrati con pesi in cemento (non richiedono foratura)
Installazione a terra	Paline in acciaio zincato infisse nel terreno o basamenti in calcestruzzo
Camper, barca, roulotte	Supporti angolari incollati con adesivi strutturali (es. Sikaflex) o avvitati alla struttura
Installazione su palo	Staffe metalliche a "U" o a collare, dimensionate per il diametro del palo

Materiali da utilizzare: Utilizza **sempre** componenti in alluminio anodizzato o acciaio inox A2/A4. L'acciaio zincato a caldo, seppur economico, si corrode in 5-7 anni in ambienti esterni.

Verifica del carico vento: La struttura di supporto deve essere dimensionata per resistere ai carichi del vento della zona di installazione (secondo le indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni - NTC). In zone particolarmente ventose, i fissaggi vanno opportunamente rinforzati.

Distanza dal tetto: Lascia **almeno 10-15 cm** di intercapedine tra il retro dei pannelli e il manto di copertura per garantire una adeguata circolazione dell'aria (effetto camino). Pannelli installati a filo del tetto si surriscaldano e perdono efficienza.

11.2 Sicurezza in Quota

 **ATTENZIONE:** Il lavoro in quota è la causa principale di infortuni gravi e mortali nel settore del fotovoltaico.

Obblighi di sicurezza:

- Utilizzo di DPI anticaduta: imbracatura certificata (norma EN 361), cordino con assorbitore di energia (EN 355), ancoraggio su linea vita o punto fisso certificato (EN 795)
- Se il tetto ha pendenza superiore a 30° o è scivoloso, non salire senza specifica formazione e attrezzatura adeguata
- Mai lavorare da soli in quota (principio del "lavoro in coppia")
- Mai lavorare con vento di intensità superiore a 30 km/h o in condizioni di pioggia

⚠ Se non sei formato e adeguatamente attrezzato per il lavoro in quota, affida l'installazione meccanica dei pannelli a un professionista specializzato. Il resto dell'impianto (parte elettrica e cablaggio) può essere realizzato autonomamente.

11.3 Crimpatura dei Connettori MC4

La crimpatura dei connettori MC4 è l'operazione meccanica più critica per la sicurezza a lungo termine dell'impianto. Una crimpatura eseguita in modo non corretto causa un aumento della resistenza di contatto, con conseguente surriscaldamento, formazione di archi elettrici e potenziale incendio.

Procedura corretta:

1. Spellare il cavo per la lunghezza esatta indicata dal costruttore del capocorda (tipicamente 6-8 mm)
2. Inserire il capocorda nel cavo fino a fine corsa e crimpare con l'apposita pinza per MC4 (non utilizzare pinze universali)
3. **Test di strappo:** tirare il cavo con forza moderata (circa 50N). Il capocorda non deve muoversi né sfilarsi.
4. Inserire il capocorda nel corpo del connettore MC4 fino a sentire il "click" della linguetta di ritenuta
5. **Verifica visiva:** attraverso la finestrella di ispezione del connettore, il rame del capocorda deve essere visibile ma non sporgere eccessivamente
6. Serrare la ghiera di serraggio del cavo con la chiave apposita (non a mano nuda)

Errori da evitare assolutamente:

- Utilizzare pinze universali invece della crimpatrice MC4 specifica
- Lasciare fili di rame scoperti all'esterno del capocorda
- Non serrare completamente la ghiera di serraggio (penetrazione di acqua, ossidazione, arco elettrico)
- Miscelare connettori di marche diverse

12. FASE 10: IL CABLAGGIO (L'ORDINE GIUSTO)

12.1 La Sequenza di Accensione

● **ATTENZIONE:** L'ordine di connessione dei componenti è fondamentale. Un ordine errato può danneggiare irreparabilmente il regolatore di carica.

Procedura di accensione (ordine obbligatorio):

1. Collegare **PRIMA** la batteria al regolatore di carica (il regolatore si alimenta dalla batteria e riconosce la tensione del sistema)
2. Attendere 5-10 secondi che il regolatore si avvii e visualizzi la tensione della batteria sul display
3. Verificare che la tensione letta sia coerente con la tensione nominale del banco batterie
4. Collegare **DOPO** i pannelli al regolatore (con il sezionatore DC in posizione aperta)
5. Chiudere il sezionatore DC sul lato pannelli-regolatore
6. Accendere l'inverter (se presente nel sistema)

Procedura di spegnimento (ordine inverso):

1. Spegner l'inverter
2. Aprire il sezionatore DC sul lato pannelli-regolatore
3. Scollegare fisicamente i pannelli dal regolatore (se necessario per interventi di manutenzione)
4. Scollegare la batteria dal regolatore

● **Non invertire mai questa sequenza:** collegare i pannelli al regolatore prima della batteria può causare la bruciatura istantanea dell'elettronica del regolatore.

