



GUIDA AI PANNELLI FOTOVOLTAICI

Caratteristiche, scelta, posa e manutenzione

Achille Sacchi, 10 settembre 2026

Molte più informazioni sul Canale Telegram: t.me/KitAntiBlackout

I pannelli fotovoltaici sono il cuore di qualsiasi impianto solare. Che tu stia progettando un sistema per un'abitazione, un camper, una barca o qualsiasi altra applicazione, la scelta del modulo giusto determina la resa, la durata e la convenienza economica dell'intero investimento.

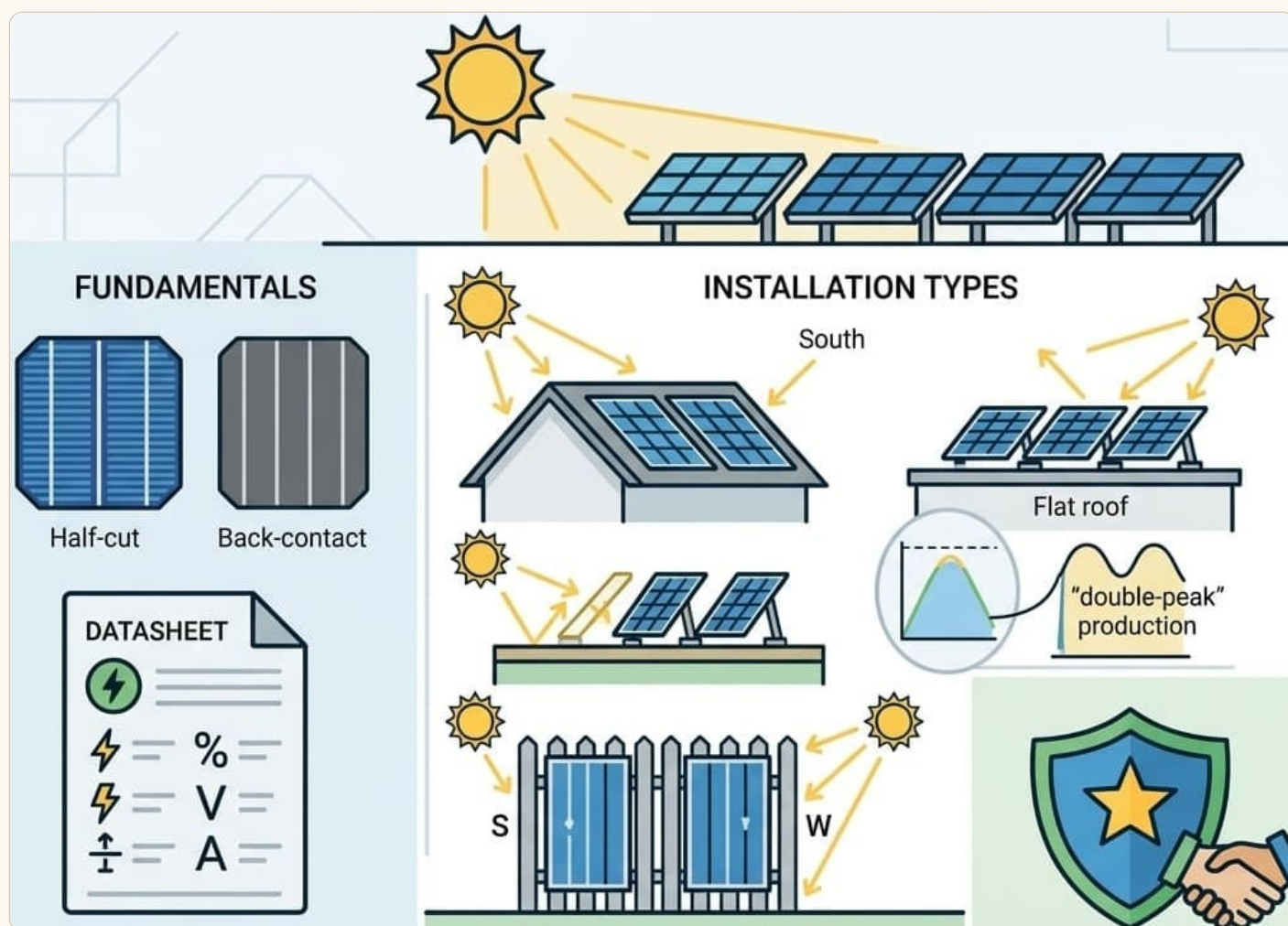
Questa guida è stata pensata per chi desidera avvicinarsi al mondo del fotovoltaico con consapevolezza e sicurezza. Troverai spiegati in modo semplice e diretto i parametri tecnici, le differenze tra le tecnologie, i criteri di posa e le regole di manutenzione per garantire la massima efficienza nel tempo.

Dai moduli monocristallini ai bifacciali, dalle installazioni su tetto alle recinzioni verticali, ogni aspetto è trattato con rigore tecnico ma con un linguaggio accessibile a tutti.



