



UNIONE EUROPEA  
UNION EUROPEENNE

Obiettivo Cooperazione territoriale europea  
Objectif Coopération territoriale européenne  
2007 - 2013



**Programma ALCOTRA**  
**Alpi latine cooperazione transfrontaliera**  
**Italia - Francia**



**persil**

**Performance Solari e Industria Locale**



**Linee guida alla progettazione,  
installazione e all'esercizio di  
impianti fotovoltaici**

# Indice

<b>1</b>	<b>FOTOVOLTAICO .....</b>	<b>3</b>
1.1	Raccomandazioni per la progettazione elettrica di impianti fotovoltaici .....	4
1.1.1	Criteri per le scelte progettuali.....	4
1.1.2	Elaborati grafici .....	5
1.1.3	Calcoli progettuali.....	6
1.1.4	Criteri di scelta e dimensionamento dei componenti principali.....	7
1.1.5	Piano di manutenzione.....	9
1.2	Raccomandazioni per l'installazione di impianti fotovoltaici .....	10
1.3	Raccomandazioni per l'esercizio di impianti fotovoltaici .....	11
1.4	Glossario .....	12





# 1 FOTOVOLTAICO

**A cura del Dipartimento di Ingegneria Elettrica  
del Politecnico di Torino**

**Dott. Ing. F. Spertino  
Dott. Ing. P. Di Leo  
Dott. Ing. F. Corona**





**persil**



## **1.1 Raccomandazioni per la progettazione elettrica di impianti fotovoltaici**

In questa parte del documento si intende fornire una serie di raccomandazioni per la progettazione elettrica di impianti fotovoltaici connessi alla rete. Le raccomandazioni riguardano i criteri progettuali, i componenti dell'impianto, il loro corretto accoppiamento e aspetti peculiari della tecnologia fotovoltaica (effetti dell'ombreggiatura concentrata di parte degli array).

### **1.1.1 Criteri per le scelte progettuali**

I criteri per le scelte progettuali, che dovranno essere considerati per l'impianto fotovoltaico connesso alla rete del distributore, sono principalmente la massimizzazione della captazione della radiazione solare, mediante posizionamento ottimale dei moduli e limitazione degli ombreggiamenti sistematici e la scelta dei componenti e della configurazione impiantistica in modo da:

- ottenere un'efficienza operativa media del generatore fotovoltaico superiore al 85%;
- ottenere un'efficienza operativa media dell'impianto fotovoltaico superiore al 75%;
- garantire un decadimento delle prestazioni dei moduli non superiore al 10% della potenza nominale nell'arco di 10/12 anni e non superiore al 20% nell'arco di 20/25 anni;
- configurazione impiantistica tale da garantire il corretto funzionamento dell'impianto fotovoltaico nelle diverse condizioni (in funzione di irraggiamento e temperatura) di potenza / tensione / corrente generata e nelle varie modalità previste dal gruppo di condizionamento e controllo della potenza (accensione, spegnimento, mancanza rete del distributore, ecc.);
- predisposizione per la misura dell'energia elettrica generata dall'impianto fotovoltaico, all'uscita dei gruppi di conversione.

In fase di progettazione si dovrà valutare attentamente la disposizione dei moduli fotovoltaici, in considerazione di eventuali ostacoli o edifici presenti nei dintorni del sito d'installazione dell'impianto. A tal fine si suggerisce un'analisi dell'ombreggiatura in funzione della tipologia d'impianto (fisso o ad inseguimento).

- Ombratura sistematica di parte degli array FV (sistemi fissi): si consiglia l'uso di software 3-D opportuni (come, ad es., PVSYST o SketchUp) per la valutazione dell'ora e del giorno del mese in cui incominciano e si estinguono i fenomeni di ombreggiatura di uno o più moduli FV oppure anche di parte di moduli FV. Questo perché l'ombreggiatura, se si verifica d'estate, può dare perdite superiori al 15% (impianti frangisole), se si verifica d'inverno su filari equidistanziati sul piano orizzontale, dà perdite normalmente ragionevoli (anche meno del 5%). Nel lungo periodo, col fenomeno del "hot spot", l'ombreggiatura causa la delaminazione (rigonfiamenti) dei moduli FV.