12.2 Serraggio dei Morsetti delle Batterie

Ogni morsetto di batteria ha una **coppia di serraggio specifica** indicata dal costruttore (tipicamente 6-12 Nm per terminali con vite M8, 15-25 Nm per terminali con vite M10).

Perché il serraggio è critico:

- Morsetto serrato con coppia insufficiente → elevata resistenza di contatto → punto caldo → fusione del terminale → incendio
- Morsetto serrato con coppia eccessiva → deformazione del terminale in piombo → formazione di cricche → perdita di elettrolita

✓ Utilizza sempre una **chiave dinamometrica** per il serraggio dei morsetti delle batterie. Dopo il primo ciclo di carica e scarica, **ricontrolla la coppia di serraggio** (i morsetti tendono ad assestarsi nei primi cicli di funzionamento).

13. FASE 11: LA MESSA IN SERVIZIO (IL COLLAUDO)

13.1 Checklist Pre-Accensione

Prima di energizzare l'impianto, verifica ogni punto della seguente checklist:

- ☐ Tutti i collegamenti elettrici sono serrati alla coppia di serraggio corretta
- ☐ La polarità di ogni collegamento è stata verificata con il multimetro
- ☐ I fusibili sono installati e dimensionati correttamente per ogni circuito
- ☐ Tutti i sezionatori DC sono in posizione OFF
- ☐ L'inverter è spento
- ☐ Per batterie AGM/GEL: il locale è ventilato, le tensioni del regolatore sono impostate correttamente
- ☐ Per batterie LiFePO4: il BMS è funzionante (indicatori LED o display), la temperatura della batteria è superiore a +3°C
- ☐ Il voltmetro permanente (se installato) funziona e legge correttamente
- ☐ Il sistema di messa a terra è collegato a tutte le masse metalliche
- ☐ Gli SPD sono installati e i loro indicatori di stato sono verdi (funzionanti)
- ☐ Non sono presenti attrezzi o oggetti metallici dimenticati sui componenti

13.2 Test a Freddo (Senza Irraggiamento Solare)

1. Misurare la tensione della batteria a riposo (deve essere 12,6-12,8V per un sistema a 12V, 25,2-25,6V per un sistema a 24V, con batterie AGM cariche)
2. Collegare la batteria al regolatore, attendere 10 secondi
3. Verificare che il display del regolatore si accenda e legga la tensione corretta
4. Chiudere i sezionatori delle utenze DC, una alla volta, verificando che i fusibili reggano la corrente
5. Accendere l'inverter a vuoto (senza carichi), misurare la tensione AC in uscita (deve essere 230V $\pm$ 5%)
6. Collegare un carico AC di bassa potenza (es. una lampadina) e verificare il funzionamento

13.3 Attivazione del Campo Fotovoltaico

1. Con il sezionatore DC in posizione aperta, misurare la **tensione a vuoto (Voc) della stringa** ai capi del cavo che verrà collegato al regolatore. Il valore misurato deve essere **inferiore al Voc massimo ammissibile dal regolatore**, considerando il possibile aumento di tensione alle temperature invernali.
2. Chiudere il sezionatore DC sul lato pannelli-regolatore
3. Verificare sul display del regolatore che appaia l'icona di carica (simbolo del sole) e che la tensione di carica sia nel range corretto (13,8-14,4V per batterie AGM a 12V; 27,6-28,8V per sistemi a 24V)
4. Misurare con la pinza amperometrica la corrente in ingresso al regolatore: deve essere coerente con l'irraggiamento solare del momento e con la potenza del campo fotovoltaico

13.4 Collaudo Finale con Carico

1. Accendere progressivamente tutti i carichi previsti, uno alla volta
2. Monitorare per almeno 30 minuti:
 - Temperatura dei cavi di collegamento alla batteria (non devono risultare caldi al tatto)
 - Stabilità della tensione della batteria sotto carico
 - Eventuali rumori anomali provenienti dall'inverter
3. Verificare che the regolatore di carica attraversi correttamente le fasi di carica (Bulk → Absorption → Float)
4. Documentare tutti i valori misurati nel libretto dell'impianto

14. FASE 12: LA MANUTENZIONE E IL TROUBLESHOOTING

14.1 Calendario di Manutenzione

Ogni 1-3 mesi:

- Pulizia dei pannelli con acqua e panno morbido (operazione da eseguire al mattino presto o alla sera, mai con sole forte per evitare shock termici)
- Controllo visivo di cavi, morsetti e connettori, alla ricerca di segni di surriscaldamento (scolorimenti, deformazioni)
- Controllo della ventilazione del locale batterie (aperture non ostruite)
- Lettura del voltmetro permanente: la tensione deve essere nei limiti previsti
- Controllo degli indicatori di stato degli SPD (devono essere verdi)
- Controllo del display del regolatore: assenza di codici di errore

Ogni 6-12 mesi:

- Misura della tensione di ogni batteria singola (per AGM): identificare e sostituire quelle con tensione significativamente diversa dalle altre
- Verifica dell'equilibrio delle celle tramite il BMS (per batterie LiFePO4)
- Ispezione visiva delle batterie: gonfiore, corrosione dei terminali, perdite di elettrolita
- Ricontrollo del serraggio dei morsetti con chiave dinamometrica
- Pulizia della polvere da regolatore e inverter (utilizzare aria compressa a bassa pressione)
- Verifica delle impostazioni del regolatore (tensioni di carica)
- Rilevazione termografica (se disponibile) di morsetti e cavi sotto carico: nessun punto deve superare i 40°C sopra la temperatura ambiente

Ogni 3-5 anni:

- Prova di scarica controllata delle batterie per verificare la capacità residua rispetto al nominale
- Sostituzione preventiva degli SPD (anche se l'indicatore di stato è verde, i componenti interni si degradano nel tempo)
- Misura della resistenza di dispersione del sistema di messa a terra

14.2 Matrice di Troubleshooting

Problema	Possibili cause	Azioni correttive
Regolatore non carica	Fusibile interrotto; Voc della stringa in condizioni di freddo superiore al limite del regolatore; polarità invertita; BMS della batteria LiFePO4 in protezione	Verifica e sostituisci i fusibili; misura la Voc della stringa; controlla la polarità dei collegamenti; resetta il BMS seguendo le istruzioni del costruttore
Regolatore carica ma la tensione della batteria non aumenta	Batteria solfatata (AGM); cella guasta (LiFePO4); carico parassita non rilevato	Prova una carica separata con un caricabatterie; misura la tensione di ogni singola batteria; scollega temporaneamente tutti i carichi per isolare il problema
L'inverter si spegne all'avvio di un motore	Cavi di collegamento alla batteria di sezione insufficiente; fusibile non di tipo ritardato (gD/aM); batteria scarica o con capacità ridotta	Verifica la sezione dei cavi e sostituiscili con sezione adeguata; sostituisci il fusibile con tipo ritardato; carica completamente la batteria

Problema	Possibili cause	Azioni correttive
Batteria AGM emette sibili o è calda	Sovratensione di carica; regolatore di carica guasto	EMERGENZA: apri immediatamente i sezionatori, stacca tutto, ventila il locale, non avvicinarti finché le batterie non si sono raffreddate
Batteria LiFePO4 calda o emette odore chimico	Fuga termica imminente; BMS guasto	EMERGENZA: evacua il locale, chiudi la porta, chiama i Vigili del Fuoco (115). Non tentare di spegnere con acqua.
Produzione dei pannelli inferiore al previsto	Ombre proiettate da alberi o strutture; accumulo di sporco; pannello o diodo di bypass guasto	Pulisci i pannelli; verifica la presenza di nuove ombre; misura Voc e Isc di ogni pannello singolarmente
SPD con indicatore di stato rosso	L'SPD ha scaricato una sovratensione (fulmine o manovra)	Sostituire immediatamente l'SPD con uno nuovo dello stesso tipo
BMS segnala un errore	Squilibrio tra le celle; sovracorrente in carica o scarica; temperatura fuori dal range operativo	Leggi il codice di errore sul manuale del BMS; se possibile, resetta il sistema seguendo le istruzioni del costruttore

15. IL BACKUP: IL GENERATORE DI RISERVA

Anche un impianto correttamente dimensionato può trovarsi a fronteggiare periodi di maltempo prolungato che riducono drasticamente la produzione fotovoltaica. Un generatore termico di riserva garantisce la continuità del servizio.

15.1 Il Generatore Termico

Dimensionamento: La potenza del generatore deve essere pari a quella dell'inverter o leggermente superiore, per permettere sia l'alimentazione dei carichi che la ricarica delle batterie.

Modalità di integrazione con l'impianto:

Modalità	Descrizione	Vantaggi	Svantaggi
Caricabatterie esterno	Il generatore alimenta un caricabatterie da rete (12/24/48V) collegato alle batterie	Semplice, economico, non richiede interventi sull'inverter	Non automatico, richiede intervento manuale

Modalità	Descrizione	Vantaggi	Svantaggi
Inverter/Charger integrato	L'inverter ha un ingresso AC che accetta la corrente del generatore e la utilizza per caricare le batterie o alimentare le utenze	Automatico, gestito dal BMS, ottimizzazione della carica	Costo più elevato

Interlock di sicurezza: È fondamentale installare un **sistema di interblocco** che impedisca:

- L'immissione di corrente in rete (pericoloso per chi lavora sulla linea)
- L'alimentazione contemporanea da generatore e da inverter in modo non sincronizzato

15.2 Gestione del Backup

Strategia operativa consigliata:

1. Monitorare quotidianamente lo stato di carica (SOC) delle batterie tramite il display del regolatore o del BMS
2. Avviare il generatore quando il SOC scende sotto il 40% (per batterie AGM) o il 20% (per batterie LiFePO4)
3. Far funzionare il generatore fino a portare le batterie all'80-90% di carica
4. Spegnerne il generatore e lasciare che il fotovoltaico completi la fase finale di carica

Un generatore utilizzato con questa strategia (poche decine di ore all'anno) ha costi di gestione contenuti e garantisce la continuità del servizio anche nei periodi più sfavorevoli.