Indice

Nota importante	3
Introduzione	4
Le tecnologie dei pannelli	5
Le caratteristiche elettriche	6
Tecnologie costruttive · Diodi di bypass	7
Garanzie · Posa in opera · Dimensioni	8
Orientamento · Tilt · Ombre · Ventilazione	9
Pannelli bifacciali	10
Installazioni verticali · Curva a doppia gobba. Grandine e neve non sono un problema	11
Analisi orientamenti · Regole meccaniche	12
Moduli diversi o posizionati diversamente. Diodi di blocco	13
Dimensionamento diodo · Esempio · Riepilogo	14
Differenze tra diodi di bypass e di blocco	15
Compatibilità inverter · Dimensionamento elettrico	16
Calcolo Voc a freddo · Metodo pratico	17
Manutenzione e Pulizia	18



Nota importante

● NOTA DI ATTENZIONE

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.

La corrente continua non ha passaggi per lo zero. Un connettore MC4 mal crimpato può fondere. Usa sempre pinze crimpanti specifiche per MC4, mai il saldatore a stagno sui contatti, e verifica che il "click" di aggancio sia avvenuto.

Questa guida è ottimizzata per impianti off-grid, camper, baite e altre situazioni isolate. Per impianti collegati alla rete elettrica domestica (anche solo in autoconsumo), la legge italiana richiede la certificazione di un installatore abilitato.

Usare esclusivamente cavo solare doppio isolamento (es. H1Z2Z2-K) e non cavi elettrici standard, per resistere a UV e intemperie per 25 anni.

GUIDA AI PANNELLI FOTOVOLTAICI

Caratteristiche, scelta, posa e manutenzione

Introduzione

Se stai pensando di installare un impianto fotovoltaico nella tua casa, in una baita in montagna, su un camper o per altre applicazioni, il primo passo è capire il cuore del sistema: il **modulo fotovoltaico** (pannello fotovoltaico). È lui che trasforma la luce del sole in elettricità, ed è da lui che dipendono resa, durata e convenienza dell'intero impianto.

Questa guida è pensata per chi parte da zero e vuole acquisire le conoscenze necessarie per **scegliere, installare e mantenere** correttamente i pannelli fotovoltaici. Il linguaggio è chiaro e diretto, ma i contenuti sono rigorosi: ogni parametro tecnico è spiegato partendo da ciò che serve davvero nella pratica.

Il percorso segue l'ordine logico di un progetto reale. Si parte dalle **tecnologie costruttive** — monocristallino P-type e N-type, back-contact, half-cut, shingled, vetro-vetro — per capire cosa distingue un modulo economico da uno di qualità. Si passa poi alle **caratteristiche elettriche** della scheda tecnica (Wp, Voc, Isc, Vmp, coefficiente di temperatura, NOCT), spiegando perché contano nel dimensionamento e nella resa quotidiana. Seguono i **criteri di posa in opera**: orientamento, inclinazione, gestione delle ombre, ventilazione sottomodulo, dimensioni e carichi meccanici.

Uno spazio importante è dedicato ai **pannelli bifacciali** e alle **installazioni verticali**, due soluzioni sempre più diffuse e spesso fraintese. Per i bifacciali si spiega il ruolo dell'albedo e si indicano le condizioni in cui il guadagno è reale. Per le installazioni verticali — recinzioni, barriere acustiche, ecc. — si analizza la **curva di produzione a doppia gobba** (Est-Ovest) e se ne mostrano i vantaggi operativi, in particolare nei sistemi off-grid e con accumulo.

Una parte centrale affronta un tema spesso trascurato ma decisivo: **collegare moduli diversi o posizionati diversamente**. Vengono spiegati in modo distinto i **diodi di bypass** (già presenti nel modulo, proteggono dalle ombre interne alla stringa) e i **diodi di blocco** (da aggiungere dall'installatore, proteggono dalle correnti inverse tra rami in parallelo), con criteri di dimensionamento ed esempio pratico.

Chiudono il volume la **compatibilità e il dimensionamento elettrico con l'inverter** (Voc a freddo, finestra MPPT, corrente massima) e le indicazioni su **manutenzione, pulizia e controlli periodici**.

Tutti i riferimenti a normative, autorizzazioni e burocrazia sono stati volutamente eliminati per concentrarsi sugli **aspetti tecnici e pratici**. L'obiettivo è fornirti gli strumenti operativi per progettare, scegliere e gestire un impianto fotovoltaico con consapevolezza, dal piccolo sistema per un camper all'impianto domestico su tetto.