- Sistemi ad inseguimento solare: si deve valutare, con i software di cui al punto precedente, l'area colpita dall'ombra proiettata da ciascun girasole lungo tutto il percorso giornaliero. In tal modo, a parità di potenza installata per i sistemi fotovoltaici a terra, il sistema mobile occupa una maggiore superficie (anche il 20% in più).

Nella documentazione progettuale dovranno poi essere descritte le soluzioni impiantistiche adottate inerenti le:

- protezioni contro le sovracorrenti;
- protezioni contro le sovratensioni;
- protezioni di interfaccia lato corrente alternata;
- protezioni contro i contatti diretti per la sezione in corrente continua e la sezione in corrente alternata;
- protezioni contro i contatti indiretti, con particolare riferimento ai conduttori equipotenziali, ai conduttori di terra e ai dispersori;
- protezioni contro i fulmini.

### 1.1.2 Elaborati grafici

#### *Schema elettrico generale*

Lo schema elettrico generale può essere redatto come schema unifilare o multifilare; esso mostra le principali relazioni o connessioni tra i componenti descritti nella relazione tecnica.

Esso contiene le informazioni relative ai circuiti di potenza, ai livelli di tensione e di corto circuito, al sistema di protezione elettrica, ai circuiti di comando e segnalazione, ai dati nominali dei componenti elettrici principali, alla contabilizzazione dell'energia elettrica.

In particolare lo schema elettrico generale dell'impianto riporta le seguenti indicazioni:

- numero delle stringhe e numero dei moduli per stringa;
- quadro di campo;
- numero di inverter e modalità di collegamento delle uscite degli inverter;
- eventuali dispositivi di protezione lato c.c. e c.a. esterni all'inverter;
- contatori di energia prodotta;
- punto di collegamento alla rete di utente con eventuali dispositivi di protezione della rete di utente;
- contatori per la misura dell'energia prelevata/immessa dalla/nella rete del distributore.



### *Schemi elettrici*

Gli schemi elettrici contengono tutte le necessarie informazioni dell'impianto e le funzioni svolte dai componenti indicati. Essi devono comprendere:

- gli schemi dei principali circuiti in entrata ed uscita;
- gli schemi dei quadri elettrici;
- gli schemi logici di funzione.

### *Schemi d'installazione e disegni planimetrici*

Gli schemi d'installazione mostrano i componenti elettrici (in particolare moduli fotovoltaici e gruppi di conversione) in relazione alla loro ubicazione planimetrica e i tracciati principali della rete impiantistica e di eventuale rete di terra e di protezione da scariche atmosferiche. Essi saranno redatti in scala 1:50 o 1:100 e presentati, preferibilmente, in formato A4 o A3.

### *Schemi delle apparecchiature assiemate di protezione e di manovra (quadri)*

Essi contengono l'indicazione dei circuiti principali in entrata e in uscita, gli interruttori, i dispositivi di protezione e comando, gli strumenti di misura e i dati di dimensionamento.

### *Particolari costruttivi e dettagli d'installazione*

Essi contengono le informazioni necessarie per una corretta installazione dei componenti elettrici compresa la disposizione dei cavi negli scavi e nelle passerelle, i dettagli relativi all'impianto di terra e alla protezione contro i fulmini, ove prevista.

## **1.1.3 Calcoli progettuali**

La progettazione degli impianti elettrici deve essere effettuata unitamente alla progettazione delle opere edili al fine di prevedere esattamente ingombri, passaggi, cavedi, sedi, attraversamenti e simili e di ottimizzare le fasi di realizzazione.

I criteri e le modalità di esecuzione, nonché i risultati dei calcoli di dimensionamento degli impianti, comunque eseguiti, sono descritti in una relazione, esposti in modo da consentirne un'agevole lettura e verificabilità.

I calcoli esecutivi di dimensionamento degli impianti sono riferiti alle condizioni di esercizio ed alle specificità dell'intervento. Essi devono permettere di stabilire e dimensionare tutte le apparecchiature, condutture, canalizzazioni e qualsiasi altro elemento necessario per la funzionalità dell'impianto stesso.