16. I 20 ERRORI FATALI (E COME EVITARLI)

#	Errore	Conseguenza	Soluzione
1	Utilizzare cavi rigidi da impianto civile sul lato DC	I cavi si spezzano con vibrazioni e vento, causando archi elettrici	Utilizza cavi solari flessibili H1Z2Z2-K
2	Utilizzare interruttori AC al posto di sezionatori DC	L'arco in DC non si estingue; l'interruttore fonde e prende fuoco	Utilizza sezionatori specifici per DC

#	Errore	Conseguenza	Soluzione
3	Collegare l'inverter all'uscita LOAD del regolatore	I relè interni del regolatore si bruciano in pochi minuti	Collega l'inverter direttamente alla batteria con fusibili dedicati
4	Miscelare connettori MC4 di marche diverse	Aumento della resistenza di contatto, arco elettrico sul tetto, incendio	Utilizza connettori della stessa marca o ricrimpa tutto con componenti compatibili
5	Caricare batterie LiFePO4 a temperature inferiori a 0°C	Lithium plating, formazione di dendriti, fuga termica differita	Non caricare mai batterie al litio a temperature inferiori a 0°C (meglio 3°C di margine)
6	Non ventilare il locale batterie per batterie AGM	Accumulo di idrogeno, rischio di esplosione	Ventilazione naturale obbligatoria con aperture in basso e in alto
7	Dimensionare il fusibile dell'inverter sulla corrente nominale	Il fusibile interviene ad ogni avviamento di un motore	Utilizza fusibile ritardato (gD o aM) con corrente nominale 1,25-1,5 volte quella di targa
8	Invertire la sequenza di accensione (pannelli prima della batteria)	Bruciatura dell'elettronica del regolatore	Collega sempre prima la batteria, poi i pannelli
9	Non calcolare la Voc alla temperatura minima invernale	Regolatore danneggiato al primo inverno	Calcola la Voc a -10°C (o alla temperatura minima della zona)
10	Serraggio dei morsetti senza chiave dinamometrica	Punto caldo, fusione del terminale, incendio	Utilizza sempre la chiave dinamometrica con la coppia indicata dal costruttore
11	Cavi DC e AC nella stessa canalina	Interferenze elettromagnetiche, rischio di accoppiamento in caso di guasto	Canaline separate per DC e AC
12	Omettere la messa a terra delle masse metalliche	Rischio di folgorazione per contatto indiretto	Collega a terra tutte le masse metalliche

Tecnicamente, cavi DC e AC possono coesistere nella stessa canalina se tutti i cavi hanno un isolamento adatto alla tensione più alta presente (tipicamente 450/750V per i circuiti a 230V). Tuttavia, la normativa CEI 64-8 e le buone pratiche di installazione raccomandano fortemente di separarli fisicamente (canaline distinte o con setto divisorio) per evitare interferenze elettromagnetiche, pericolosi accoppiamenti in caso di guasto e per garantire una corretta manutenibilità.

#	Errore	Conseguenza	Soluzione
13	Utilizzare batterie per avviamento auto nel fotovoltaico	Si deteriorano in poche settimane per le scariche profonde	Utilizza solo batterie specifiche per ciclo profondo (Deep Cycle)
14	Non sovradimensionare i pannelli	In inverno o con cielo coperto la produzione è insufficiente	Installa una potenza pari ad almeno 1,5 volte quella calcolata
15	Regolatore MPPT sottodimensionato rispetto ai pannelli	Il regolatore lavora in sovraccarico e si surriscalda	Scegli un regolatore con margine di almeno il 20% sulla corrente di ingresso
16	Inverter a onda modificata	Danni a motori, alimentatori switching, forni a microonde	Utilizza solo inverter a onda sinusoidale pura
17	Non installare SPD	Un fulmine, anche indiretto, distrugge regolatore, inverter e BMS	Installa SPD di Tipo 2 sia lato DC che lato AC
18	Non rispettare le norme CEI	L'assicurazione può non coprire i danni in caso di incendio	Rispetta le norme CEI e richiedi la Dichiarazione di Conformità
19	Lavorare in quota senza DPI anticaduta	Rischio di caduta mortale	Utilizza imbracatura certificata o affida il lavoro a un professionista
20	Non ottenere i permessi edilizi (CILA/SCIA)	Multa e rimozione obbligatoria dell'impianto	Verifica in municipio prima di iniziare i lavori

Batterie per avviamento auto o camion si possono utilizzare per alimentare grossi carichi, per tempi brevi, con grossi inverter (commutando nell'impianto con interruttore di interblocco).

17. CHECKLIST FINALE: PRIMA DI ACCENDERE

Da compilare, firmare e conservare nel libretto dell'impianto.