Le tecnologie dei pannelli: cosa scegliere

Il mercato si è evoluto: la tecnologia **policristallina è fuori produzione**. La scelta reale è tra tre famiglie di moduli a silicio monocristallino:

Caratteristica	Monocristallino P-type (PERC)	Monocristallino N-type (TOPCon, HJT)	Back-Contact (IBC/BC)
Efficienza	20-21,5%	22-23,5%	23-25%
Aspetto	Scuro uniforme, griglie frontali visibili	Scuro uniforme, estetica pulita	Totalmente nero , senza griglie frontali
Costo	Economico (in fase di dismissione)	Medio (+5-10% vs PERC)	Premium (+15-25%)
Coeff. temperatura	-0,35 / -0,40 %/°C	-0,29 / -0,32 %/°C	-0,28 / -0,30 %/°C
Degrado 1° anno (LID)	2-3%	≤ 1%	≤ 0,5%
Degrado annuo successivo	0,4-0,55%	0,25-0,4%	0,2-0,35%
Vantaggio principale	Prezzo iniziale basso	Miglior resa termica, lunga durata	Estetica totale + efficienza massima
Ideale per	Budget molto limitati	Quasi tutti i tetti (scelta raccomandata)	Tetti visibili, vincoli estetici, spazi minimi

CONSIGLIO PRATICO

La scelta ottimale per rapporto qualità/prezzo è il **monocristallino N-type (TOPCon o HJT)**. Rispetto al vecchio PERC ha un coefficiente di temperatura migliore (perde meno potenza durante le giornate estive molto calde), subisce un degrado iniziale (LID) quasi nullo e garantisce una produzione residua nettamente superiore nel lungo periodo. Il Back-Contact (IBC) è indicato per spazi ridotti o esigenze estetiche particolari.

Le caratteristiche elettriche da conoscere

Ogni pannello ha una scheda tecnica (datasheet) con parametri fondamentali per il dimensionamento elettrico:

Caratteristica	Cosa indica	Valori tipici	Perché è importante
Potenza di picco (Wp)	Potenza massima erogata in condizioni STC (1000 W/m ² , 25°C)	430-480 Wp (standard), 500-620 Wp (alta fascia)	Determina il numero di pannelli necessari per il target di potenza
Efficienza (%)	Rapporto tra energia solare ricevuta ed elettrica prodotta	21-23% (N-type), 23-25% (IBC)	Fondamentale se lo spazio di installazione è limitato
Tensione a vuoto (Voc)	Tensione ai capi del modulo senza carico collegato	37-52 V	Critico: la somma dei Voc in serie a freddo non deve mai superare la tensione max dell'inverter
Tensione lavoro (Vmp)	Tensione alla quale il modulo eroga la massima potenza	31-44 V	La somma dei Vmp della stringa deve rientrare nel range di funzionamento del tracker MPPT
Corrente cortocircuito (Isc)	Corrente massima erogabile in cortocircuito	11-14 A	Serve a dimensionare sezioni dei cavi, fusibili e protezioni di stringa
Coeff. temperatura (Pmax)	Perdita percentuale di potenza per ogni °C oltre i 25°C della cella	Ottimo: < -0,29 %/°C Buono: -0,30 / -0,32 %/°C	Impatta sulla resa estiva più del valore nominale di Wp
NOCT / NMOT	Temperatura raggiunta dalla cella in condizioni di lavoro reali	38-45 °C	Più è basso, migliore è la dissipazione termica del modulo

Analisi del Degrado (LID e PID)

- **LID (Light-Induced Degradation):** Perdita di potenza che avviene nelle prime ore di esposizione alla luce. I pannelli P-type perdono fino al 3% subito; i pannelli N-type sono immuni a questa specifica reazione e perdono ≤ 1%.
- **PID (Potential-Induced Degradation):** Degrado causato da correnti di dispersione verso terra per alte tensioni di stringa. Scegliere moduli contrassegnati come "PID-Free".

Tecnologie costruttive e assemblaggio

Oltre alla chimica della cella, la resa e la durata dipendono dall'architettura del modulo:

- **Half-cut (Mezze celle):** Il pannello è diviso elettricamente in due metà indipendenti e le celle sono tagliate a metà. Riduce della metà la corrente all'interno della singola cella, riducendo le perdite per effetto Joule del 75% e migliorando la tolleranza alle ombre parziali.
- **Shingled (A tegola):** Le celle sono sovrapposte leggermente e connesse con adesivi conduttivi senza l'uso di busbar metallici frontali. Elimina i punti di stress termico e riduce il rischio di microfratture (*microcracks*).
- **Vetro-Vetro vs Vetro-Backsheet** (tipico di molti pannelli bifacciali): I moduli Vetro-Vetro sostituendo il foglio plastico posteriore con un secondo strato di vetro temperato offrono una protezione superiore contro umidità, usura meccanica, nebbie saline e incendi.

Diodi di Bypass

Sono diodi integrati all'interno del giunto di derivazione (*junction box*) sul retro del pannello, tipicamente in numero di 3 per modulo. **Sono sempre presenti nei pannelli moderni** e la loro funzione è **proteggere il pannello dagli effetti dell'ombreggiamento**, specialmente quando i pannelli sono **collegati in serie** (in una stringa).

Quando una porzione di celle è in ombra, quelle celle non generano corrente e, se attraversate dalla corrente prodotta dalle celle in pieno sole, si surriscaldano (effetto *hot-spot*). Il diodo di bypass entra in conduzione quando la tensione ai capi del sotto-gruppo di celle ombreggiate si inverte, **cortocircuitando** quella sezione e permettendo alla corrente di "saltare" le celle in ombra.