Le tabelle e i diagrammi di coordinamento delle protezioni sono documenti alternativi od anche complementari tra loro. Essi possono far parte della relazione illustrativa relativa ai calcoli esecutivi. Essi contengono i dati per definire le caratteristiche significative dei dispositivi di interruzione, dei dispositivi di protezione dei circuiti e degli apparecchi utilizzatori ed i dati per la verifica della selettività, quando richiesta, dei dispositivi di protezione, quali:

- tipi di dispositivi di protezione;
- tipi di curve di intervento, campi di taratura e valori selezionati; poteri d'interruzione richiesti nei diversi punti dell'impianto elettrico;
- indicazioni relative alle funzioni di selettività (ed eventualmente di soccorso) da applicare nei diversi punti dell'impianto elettrico.

Possono non essere riportati i calcoli relativi ai singoli circuiti, ma devono essere riportati i criteri per la verifica di tali circuiti.

#### **1.1.4 Criteri di scelta e dimensionamento dei componenti principali**

- Tecnologia dei moduli FV: dal monitoraggio degli impianti considerati risulta preferibile la tecnologia del silicio monocristallino, che esibisce le migliori proprietà spettrali di assorbimento della luce, ed in particolare quella dell'etero-giunzione tra silicio monocristallino e silicio amorfo per la presenza simultanea di efficienze elevate (superiori al 16%) e di coefficienti di perdita termica ridotti (-0,3%/°C) rispetto al silicio monocristallino convenzionale. Il silicio policristallino, pur essendo il più diffuso per la sua economicità, non raggiunge le prestazioni del monocristallino, perché i vari cristalli riflettono in modo differente la luce quando l'angolo di incidenza dei raggi rispetto alla normale è alto (alla mattina o alla sera, lontano dal mezzogiorno).

Tra i film sottili, caratterizzati da coefficienti di perdita termica sensibilmente inferiori al silicio cristallino (circa -0,25%/°C), il CIS (rame/indio/selenio) appare il migliore, il silicio amorfo quello con prestazioni intermedie, mentre il tellururo di cadmio il peggiore. Tuttavia, il tellururo di cadmio dimostra, a differenza delle altre tecnologie, un'efficienza maggiore per irraggiamento intorno a 500 W/m<sup>2</sup> (molto più frequente) piuttosto che al valore standard di 1000 W/m<sup>2</sup>. Se la superficie a disposizione non è un vincolo stringente (5,3 m<sup>2</sup>/kW nel migliore dei casi e 18 m<sup>2</sup>/kW nel peggiore), in definitiva, non c'è una tecnologia dei moduli che sia da sconsigliare, ma possono coesistere le varie tecnologie, con la differenziazione operata dal costo. Piuttosto, si riscontra che alcune volte non sono rispettate, per tutte le tecnologie, le potenze di targa dichiarate dai costruttori con scarti anche superiori al 10%.

- Tecnologia degli inverter: dal monitoraggio degli impianti considerati si consiglia la scelta della configurazione senza trasformatore interno per ovvi motivi di rendimento, con finestra di tensione MPPT spostata verso l'alto per ridurre la corrente a parità di potenza. In particolare, si sconsiglia di impiegare inverter con efficienza europea (valore convenzionale calcolato come media pesata a varie potenze, soprattutto con carichi corrispondenti a meno del 50% della potenza nominale) inferiore al 95%. Dal punto di vista del raffreddamento, è consigliabile una macchina senza circolazione forzata d'aria



(possibile fino a circa 10 kW con convezione naturale), perché il ventilatore, richiedendo una potenza elettrica, aumenta la soglia di accensione, al sorgere del sole, della macchina. Quindi, se un inverter da 5 kW si accende con il 2% della potenza nominale (corrispondente a circa 20 W/m<sup>2</sup> di irraggiamento), un inverter da 100 kW si accende con il 5% della potenza nominale (corrispondente a circa 50 W/m<sup>2</sup> di irraggiamento). La qualità della potenza, relativamente alla distorsione armonica della corrente THDI e al fattore di potenza “cosφ” è, normalmente, soddisfacente per gli inverter commerciali (THDI < 5% e cosφ ≈ 1), non costituendo, quindi, una discriminante. Per quanto riguarda la protezione di interfaccia con la rete (relè di sopra/sotto tensione e relè di sopra/sotto frequenza), si consiglia di sfruttare quella interna all’inverter, cosa possibile solo fino a un massimo di 3 inverter per impianti da 1 a 20 kWp). Dal punto di vista dell’affidabilità e della sicurezza, si raccomanda di verificare l’entità della corrente dispersa nel PE durante il normale funzionamento dell’inverter: un valore troppo alto (per es. superiore a 30 mA) può causare l’intervento della protezione differenziale contro i contatti indiretti.