Progettazione:

- ☐ Schema unifilare disegnato e verificato
- ☐ Calcolo dei consumi effettuato con misurazioni reali per almeno una settimana
- ☐ Dimensionamento dei pannelli con margine invernale e sovradimensionamento
- ☐ Scelta della tensione di sistema giustificata
- ☐ Calcolo della capacità di accumulo con giorni di autonomia

- ☐ Permessi edilizi ottenuti (CILA/SCIA se richiesti dal comune)

Acquisti:

- ☐ Tutti i componenti sono di marche affidabili e dotati di certificazioni
- ☐ Connettori MC4 della stessa marca dei pannelli
- ☐ BMS per batterie LiFePO4 certificato (IEC 62619 o UL 9540)
- ☐ Cavi solari H1Z2Z2-K della sezione corretta
- ☐ Fusibili, sezionatori e SPD correttamente dimensionati

Installazione meccanica:

- ☐ Struttura di fissaggio in alluminio o acciaio inox A2/A4
- ☐ Carico del vento verificato secondo le NTC
- ☐ Distanza minima di 10 cm sotto i pannelli per la ventilazione
- ☐ DPI anticaduta utilizzati durante il lavoro in quota

Installazione elettrica:

- ☐ Crimpatura MC4 verificata con test di strappo
- ☐ Morsetti delle batterie serrati con chiave dinamometrica
- ☐ Cavi DC e AC in canaline separate
- ☐ Messa a terra di tutte le masse metalliche
- ☐ SPD installati sul lato DC e sul lato AC
- ☐ Etichettatura di tutti i cavi e di tutte le protezioni

Messa in servizio:

- ☐ Sequenza di accensione rispettata (batteria prima, pannelli dopo)
- ☐ Voc della stringa misurata e compatibile con il regolatore
- ☐ Tensioni di carica del regolatore verificate
- ☐ Test a freddo completato con successo
- ☐ Collaudo sotto carico completato con successo
- ☐ Nessun punto caldo rilevato dopo 30 minuti di funzionamento
- ☐ Tutti i valori misurati documentati nel libretto

Documentazione:

- ☐ Libretto dell'impianto compilato
- ☐ Manuali di tutti i componenti conservati

- ☐ Schema unifilare aggiornato "come costruito"
- ☐ Contatto del tecnico abilitato per le verifiche periodiche

18. GLOSSARIO DEI TERMINI TECNICI

Termine	Spiegazione
AC (Alternating Current)	Corrente alternata. È il tipo di corrente elettrica che si trova nelle prese di casa, con tensione di 230V e frequenza di 50Hz in Europa.
AGM (Absorbent Glass Mat)	Tipo di batteria al piombo sigillata in cui l'elettrolita è assorbito in un tappetino di fibra di vetro. Non richiede manutenzione.
Ah (Ampereora)	Unità di misura della capacità di una batteria. Indica quanti ampere può erogare in un'ora. Esempio: una batteria da 100Ah può erogare 100A per 1 ora o 10A per 10 ore.
BMS (Battery Management System)	Sistema elettronico che gestisce e protegge le batterie al litio. Monitora tensione, corrente e temperatura di ogni cella.
Bulk	Prima fase di carica di una batteria, in cui viene erogata la massima corrente consentita fino al raggiungimento della tensione di assorbimento.
DC (Direct Current)	Corrente continua. È il tipo di corrente prodotta dai pannelli solari e immagazzinata nelle batterie.
DoD (Depth of Discharge)	Profondità di scarica di una batteria, espressa in percentuale della capacità totale. Esempio: DoD 50% significa che è stata utilizzata metà dell'energia immagazzinata.
DPI (Dispositivi di Protezione Individuale)	Equipaggiamenti di sicurezza come guanti isolanti, occhiali protettivi, imbracature anticaduta.
ESH (Equivalent Sun Hours)	Ore di sole equivalente. Unità di misura dell'irraggiamento solare che indica il numero di ore di irraggiamento massimo (1000 W/m ²) equivalente all'energia ricevuta in un giorno.
Float (Mantenimento)	Fase di carica di mantenimento, in cui la batteria viene mantenuta a una tensione ridotta (tipicamente 13,8V per un sistema a 12V) per compensare l'autoscarica.

Termine	Spiegazione
GEL	Tipo di batteria al piombo sigillata in cui l'elettrolita è immobilizzato in un gel. Non richiede manutenzione.
Isc (Current short circuit)	Corrente di cortocircuito di un pannello fotovoltaico, misurata quando i terminali sono in corto circuito in condizioni di irraggiamento standard.
LiFePO4 (Litio Ferro Fosfato)	Tipo di batteria al litio caratterizzata da elevata sicurezza termica e chimica, lunga durata e alta corrente di scarica.
MC4	Connettore standardizzato per il collegamento dei pannelli fotovoltaici. Il nome deriva da "Multi-Contact 4mm".
MPPT (Maximum Power Point Tracking)	Tecnologia di regolazione che massimizza l'estrazione di potenza dai pannelli solari adattando la tensione di ingresso per operare nel punto di massima potenza del pannello.
PWM (Pulse Width Modulation)	Tecnologia di regolazione più semplice e meno efficiente dell'MPPT, che collega e scollega il pannello alla batteria a impulsi rapidi.
SOC (State of Charge)	Stato di carica di una batteria, espresso in percentuale della capacità totale.
SPD (Surge Protection Device)	Dispositivo di protezione contro le sovratensioni transitorie, tipicamente causate da fulmini o manovre sulla rete elettrica.
Voc (Voltage open circuit)	Tensione a vuoto di un pannello fotovoltaico, misurata quando non è collegato alcun carico, in condizioni di irraggiamento standard.
Wp (Watt di picco)	Potenza massima erogabile da un pannello fotovoltaico in condizioni standard di irraggiamento (1000 W/m ²) e temperatura (25°C).