- Si evita il surriscaldamento localizzato che può danneggiare il pannello.
- La corrente continua a fluire nel resto della stringa, anche se con una perdita di tensione pari alla sezione bypassata.

NOTA TECNICA

I diodi di bypass sono **già presenti** nel pannello e non vanno aggiunti dall'installatore. La loro presenza è obbligatoria per la certificazione del modulo. I diodi di bypass **non hanno nulla a che fare** con i diodi di blocco: i primi proteggono dai danni da ombreggiamento all'interno di una stringa in serie; i secondi proteggono dai flussi di corrente inversa tra rami in parallelo con esposizioni diverse (vedi pagina 13).

Garanzie e qualità

Valutare un modulo richiede l'analisi di due garanzie distinte:

Tipo di garanzia	Cosa copre	Valori consigliati
Garanzia di prodotto	Difetti di fabbricazione, penetrazione di umidità, delaminazione, rottura delle cornici	Minimo 15-25 anni (alcuni produttori premium offrono 30 anni)
Garanzia prestazioni	Massimo degrado di potenza producibile negli anni	30 anni , con output residuo garantito $\geq 87-90\%$

FATTORE TIER 1

La classificazione **BloombergNEF Tier 1** non certifica direttamente la qualità del singolo pannello, ma la stabilità finanziaria dell'azienda produttrice (bancabilità). Scegliere produttori Tier 1 offre maggiori garanzie che l'azienda sia ancora operativa per coprire eventuali reclami in garanzia a distanza di decenni.

Posa in opera e layout

Dimensioni, Pesì e Carichi Meccanici

- **Dimensioni modulo standard:** ~175-180 cm × 110-115 cm (superficie di circa 2 m²).
- **Peso:** 20-22 kg per monofacciali (vetro-backsheet); 24-28 kg per moduli doppio vetro.
- **Spazio necessario:** Per un impianto da 6 kWp servono circa 12-14 pannelli, pari a circa **25-30 m²** di superficie netta dei soli moduli (spazio utile su tetto consigliato: **35-40 m²** considerati i margini di rispetto).
- **Tenuta meccanica:** Verificare la resistenza del pannello ai carichi di neve (tipicamente 5400 Pa) e al vento (2400 Pa).

Orientamento e Tilt (Inclinazione)

- **Orientamento:**
 - **Sud:** Massima produzione annuale complessiva.
 - **Sud-Est / Sud-Ovest:** Perdita di resa contenuta (5-8%).
 - **Est / Ovest:** Perdita annuale del 15-20%, ma curva di produzione più ampie e spalmate durante il giorno.
- **Inclinazione (Tilt):**
 - **Nord Italia:** 30° - 35°
 - **Centro Italia:** 25° - 30°
 - **Sud Italia e Isole:** 20° - 25°

Ombreggiamento e Dissipazione Termica

- **Gestione ombre:** Se vi sono ombreggiamenti puntuali e inevitabili (comignoli, alberi, antenne), utilizzare **ottimizzatori di potenza** a livello di singolo modulo o **microinverter**. In alternativa, assicurarsi che l'inverter gestisca correttamente lo *scan MPPT globale*.
- **Ventilazione sottomodulo:** Su tetti inclinati, mantenere un'intercapedine d'aria di almeno **8-10 cm** tra la parte posteriore del pannello e le tegole. Una cattiva ventilazione fa salire la temperatura di esercizio della cella, riducendo l'efficienza fino al 5-10% nei mesi estivi.

Pannelli bifacciali

Principio di funzionamento

I moduli bifacciali utilizzano celle trasparenti sul retro e una struttura vetro-vetro, permettendo di convertire in elettricità anche la luce che colpisce la parte posteriore del pannello, derivante dalla riflessione del terreno o delle superfici circostanti (**Albedo**).

Tipo di Superficie sottostante	Valore indicativo Albedo	Guadagno Bifacciale Stimato
Neve fresca	80-90%	+20% / +30%
Membrana bianca / Cemento chiaro / Ghiaia chiara	50-70%	+12% / +20%
Erba / Terreno chiaro	15-25%	+5% / +10%
Tegole scure / Asfalto	5-10%	< 5% (Trascurabile)

- **Fattore di bifaccialità:** Espresso in percentuale (es. 80%), indica l'efficienza della faccia posteriore rispetto a quella anteriore.

Indicazioni pratiche di montaggio

- **Non installare** i moduli bifacciali adesi a tetti a falda con tegole scure (il retro non riceverebbe luce).
- **Tetti Piani:** Utilizzare strutture che sollevino il bordo inferiore del pannello di almeno **40-50 cm** dalla superficie per permettere alla luce riflessa di distribuirsi uniformemente sul retro.
- **A Terra / Carport** (struttura aperta che serve a riparare l'auto, o più auto, dalle intemperie – pioggia, neve, grandine, sole – ma senza pareti chiuse): Sollevare la struttura ad almeno **80-100 cm** dal suolo per massimizzare la cattura dell'albedo.
- **Sottostruttura:** Evitare profilati metallici che attraversino trasversalmente il retro del pannello creando ombre strette e continue sulle celle posteriori.