- Accoppiamento tra array FV e inverter: nella struttura della stringa si privilegi la scelta del numero maggiore possibile di moduli per sfruttare al massimo la tensione accettabile dall’inverter (tensione nominale MPP fino a 650-750 V e tensione a vuoto fino a 900-1000 V, ove possibile); in tal modo, si ottiene il risultato di ridurre il numero di stringhe in parallelo, che risulta ottimale quando non supera il valore di cinque. Infatti, un guasto di corto circuito tra entrambi i poli di una stringa oppure un doppio guasto a terra di poli opposti (un positivo e un negativo) della stessa o di due stringhe differenti richiama nei conduttori di stringa correnti compatibili con la portata dei cavi usati nelle stringhe (con sezioni di 4-6 mm<sup>2</sup>). In definitiva, questa limitazione porta a considerare inverter con potenze nominali non superiori a 30 kW. Si suggerisce di verificare che l’inverter, nel caso di esposizione al sole ottimale (azimut perfettamente a Sud e angoli di inclinazione compresi tra 30° e 40°), sia in grado di convertire potenze di ingresso corrispondenti anche a irraggiamenti di 1100 W/m<sup>2</sup> per un intervallo di tempo del quarto d’ora. Infine, qualora si tratti di impianti con integrazione architettonica con vetro-camera e vetri stratificati, si consiglia di fare la verifica della tensione minima per l’accensione dell’inverter assumendo una temperatura operativa dei moduli FV di 75 °C invece del più usuale 70 °C.

- Quadri sul lato DC: si impieghino, per le stringhe, solo cavi solari in doppio isolamento (resistenti ai raggi UV e con temperature di esercizio di 120 °C) con le sezioni già citate. Così, si può minimizzare il numero e il tipo di protezioni: si impieghino interruttori di manovra per sezionare le stringhe, senza inserire né diodi di blocco (opzione valida solo per i moduli FV in silicio cristallino) né fusibili (che possono intervenire intempestivamente per sovratemperatura). Per la protezione contro le sovratensioni di tipo diretto, molto spesso accade che, installando i moduli FV senza alterare la sagoma dell’edificio per ottenere il massimo incentivo, tale edificio continui ad essere auto-protetto e quindi senza necessità di installare LPS (Lightning Protection System ovvero “parafulmine”). Per la protezione contro le sovratensioni di tipo indiretto, ci si limita ad inserire solo dispositivi SPD a varistore e spinterometro (spesso di classe II).



- Quadri sul lato AC: è consuetudine predisporre, sempre con cavi in doppio isolamento (non solari questa volta), interruttori magneto-termici con relè differenziale, purché quest'ultimo sia selettivo nei riguardi delle correnti che vengono disperse nel PE durante il normale funzionamento degli inverter.

Per la protezione contro le sovratensioni, vale lo stesso discorso del punto precedente.

- Cavi elettrici e cablaggi: i cavi siano dimensionati e concepiti in modo da semplificare e minimizzare le operazioni di cablaggio e, con particolare attenzione a limitare le cadute di tensione.

I cavi dovranno soddisfare i seguenti requisiti:

- tipo autoestinguente e non propagante d'incendio;
- cavi del tipo unipolari per i circuiti di potenza;
- estremità stagnate oppure terminate con idonei capicorda.

I cavi posati all'aperto, dovrebbero essere di tipo "solare", in grado cioè di sopportare gli agenti atmosferici e in particolare la radiazione ultravioletta.

- Canalizzazioni e passerelle porta-cavo: il diametro delle tubazioni non dovrebbe essere mai inferiore a 1,3 volte quello del cerchio circoscritto ai cavi in esso contenuti, con un minimo di 16 mm<sup>2</sup>.