19. RISORSE E DOVE APPROFONDIRE

Forum e community online:

- Forum dedicati al fotovoltaico (italiano)
- Gruppi di discussione sul fai-da-te fotovoltaico
- Community internazionali (Reddit r/SolarDIY)

Strumenti di calcolo online:

- Calcolatori per il dimensionamento degli impianti
- Calcolatori per la caduta di tensione nei cavi
- Mappe dell'irraggiamento solare (PVGIS, NASA SSE)

Normative da consultare e rispettare:

- CEI 64-8 (impianti elettrici utilizzatori)
- CEI EN 50272-2 (sicurezza delle batterie stazionarie)
- CEI 82-25 (connessione di generatori fotovoltaici)
- T.U. Sicurezza 81/08 (lavoro in quota e DPI)

Testi di riferimento:

- Manuali tecnici dei costruttori di componenti fotovoltaici
- Pubblicazioni di associazioni del settore (GSE, RSE)
- Documenti tecnici delle università e degli enti di ricerca

CONCLUSIONI

Un impianto fotovoltaico a isola correttamente progettato e installato è un investimento che garantisce energia affidabile e indipendenza dalla rete per decenni. Le chiavi del successo sono:

1. **Dimensionamento accurato** — basato su consumi reali misurati e sull'irraggiamento della zona, considerando il periodo invernale come riferimento critico
2. **Sovradimensionamento dei pannelli** — il loro costo, rapportato al resto dell'impianto, giustifica ampiamente un margine di sicurezza che garantisce produzione anche nelle giornate nuvolose
3. **Scelta della tensione di sistema appropriata** — 24V per la maggior parte delle applicazioni domestiche
4. **Protezioni adeguate e specifiche** — fusibili, sezionatori DC, SPD, messa a terra di tutte le masse metalliche
5. **Rispetto assoluto della sequenza di accensione** — sempre batteria prima, pannelli dopo
6. **Gestione consapevole delle batterie** — ventilazione per le AGM, BMS certificato per le LiFePO4, rispetto dei limiti di temperatura per entrambe le tecnologie
7. **Manutenzione regolare e documentata** — secondo il calendario di controllo previsto

● **La sicurezza non è un optional, non è un costo da evitare, non è burocrazia inutile. La sicurezza è il primo e più importante componente del tuo impianto.** Senza di essa, tutti gli altri componenti e tutto il lavoro di installazione perdono ogni significato.

Progetta con cura, installa con metodo, mantieni con costanza. Il tuo impianto ti ripagherà con anni di energia pulita, autonoma e sicura.

Achille Sacchi – Laureato in Scienze Geologiche, è un appassionato progettista di sistemi per l'efficienza energetica e il benessere abitativo. Sperimenta e realizza soluzioni a basso costo per riscaldamento, raffrescamento e produzione di energia elettrica, utilizzando in modo semplice ed efficiente risorse naturali come l'energia solare e le temperature ambientali. Grazie a queste competenze, ha realizzato un'abitazione completamente autonoma dal punto di vista energetico.

È co-fondatore e coordinatore del **Progetto Sociale Supercondensatori Artigianali**, che promuove l'autocostruzione di accumulatori e l'autonomia energetica attraverso tecnologie accessibili.

Il suo obiettivo è diffondere pratiche ecologiche e replicabili per contribuire a un futuro più sostenibile.

Nota: L'autore è un appassionato e non un consulente professionista. Le informazioni contenute in questo manuale hanno scopo didattico e non sostituiscono il parere di un tecnico abilitato.

I Diodi nel Fotovoltaico: Bypass e Blocco

Premessa: Cosa si Intende per "Stringa"?

Prima di parlare di diodi, è utile chiarire il concetto di stringa. Nel fotovoltaico, una stringa è un insieme di pannelli collegati in serie (uno dopo l'altro). In questa configurazione:

- **Le tensioni si sommano:** 2 pannelli da 37V = 74V totali
- **La corrente rimane uguale:** se ogni pannello eroga 8A, la stringa eroga 8A

Quando si collegano più stringhe in parallelo, i positivi si collegano insieme e i negativi insieme. Le correnti si sommano, mentre la tensione rimane uguale.