NOTA SULLE RECINZIONI

L'indicazione di sollevare la struttura ad almeno 80-100 cm dal suolo vale per le installazioni **a terra** e per i **carport**, dove serve massimizzare la cattura dell'albedo sul retro del modulo. Per le **recinzioni verticali**, invece, non è necessaria: è sufficiente mantenere il bordo inferiore libero dalla vegetazione, tipicamente a **30-50 cm** da terra (fino a 50-80 cm se l'erba è alta). In questo caso il guadagno bifacciale dipende soprattutto dalla **luce diffusa** e dall'**assenza di ombre sul retro**, non dall'altezza dal suolo.

NOTA SUL VETRO-VETRO

I moduli **vetro-vetro** incapsulano le celle tra due lastre di vetro temperato, offrendo una **durata nettamente superiore** rispetto ai moduli tradizionali vetro-backsheet: resistono meglio a umidità, corrosione, nebbia salina, ammoniaca, sbalzi termici e raggi UV, con un degrado annuo inferiore (circa **0,4%**) e garanzie prodotte fino a **30 anni**. Il rovescio della medaglia è il **peso maggiore**: un vetro-vetro pesa circa il **15-25% in più** di un vetro-backsheet equivalente (circa **15-18 kg/m²** contro **12,5 kg/m²**), richiedendo una verifica della portata del tetto o della struttura. Tuttavia, se la struttura lo consente, la maggiore longevità e la produzione stabile nel tempo rendono il vetro-vetro la scelta **da preferire** per chi punta a un impianto duraturo.

Installazioni verticali (esempio in recinzioni)

L'installazione verticale (90° di tilt) sfrutta moduli bifacciali ed è indicata per recinzioni civili/industriali, barriere acustiche o configurazioni agrivoltaiche.

La curva di produzione "A Doppia Gobba" (Est-Ovest)

Mentre un impianto tradizionale inclinato a Sud produce una parabola con un unico picco a mezzogiorno, una struttura verticale con orientamento **Est-Ovest** genera due picchi di produzione distinti:

1. **Picco Mattutino:** Il sole irradia direttamente la faccia rivolta ad Est.
2. **Picco Pomeridiano/Serale:** Il sole irradia direttamente la faccia rivolta ad Ovest.

Questa distribuzione riduce la sovrapproduzione nelle ore centrali della giornata e copre meglio i consumi domestici tipici (mattina e tardo pomeriggio).



VANTAGGIO OPERATIVO

La curva a doppia gobba è particolarmente adatta per sistemi **off-grid** o per impianti con accumulo, dove l'energia prodotta al mattino e al tramonto viene utilizzata direttamente, riducendo la necessità di sovradimensionare le batterie.

Un vantaggio da non trascurare è che il posizionamento verticale rende i moduli bifacciali praticamente indistruttibili dalla grandine e impedisce alla neve di accumularsi: la grandine colpisce con angolo radente senza concentrare l'impatto, la neve scivola verso il basso per gravità. Ne consegue meno rischi di rottura del vetro e produzione mantenuta anche in inverno, senza interventi manuali di pulizia.

Analisi degli Orientamenti della Struttura Verticale

Orientamento della Struttura	Esposizione delle due facce	Rendimento relativo	Analisi operativa
EST-OVEST	Faccia A → Est Faccia B → Ovest	90-95%	Configurazione Ottimale. Produzione perfettamente bilanciata su due picchi giornalieri. Sfrutta l'irraggiamento diretto su entrambi i lati in ore diverse.
NORD-SUD	Faccia A → Sud Faccia B → Nord	80-85%	Il lato Sud lavora ad alte prestazioni nelle ore centrali (anche se penalizzato dall'angolo d'incidenza a 90° in estate). Il lato Nord lavora solo di luce diffusa e albedo.
Esposizione singola prevalente	Faccia A → Est/ Ovest Faccia B → Coperta/ Inutilizzata	70-75%	Indicata solo per coprire carichi specifici in una precisa fascia oraria.

NOTA SULL'ESPOSIZIONE A NORD

In un pannello bifacciale verticale, la faccia esposta a Nord produce energia unicamente tramite radiazione diffusa e riflessione del terreno sferzata sul retro. Sebbene funzioni, presenta un rendimento ridotto rispetto al lato esposto a Sud o Est/Ovest.