La sezione dei canali porta cavi occupata dai cavi non dovrebbe eccedere il 50% della sezione totale del canale stesso.

Dovrebbero essere utilizzati tutti gli accessori necessari per il mantenimento del grado di protezione richiesto per il tipo di ambiente d'installazione.

Si installino tubi e/o passerelle porta-cavi per la protezione meccanica dei cavi nelle discese, garantendo, per il collegamento dei cavi ai quadri, un livello di protezione analogo a quello dei quadri stessi.

### 1.1.5 Piano di manutenzione

Il piano di manutenzione dovrà essere un documento complementare al progetto per pianificare e programmare l'attività di manutenzione al fine di mantenere nel tempo la funzionalità, le caratteristiche di sicurezza e qualità, l'efficienza ed il valore economico dell'opera, tenendo conto degli elaborati progettuali esecutivi effettivamente realizzati.

Il piano di manutenzione assume contenuto differenziato in relazione all'importanza e alla specificità dell'opera e contiene l'insieme delle informazioni atte a permettere all'utente di conoscere le modalità di utilizzo e manutenzione nonché tutti gli elementi necessari ed evitare i possibili danni derivanti da un'utilizzazione impropria.

Il programma di manutenzione prevede un sistema di controlli e di interventi da eseguire periodicamente, a cadenze prestabilite o altrimenti prefissate, al fine di una corretta gestione dell'opera e delle sue parti nel corso degli anni.



## **1.2 Raccomandazioni per l'installazione di impianti fotovoltaici**

In questa parte del documento si espongono alcune raccomandazioni per l'installazione di impianti fotovoltaici. Le raccomandazioni riguardano i componenti dell'impianto e aspetti peculiari della tecnologia fotovoltaica (effetti dell'ombreggiatura concentrata di parte degli array).

- Ventilazione dei moduli FV: si privilegi l'installazione di tipo "semi-integrato" nel caso di inserimento architettonico dell'impianto FV su tetto inclinato, in modo da lasciare almeno 5 cm di camera d'aria tra la parete inferiore dei moduli FV e la copertura del tetto. Tuttavia, nel caso di integrazione totale, si preveda la creazione di un percorso preferenziale per l'aria calda in modo che possa fuoriuscire dal colmo del tetto. Nel caso di tetto piano, l'installazione inclinata dei moduli FV su strutture metalliche aperte deve massimizzare, ovviamente, la circolazione d'aria per la corretta ventilazione. Si consiglia di interrompere la disposizione continua dei moduli, uno adiacente all'altro, per favorire lo smaltimento del calore, oltre che per un più facile movimento degli operatori durante l'installazione o la manutenzione.
- Ostacoli vicini: si raccomanda di valutare, in fase di sopralluogo, la presenza di ostacoli vicini (come comignoli, antenne per le telecomunicazioni, barriere architettoniche, apparecchi di condizionamento dell'aria, ...) ai moduli FV da installare; in tal caso, la distanza dei moduli FV dagli ostacoli, determinata in fase di progetto, dovrà essere scrupolosamente rispettata per i problemi già descritti.
- Locale dell'inverter: si scelgano locali freschi e aerati (non sottoposti all'azione dei raggi solari) come cantine o semi-interrati e si evitino i sotto-tetti o l'installazione all'aperto per gli inverter di connessione alla rete. La presenza di umidità può causare l'intervento intempestivo di dispositivi di monitoraggio dell'isolamento o di relè differenziali.
- Quadri e cavi elettrici: è buona norma evitare, ove possibile, l'esposizione diretta all'azione dei raggi solari (con la scelta, ad esempio, di inserire i cavi in canaline metalliche) e la possibilità di accumulo di acqua piovana nelle sedi di passaggio dei cavi. Quadri in doppio isolamento sono senz'altro raccomandati. Come già evidenziato in precedenza, è meglio evitare l'uso di fusibili per i quali non è immediatamente evidente lo stato di chiusura o apertura. La disposizione dei componenti di protezione (interruttori, fusibili, scaricatori di sovratensione, ...) deve essere tale da non provocare nei quadri riscaldamenti mutui che possono accorciare la vita utile del quadro nel suo insieme.