I Due Tipi di Diodi

Nei sistemi fotovoltaici si utilizzano due tipi di diodi, che svolgono funzioni completamente diverse.

1. Diodi di Bypass (Già Integrati nei Pannelli)

Caratteristica	Dettaglio
Dove si trovano	Già installati all'interno dei pannelli dal produttore
Funzione	Proteggono le celle dal fenomeno dell'hot spot (punto caldo) in caso di ombreggiamento parziale
Come funzionano	Quando una parte del pannello viene ombreggiata, le celle in ombra non producono più corrente ma diventano un carico resistivo, surriscaldandosi. Il diodo di bypass devia la corrente intorno alle celle ombreggiate, prevenendo il surriscaldamento
Quanti sono	Tipicamente 3 o 4 per pannello, uno ogni 24 celle
Sono obbligatori?	Sì, sono già integrati e non richiedono installazione da parte dell'utente

2. Diodi di Blocco (Da Installare Esternamente)

Caratteristica	Dettaglio
Dove si installano	All'esterno dei pannelli, in serie al cavo positivo di ogni stringa
Funzione	Impediscono il flusso di corrente inversa, cioè che la corrente fluisca da una stringa all'altra o dalla batteria verso i pannelli
Come funzionano	Agiscono come una valvola unidirezionale: permettono alla corrente di fluire dal pannello verso il regolatore, ma la bloccano se tenta di fluire al contrario
Quale diodo usare	Diodi Schottky, perché hanno una caduta di tensione diretta inferiore (0,4V contro 0,7V dei diodi al silicio) e quindi dissipano meno potenza

Perché i Diodi di Blocco Sono Importanti

Senza un diodo di blocco, si possono verificar due situazioni pericolose:

1. Scarica della batteria sui pannelli (durante la notte)

Di notte, i pannelli non producono energia ma diventano un carico resistivo. Se la batteria è collegata direttamente ai pannelli (o tramite un regolatore che non protegge dal flusso inverso), la batteria si scarica lentamente sui pannelli. Questo comporta:

- **Scarica della batteria al di sotto della soglia di sicurezza:** la batteria si scarica completamente durante la notte, riducendone drasticamente la vita utile (per le batterie al piombo, una scarica profonda può danneggiarle irreversibilmente)
- **Danni ai pannelli:** la corrente inversa può surriscaldare le celle e danneggiarle

2. Corrente inversa tra stringhe in parallelo

Se due o più stringhe sono collegate in parallelo e una viene ombreggiata o si guasta, le altre stringhe (che producono a piena potenza) possono "spingere" corrente nella stringa ombreggiata. Questo comporta:

- **Surriscaldamento e danni ai pannelli:** la stringa ombreggiata, che non produce corrente, si trasforma in un carico resistivo e si surriscalda, con il rischio di danneggiare irreversibilmente le celle
- **Riduzione della produzione complessiva:** la corrente inversa riduce l'energia complessiva del sistema e crea uno squilibrio

Il diodo di blocco, installato in serie su ogni stringa, impedisce questi flussi inversi, proteggendo sia la batteria che i pannelli.

Dimensionamento del Diodo di Blocco

Parametro	Dimensionamento	Perché
Tensione inversa di picco (V_{RRM})	Almeno $2 \times V_{oc}$ del pannello/stringa	Per sopportare la tensione inversa quando il diodo è in blocco
Corrente diretta (I_F)	Almeno $1,5 \times I_{sc}$ del pannello/stringa	Per gestire la corrente massima con margine di sicurezza

 **Consiglio:** Scegli sempre diodi più capienti del necessario. Ad esempio, se la corrente massima prevista è 8A, scegli un diodo da 15A o 20A. Questo garantisce un margine di sicurezza, riduce il riscaldamento e prolunga la vita del componente.

Esempio pratico: Pannello con V_{oc} 37V e I_{sc} 8A

- Tensione inversa: $2 \times 37V = 74V \rightarrow$ scegliere diodo con $V_{RRM} \geq 80V$
- Corrente diretta: $1,5 \times 8A = 12A \rightarrow$ scegliere diodo da 15A o 20A per avere margine

Dissipazione di Potenza e Raffreddamento

Il diodo di blocco, quando è in conduzione, dissipa potenza sotto forma di calore. La potenza dissipata si calcola con la formula:

$$\text{Potenza dissipata (W)} = \text{Corrente (A)} \times \text{Caduta di tensione del diodo (V)}$$

Esempio: Diodo Schottky con caduta di 0,4V, corrente di 8A

$$\text{Potenza dissipata} = 8A \times 0,4V = 3,2W$$

Corrente	Potenza dissipata (0,4V)	Serve dissipatore?
Fino a 3A	1,2W	 No, il diodo si raffredda da solo
3A - 5A	2,0W	 Consigliato un piccolo dissipatore
5A - 10A	4,0W	 Sì, dissipatore obbligatorio
Oltre 10A	Oltre 4,0W	 Sì, dissipatore di dimensioni adeguate

● **ATTENZIONE:** Quando la corrente è elevata (superiore a 5A), il diodo si surriscalda. Senza un adeguato dissipatore di calore, la temperatura interna può superare i limiti di funzionamento, causando il guasto del diodo o addirittura un principio di incendio. Per correnti superiori a 5A, monta sempre il diodo su un dissipatore di calore in alluminio, utilizzando pasta termoconduttiva per migliorare lo scambio termico.