Regole di Installazione Meccanica e Spaziatura

- **Spazio dal suolo:** Mantenere il bordo inferiore del modulo ad almeno **50-80 cm** da terra. Questo evita l'oscuramento causato dalla vegetazione, protegge il vetro da schizzi di fango o accumuli di neve e permette alla luce riflessa sul terreno di raggiungere la fascia inferiore del pannello.
- **Dimensionamento strutturale (Carico Vento):** Un pannello posizionato verticalmente funge da barriera aerodinamica ("effetto vela"). Le strutture di supporto e le fondazioni (plinti o palificate) devono essere dimensionati per resistere a raffiche di vento secondo le mappe di idoneità della zona.
- **Distanza tra file parallele:** Se si installano più file verticali nello stesso spazio, la distanza tra le file deve essere pari ad almeno **3-4 volte l'altezza della struttura** per evitare che la prima fila proietti ombre portate sulla seconda durante le ore a sole basso.

Installazione di moduli diversi o posizionati diversamente

Nella pratica, capita spesso di dover collegare tra loro pannelli con esposizioni diverse (es. alcuni a Sud in pieno sole, altri a Est/Ovest o parzialmente in ombra) o con caratteristiche elettriche differenti (tensioni o potenze non allineate).

Cos'è una stringa?

Nel gergo tecnico del fotovoltaico, una **stringa** è un insieme di pannelli fotovoltaici collegati tra loro **in serie** (positivo di un pannello al negativo del successivo). I pannelli in una stringa condividono la stessa corrente, mentre le loro tensioni si sommano. Esempio: 4 pannelli da 40 Vmp ciascuno formano una stringa da 160 Vmp.

⚠ Il problema dei collegamenti in parallelo con tensioni o esposizioni diverse

Quando si collegano in parallelo due o più rami, stringhe o singoli pannelli, che si trovano in condizioni differenti, si verifica un fenomeno pericoloso:

- **Rami con esposizioni diverse** (es. uno a Sud in pieno sole e uno a Est/Ovest o in ombra parziale)
- **Rami con tensioni nominali differenti** (es. moduli di marche o tecnologie diverse)
- **Rami con potenze di picco non allineate**

In queste condizioni, il ramo in pieno sole (o a tensione maggiore) "spinge" corrente verso il ramo in ombra (o a tensione inferiore). Il pannello nel ramo più debole, non riuscendo a generare una tensione sufficiente, si comporta come un carico passivo: la corrente lo attraversa in senso inverso, surriscaldandolo e deteriorandolo rapidamente.

ESEMPIO

Colleghi in parallelo un pannello esposto a Sud (in pieno sole) e uno esposto a Nord (in ombra). Il pannello a Sud produce corrente e la "spinge" verso quello a Nord, che si trova a doverla assorbire in senso inverso, surriscaldandosi e deteriorandosi.

🔧 La soluzione: i Diodi di BLOCCO (da installare quando serve)

Cosa sono: A differenza dei diodi di bypass (già nel pannello), i diodi di blocco sono componenti di potenza che **DEVE aggiungere l'installatore** in fase di cablaggio.

A cosa servono: Impediscono che la corrente fluisca in senso inverso da un ramo in pieno sole (o a tensione maggiore) verso un ramo in ombra o a tensione inferiore, quando due o più rami sono collegati in parallelo.

Quando servono (casi tipici):

- Stringhe in parallelo con **esposizioni diverse** (es. falda Sud + falda Est/Ovest)
- Stringhe in parallelo con **orientamenti differenti** (es. Sud-Est + Sud-Ovest disassati)
- Pannelli di **potenza o tensione nominale differente** collegati in parallelo
- Configurazioni ibride con moduli di **tecnologie diverse** (es. mix P-type / N-type)
- **Aggiunte progressive** di stringhe non perfettamente allineate all'impianto esistente

Dove si installano: In serie al polo positivo di ogni stringa (o di ogni singolo pannello)

Dimensionamento del diodo di blocco

- **Tensione inversa (V_{RRM}):** Deve essere superiore alla V_{oc} più alta tra i rami in parallelo.
 - *Approccio nominale:* $V_{RRM} \geq V_{oc} + 5 \div 10 \text{ V}$ (es. $V_{oc} 48 \text{ V} \rightarrow$ diodo 50-55 V)
 - *Approccio prudentiale:* $V_{RRM} \geq 1,5 \times V_{oc}$ (es. $V_{oc} 48 \text{ V} \rightarrow$ diodo 72 V, si prende 100 V)
- **Corrente diretta (I_F):** Deve essere superiore alla I_{sc} del ramo che protegge.
 - *Approccio nominale:* $I_F \geq 1,2 \times I_{sc}$ (es. $I_{sc} 14 \text{ A} \rightarrow 16,8 \text{ A} \rightarrow$ si prende 20 A)
 - *Approccio prudentiale:* $I_F \geq 1,25 \times I_{sc}$ (es. $I_{sc} 14 \text{ A} \rightarrow 17,5 \text{ A} \rightarrow$ si prende 20 A)
- **Dissipatore termico:** Obbligatorio per correnti $> 5\text{-}8 \text{ A}$.
- **Tipologia consigliata:** Diodo **Schottky** (minore caduta di tensione in conduzione, quindi minori perdite di potenza rispetto a un diodo al silicio standard).