### **1.3 Raccomandazioni per l'esercizio di impianti fotovoltaici**

Sulla base dell'attività di monitoraggio annuale delle prestazioni di numerosi impianti fotovoltaici, si presentano alcune raccomandazioni per l'esercizio di impianti fotovoltaici connessi alla rete. Innanzitutto, è necessario individuare "in situ" una persona demandata al controllo dell'esercizio dell'impianto FV. Questa persona ovvero "l'addetto all'impianto FV" è incaricato delle seguenti attività.

- Controllo della produzione energetica: dal monitoraggio annuale dell'impianto considerato, sono note le produzioni energetiche mensili che servono da riferimento per gli anni a venire. Queste vengono trascritte su un foglio, su cui si annotano anche, mese per mese, le nuove produzioni energetiche in modo da poter calcolare subito gli scarti percentuali. Sono ammessi scarti fino al 30% per variazioni meteorologiche, senza che si debba ipotizzare malfunzionamenti o guasti di componenti del sistema.
- Controllo dello stato di chiusura degli interruttori: con cadenza settimanale, la persona controllerà lo stato di chiusura di tutti gli interruttori dell'impianto, lato moduli FV e lato inverter (a questo scopo, è meglio evitare l'uso dei fusibili, per i quali non è immediatamente evidente lo stato di chiusura o apertura), e lo stato di accensione degli inverter. Sarà verificata anche la corretta funzionalità del tasto di prova dei relè differenziali.
- Controllo della sporcizia presente sui moduli FV: con cadenza mensile, qualora sia facile accedere a uno o più moduli FV, la persona provvederà a passare un panno bianco sul vetro frontale e controllerà l'imbrattamento del panno. Se questo sarà tale da annerire il panno stesso e se accadrà nel periodo Aprile-Settembre, si consiglia un intervento di pulizia dei vetri dei moduli FV.
- Verifica termica dei quadri elettrici: le temperature, che si raggiungono in conseguenza dello smaltimento del calore prodotto per effetto Joule, non devono compromettere la vita degli isolanti. Non si devono osservare, perciò, deterioramenti degli involucri protettivi.
- Verifica visiva dell'isolamento dei cavi elettrici: non si devono vedere deterioramenti, tali da provocare distacco di materiale polimerico costituente l'isolamento sia dei cavi solari sul lato DC sia degli altri cavi sul lato AC.
- Manutenzione dei motori degli inseguitori solari: almeno una volta all'anno o secondo le indicazioni del costruttore, si procederà alla lubrificazione dei motori, al controllo del corretto allineamento dell'inizio corsa e del fine corsa dei leveraggi per il movimento est-ovest.



## 1.4 Glossario

### **Albedo**

Riflessione della luce solare prodotta dall'ambiente circostante (notevole con la neve).

### **Angolo di inclinazione (o tilt)**

Angolo di inclinazione del dispositivo fotovoltaico rispetto al piano orizzontale.

### **Angolo di orientazione (o di azimuth)**

Angolo di orientazione del piano del dispositivo fotovoltaico rispetto al meridiano corrispondente. In pratica misura lo scostamento del piano dell'impianto rispetto all'orientazione verso Sud (per l'emisfero boreale). Valori positivi indicano un'orientazione verso Ovest, mentre valori negativi indicano orientazioni verso Est.

### **Array FV**

V. Campo fotovoltaico

### **BIPV (Building-Integrated Photovoltaics - Fotovoltaici integrati nell'edilizia)**

Tutte le applicazioni del fotovoltaico progettate per essere integrate nelle costruzioni architettoniche (pannellature per facciate, balaustre, vetrate, coperture, ecc.).

### **BOS (Balance of System - Bilancio del Sistema)**

Insieme di tutti i componenti di un impianto fotovoltaico, esclusi i moduli fotovoltaici. Fanno parte del cosiddetto BOS i diodi di bypass e di blocco, il regolatore della carica e della scarica della batteria, le batterie, gli inverter (per le utenze c.a.) e l'insieme dei cablaggi elettrici e delle derivazioni.