Quando Servono i Diodi di Blocco?

I diodi di blocco servono solo in casi specifici, perché nei sistemi moderni con regolatore MPPT sono spesso superflui.

✓ CASI IN CUI SERVONO

Situazione	Perché servono
Stringhe in parallelo con orientamenti diversi (es. una a sud, una a est)	La stringa meno esposta ha tensione inferiore e può ricevere corrente da quella più esposta, surriscaldandosi. Il diodo blocca questo flusso inverso.
Stringhe in parallelo con caratteristiche diverse (es. pannelli di potenza diversa o marche diverse)	Tensioni di lavoro diverse possono creare correnti inverse tra le stringhe.
Stringhe in parallelo con diverso numero di pannelli	Tensioni diverse, rischio di correnti inverse dalla stringa più potente a quella meno potente.
Sistemi con più regolatori in parallelo sulla stessa batteria	Un regolatore guasto potrebbe far fluire corrente inversa. Il diodo isola i regolatori tra loro.
Impianti senza regolatore (pannello-batteria diretto)	La batteria si scarica sul pannello durante la notte, scendendo al di sotto della soglia di sicurezza e danneggiandosi. Il diodo blocca questo flusso.

✗ CASI IN CUI NON SERVONO (PIÙ FREQUENTI)

Situazione	Perché non servono
Una sola stringa	Non c'è altra fonte che possa immettere corrente in quella stringa
Due stringhe con stesso orientamento e stessi pannelli	Le tensioni sono bilanciate, non c'è rischio di correnti inverse significative
Sistema con regolatore MPPT di qualità	Il regolatore impedisce già il flusso inverso dalla batteria verso i pannelli durante la notte
Tre o più stringhe in parallelo	Meglio usare fusibili su ogni stringa (più efficaci ed economici)

Perché Spesso Sono Sconsigliati

Motivo	Spiegazione
Perdite di energia	Ogni diodo ha una caduta di tensione di 0,4-0,7V. Su un sistema a 24V, perdere 0,5V significa circa il 2% di energia persa costantemente (la percentuale varia con la tensione di sistema).
I regolatori MPPT proteggono già	La maggior parte dei regolatori MPPT impedisce il flusso inverso dalla batteria verso i pannelli durante la notte.
Rischio di surriscaldamento	Se il diodo non è dimensionato correttamente o non ha un adeguato dissipatore, può surriscaldarsi e bruciare. Per correnti superiori a 5A, il dissipatore è obbligatorio.
Sostituiti dai fusibili	Per proteggere da correnti inverse tra stringhe in parallelo, i fusibili su ogni stringa (dimensionati a $1,25 \times I_{sc}$) sono più efficaci ed economici.

Sintesi Finale

Scenario	Cosa fare
Impianto base (1-2 stringhe, stesso orientamento, stessi pannelli, regolatore MPPT)	Non installare diodi di blocco. Causano solo perdite di energia.
Stringhe con orientamenti diversi	Installa un diodo Schottky sulla stringa meno esposta, scegliendolo più capiente del necessario (es. 15A invece di 8A).
Stringhe con pannelli di caratteristiche diverse	Installa un diodo Schottky sulla stringa con tensione inferiore, con margine di corrente.
Più di 3 stringhe in parallelo	Installa fusibili su ogni stringa ($1,25 \times I_{sc}$) invece dei diodi.
Più regolatori in parallelo sulla stessa batteria	Installa un diodo Schottky su ogni regolatore, dimensionato per la corrente massima.
Senza regolatore (pannello-batteria diretto)	Installa un diodo di blocco per evitare che la batteria si scarichi sui pannelli durante la notte, scendendo al di sotto della soglia di sicurezza e danneggiandosi.

Regola d'Oro

Nella maggior parte degli impianti moderni con regolatore MPPT e una o due stringhe con stesso orientamento, i diodi di blocco sono superflui e causano solo perdite di potenza.

Installali solo in casi specifici: stringhe in parallelo con orientamenti diversi, stringhe con caratteristiche diverse, più regolatori in parallelo, o sistemi senza regolatore. In queste situazioni, il diodo protegge i pannelli da correnti inverse che potrebbero danneggiarli e impedisce alla batteria di scaricarsi sui pannelli durante la notte, evitando che scenda al di sotto della soglia di sicurezza.

Se installi un diodo di blocco, scegliilo sempre più capiente del necessario (almeno $1,5 \times I_{sc}$) e, per correnti superiori a 5A, montalo su un dissipatore di calore per evitare surriscaldamenti e guasti.