Esempio pratico di dimensionamento

Scenario: Due stringhe in parallelo con esposizioni diverse:

Stringa	Esposizione	Tensione (V_{oc})	Corrente (I_{sc})
Stringa A	Sud (pieno sole)	49,8 V	13,9 A
Stringa B	Nord (ombra)	45,0 V	11,2 A

Problema: La stringa A in pieno sole "spinge" corrente verso la stringa B in ombra, che la assorbe in senso inverso, surriscaldandosi e danneggiandosi.

Diodo di blocco per la stringa B (il ramo più debole, da proteggere):

1. **Tensione:** $V_{RRM} \geq 49,8 \text{ V} \rightarrow$ scelgo **100 V** (valore commerciale prudentiale)
2. **Corrente:** $I_F \geq 11,2 \times 1,25 = 14 \text{ A} \rightarrow$ scelgo **20 A**
3. **Tipologia:** **Schottky**
4. **Dissipatore:** **Obbligatorio** ($I > 8 \text{ A}$)
5. **Posizione:** in serie al positivo della stringa B

Viceversa, quando la stringa B è in pieno sole e la stringa A è molto in ombra, la stringa B potrebbe spingere corrente verso la stringa A, che viene attraversata in senso inverso.

Pertanto, in tutti i casi in cui i pannelli sono collegati in parallelo e sono orientati in modo diverso oppure hanno caratteristiche elettriche differenti, ciascuno di essi va munito di un diodo di blocco. In caso di anomalie del regolatore di carica, serve anche ad impedire che, soprattutto di notte, la corrente passi dalle batterie ai pannelli

🔑 REGOLA PRATICA PER NON CONFONDERSI

- **BYPASS** = "salta l'ombra DENTRO il pannello" $\rightarrow$ già presente, non toccare
- **BLOCCO** = "ferma la corrente inversa TRA rami in parallelo" $\rightarrow$ da aggiungere se serve

 DIFFERENZE FONDAMENTALI TRA I DUE TIPI DI DIODI, SPESSO CONFUSI

Aspetto	Diodo di BYPASS	Diodo di BLOCCO
Chi lo installa	Il produttore (già nel pannello)	L'installatore (esterno, da cablare)
Dove si trova	Junction box sul retro del modulo	In serie al positivo di ogni stringa/ramo
Protegge da	Ombre parziali interne al modulo (serie)	Corrente inversa tra rami in parallelo
Quando serve	Sempre (obbligatorio, già di fabbrica)	Solo con paralleli a esposizione/tensione diversa
Effetto se manca	Hot-spot, microfratture, rischio incendio	Degrado accelerato, distruzione del modulo in ombra
Dimensionamento	Già fatto dal produttore	Lo calcola l'installatore (V_{RRM} , I_F)
Tipologia	Diodo al silicio standard	Diodo Schottky consigliato

Compatibilità e dimensionamento elettrico con l'inverter

Il corretto accoppiamento tra moduli e inverter richiede la verifica di tre parametri elettrici fondamentali:

1. **Tensione Max (Voc a freddo)** → **NON superare MAI la tensione max d'ingresso dell'Inverter**
2. **Corrente Max (Isc / Imp)** → **Verificare che la corrente di stringa rientri nei limiti MPPT**
3. **Tensione di Lavoro (Vmp)** → **Mantenere la somma dei Vmp all'interno della finestra MPPT**

Che inverter si intende?

In questa guida, con il termine "**inverter**" si intende il **dispositivo che riceve la corrente continua dalle stringhe fotovoltaiche** e che include la funzione di **inseguimento del punto di massima potenza (MPPT)**. A seconda del tipo di impianto, questo dispositivo può essere:

Tipo di sistema	Dispositivo che gestisce le stringhe PV	Include MPPT?	Include regolazione di carica?
Grid-connected (casa collegata alla rete)	Inverter di stringa	Sì	No (non ci sono batterie)
Off-grid (camper, baita, recinzione)	Regolatore di carica MPPT	Sì	Sì
Ibrido (rete + batterie, oppure off-grid evoluto)	Inverter ibrido	Sì	Sì

IN SINTESI

Quando leggi "inverter" in questa guida, pensa a:

Il dispositivo che riceve i pannelli fotovoltaici, li fa lavorare al punto di massima potenza (MPPT) e gestisce la carica delle batterie (se presenti).

Questo dispositivo può essere:

- un **inverter ibrido** (se serve anche la 230 V AC);
- un **regolatore di carica MPPT** (se serve solo la parte DC/batteria);
- un **inverter di stringa** (se non ci sono batterie e si è collegati alla rete).

I tre parametri (Voc a freddo, Isc/Imp, Vmp) servono **sempre** a proteggere l'ingresso PV di questo dispositivo e a farlo lavorare nella sua finestra MPPT.