### **CdTe**

Formula chimica del Tellururo di Cadmio, costituente principale dei moduli fotovoltaici a film sottile omonimi. La tecnologia è analoga a quella del CIS (v.).

### **Cella a multigiunzione verticale**

Cella composta da differenti materiali semiconduttori disposti a strati, uno sull'altro, e che permettono alle differenti porzioni di spettro solare di essere convertite a differenti profondità, aumentando con ciò l'efficienza totale di conversione della luce incidente. Viene anche definita come Split Spectrum cell o VMJ (Vertical Multijunction Cell).

### **Cella fotovoltaica**

Dispositivo fotovoltaico fondamentale a semiconduttore che genera elettricità quando viene esposto alla radiazione solare. Si tratta di un diodo con grande superficie di giunzione che, se esposto alla radiazione solare, si comporta come un generatore di corrente elettrica, di valore proporzionale alla radiazione incidente.

### **CIS/CIGS**



Sigla convenzionale del di-Seleniuro di Indio e Rame (CIS), composto semiconduttore policristallino che viene spesso arricchito con Gallio (CIGS) per aumentarne l'efficienza e la tensione di circuito aperto Voc. Una cella di CIS o CIGS viene realizzata utilizzando come substrato del vetro (di 2-3 mm di spessore) su cui viene depositato un sottile strato di molibdeno (circa 0,5  $\mu\text{m}$ ), che costituisce il contatto posteriore. Successivamente viene depositato il materiale assorbitore (CIS o CIGS) con uno spessore di 2-3  $\mu\text{m}$ . La giunzione è realizzata unendo al materiale assorbitore uno strato tampone o "buffer" di CdS (Solfuro di Cadmio, spessore di 0,05-0,07  $\mu\text{m}$ ), quasi interamente trasparente alla luce visibile e infrarossa. Infine, viene depositato l'ultimo film di ZnO (Ossido di Zinco, circa 2  $\mu\text{m}$  di spessore), materiale trasparente e buon conduttore, che costituisce il contatto frontale della cella. Durante un unico processo, possono essere realizzate più celle sullo stesso substrato.

### **Collegamento in parallelo**

Collegamento di componenti elettrici tale per cui ai loro capi viene applicata la stessa differenza di potenziale e le rispettive correnti si sommano.

### **Collegamento in serie**

Collegamento di componenti elettrici attraversati dalla stessa corrente e con tensioni che si sommano.

### **Condizioni di Prova Standard (STC)**

Comprendono le seguenti condizioni di prova normalizzate (CEI EN 60904-3):

- ~ Temperatura di cella ( $T_c$ ):  $25^\circ \pm 2^\circ \text{C}$ ;
- ~ Irraggiamento:  $1000 \text{ W/m}^2$ , con distribuzione spettrale di riferimento (massa d'aria AM = 1,5).

### **Contatti elettrici**

Elementi conduttori che stabiliscono o interrompono la continuità di un circuito elettrico. Nella cella fotovoltaica i contatti sono realizzati in materiale altamente conduttivo (per esempio, argento) e con una configurazione a griglia formata da fingers e busbars, in modo da oscurare il meno possibile la cella stessa.

### **Fattore di potenza**

In una linea c.a. non sempre le sinusoidi di tensione e corrente sono in fase; normalmente invece si osserva un certo sfasamento, dovuto alla presenza di effetti induttivi e capacitivi principalmente dovuti ai carichi. Quando il coseno dell'angolo di fase tra  $V$  e  $I$  ( $\cos\varphi$ ) è uguale a 1 non vi è sfasamento; viceversa, quando tale valore è uguale a 0 si dice che tensione e corrente sono in quadratura ( $\varphi = 90^\circ$ ), col risultato di non aver trasferimento di potenza fruibile sulla linea. Valori compresi tra 0 e 1 indicano sfasamenti più o meno accentuati.

### **Campo fotovoltaico**

Insieme di moduli fotovoltaici, connessi elettricamente tra loro e installati meccanicamente nella loro sede di funzionamento.



### **Campo ad inseguimento**

Campo fotovoltaico costituito da moduli disposti su strutture di sostegno mobili che seguono automaticamente il movimento del sole. Il movimento d'inseguimento può avvenire su un solo asse (normalmente E-O), oppure su entrambi.