Calcolo della Tensione a Vuoto Massimo (V_{oc_max}) a freddo

I pannelli fotovoltaici aumentano la propria tensione al diminuire della temperatura. Per evitare la rottura dello stadio d'ingresso dell'inverter, è necessario calcolare la V_{oc} della stringa alla temperatura minima storica del sito di installazione (es. -10°C):

FORMULA DI CALCOLO

$$V_{oc_modulo_min} = V_{oc_STC} + ((T_{min} - 25^{\circ}\text{C}) \times (\text{Coeff. } V_{oc} (\%/^{\circ}\text{C}) / 100) \times V_{oc_STC})$$

$$\text{Tensione Totale Stringa} = V_{oc_modulo_min} \times \text{Numero di pannelli in serie}$$

Il valore risultante deve essere inferiore alla tensione massima ammessa dal singolo ingresso MPPT dell'inverter (es. 600 V o 1000 V).

Verifica pratica e margini di sicurezza

⚠ ATTENZIONE

Il superamento della tensione massima d'ingresso dell'inverter (anche per pochi Volt) provoca la distruzione immediata dello stadio di potenza. Verificare sempre il calcolo a freddo con un margine di sicurezza del 5-10%.

Metodo pratico (senza calcoli). Se non vuoi applicare la formula ogni volta, usa un fattore di maggiorazione sulla Voc di targa: $\times 1,07$ a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\times 1,11$ a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\times 1,15$ a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Moltiplica poi per il numero di pannelli in serie e confronta il risultato con la tensione massima dell'inverter: la Voc della stringa deve restare sotto il 90% di quel limite. Regola a memoria: in zona temperata, la somma delle Voc di targa della stringa non deve superare il 90% della tensione massima dell'inverter.

Esempio. Modulo con Voc = 50 V, 12 pannelli in serie, sito a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, inverter con MPPT max 600 V. Voc maggiorata = $50 \times 1,11 = 55,5\text{ V} \rightarrow \text{Voc stringa} = 55,5 \times 12 = 666\text{ V}$, troppo alta (il limite prudenziale è 540 V). Si riduce a 9 pannelli: $55,5 \times 9 = 499,5\text{ V} \checkmark$

Verifica degli altri due parametri

- **Corrente massima (Isc / Imp):** la corrente di stringa (Isc del modulo $\times$ numero di stringhe in parallelo) deve rientrare nei limiti dell'ingresso MPPT dell'inverter. Se l'inverter accetta al massimo 15 A per MPPT e la stringa produce 14 A, siamo al limite: meglio non superare l'80-90% del valore massimo per evitare derating termico.
- **Tensione di lavoro (Vmp):** la somma delle Vmp dei moduli in serie deve cadere all'interno della finestra MPPT dell'inverter (es. 200–800 V). Se la stringa produce 160 Vmp e l'inverter parte a 200 V, il sistema non si avvia. Se produce 850 Vmp e l'inverter si ferma a 800 V, si perde produzione nelle ore centrali.

🔑 REGOLA PRATICA

Prima di collegare una stringa all'inverter, verifica sempre:

- **Voc stringa a freddo < 90% della tensione max inverter** $\checkmark$
- **Isc stringa < corrente max MPPT** $\checkmark$
- **Vmp stringa compresa nella finestra MPPT** $\checkmark$

Se uno dei tre parametri non rientra, modificare il numero di pannelli in serie o la configurazione delle stringhe.

Manutenzione e pulizia

Manutenzione ordinaria e pulizia

- **Perché pulire:** polvere, sabbia, escrementi di volatili, polline e smog possono ridurre la resa dal 2% fino al 10% e, nei casi peggiori, anche oltre. La pulizia non è solo estetica: è una forma di gestione delle prestazioni.
- **Come pulire:**
 - Usare acqua demineralizzata (evita aloni e residui calcarei) oppure acqua di rete non troppo dura, con risciacquo abbondante.
 - Per lo sporco ostinato (escrementi, muschio, smog incrostato): sapone neutro biodegradabile diluito in acqua tiepida o un detergente specifico per pannelli solari.
 - Spazzole a setole morbide o panni in microfibra, per evitare graffi.
- **Quando pulire:** nelle ore più fresche (mattino presto o sera), mai sotto il sole diretto.
- **Da NON fare:**
 - Detergenti aggressivi, acidi o abrasivi.
 - Idropulitrici ad alta pressione: danneggiano i sigilli del telaio e possono creare microfratture nelle celle.
 - Pulire a pannelli caldi: rischio di shock termico e rottura del vetro temperato.
- **Frequenza:** in ambito residenziale è sufficiente 1-2 lavaggi all'anno (primavera e autunno), salvo condizioni particolari (zone costiere, agricole, urbane inquinate).

Controlli strumentali periodici

- **Termografia IR:** ispezione con termocamera per individuare celle surriscaldate (*hot-spot*), diodi di bypass guasti o connessioni difettose.
- **Serraggio coppie di montaggio:** verifica periodica delle staffe e dei morsetti di fissaggio sottoposti a vibrazioni da vento.
- **Verifica connettori MC4:** controllare visivamente l'assenza di infiltrazioni di umidità o principi di archi elettrici nei punti di giunzione dei cavi di stringa.