### **Curva I-V**

Grafico che, in un dispositivo fotovoltaico, indica le caratteristiche della corrente in funzione della tensione.

### **Convertitore CC/CA (inverter)**

Apparecchiatura, tipicamente statica, impiegata per la conversione in corrente alternata (CA) della corrente continua (CC) prodotta dal generatore fotovoltaico.

### **Coefficiente termico della corrente di cortocircuito ( $\alpha$ )**

Il coefficiente termico della corrente di cortocircuito di un modulo fotovoltaico indica di quanto varia la corrente di cortocircuito con la temperatura delle celle a partire dalle condizioni STC ( $1000 \text{ W/m}^2$  e  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

### **Coefficiente termico della tensione a vuoto ( $\alpha$ )**

Il coefficiente termico della tensione a vuoto di un modulo fotovoltaico indica di quanto varia la tensione a vuoto con la temperatura delle celle a partire dalle condizioni STC ( $1000 \text{ W/m}^2$  e  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

### **Conversione fotovoltaica**

Fenomeno secondo il quale un dispositivo elettronico a stato solido (cella fotovoltaica a semiconduttore) genera energia elettrica a partire da radiazione solare incidente.

### **Dispositivo fotovoltaico**

Cella, modulo, pannello, stringa o campo fotovoltaico.

### **Diode o raddrizzatore o interruttore unidirezionale**

Elemento elettronico, fornito di anodo e catodo, che permette alla corrente elettrica di fluire in una sola direzione.

### **Diode di blocco**

Diode che evita il fluire di correnti inverse verso il generatore fotovoltaico, in particolari condizioni di funzionamento o di guasto.

### **Diode di bypass**

Diode che permette alla corrente di trovare un percorso parallelo ad un modulo o ad un gruppo di celle di un modulo, nel caso in cui questi si trovino a funzionare da carico per guasti o effetti di ombra.

### **Efficienza europea di un inverter (%)**



Rendimento del convertitore CC/CA per effetti resistivi, di conduzione e di commutazione degli interruttori elettronici, magnetici e di alimentazione dei circuiti di controllo, mediato con pesi differenti a seconda del livello della potenza in uscita rispetto quella nominale.

#### **Efficienza nominale di un modulo FV (%)**

Rapporto tra la potenza nominale del modulo FV e il prodotto dell'irraggiamento solare standard ( $1000 \text{ W/m}^2$ ) per la superficie complessiva del modulo, inclusa la cornice.

#### **EVA (Etilene-Vinile-Acetano)**

Materiale plastico utilizzato per la costruzione dei pannelli, che costituisce l'involucro entro cui vengono collocate le celle fotovoltaiche, collegate fra loro in serie (tranne rare eccezioni). L'EVA viene fuso a una temperatura di  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  per mezzo di forni sotto vuoto.

#### **Fattore di riempimento della curva I-V (%)**

In un dispositivo fotovoltaico corrisponde al rapporto fra la potenza massima e il prodotto ottenuto moltiplicando la tensione a circuito aperto per la corrente di corto circuito.

#### **Fill factor (FF)**

V. Fattore di riempimento

#### **Film sottile (Thin film)**

Prodotto della tecnologia che sfrutta la deposizione di un sottilissimo strato di materiale semiconduttore per la realizzazione di moduli o celle fotovoltaiche.

#### **Finestra di MPPT (Maximum Power Point Tracker)**

Intervallo di tensione d'ingresso di un MPPT entro cui esso è in grado di svolgere la ricerca del punto di massima potenza sulla curva tensione-corrente dell'array fotovoltaico.

#### **GaAs**

V. Arseniuro di Gallio.

#### **Generatore Fotovoltaico**

V. Campo fotovoltaico.

#### **Giunzione**

È il confine fra regioni di semiconduttore aventi "drogaggi" opposti (p ed n). Se la giunzione è realizzata fra regioni dello stesso semiconduttore, essa è detta "omogiunzione"; se invece è realizzata fra regioni di semiconduttori differenti è detta "eterogiunzione".

#### **Grid - connected**

Sistema Fotovoltaico connesso alla rete di distribuzione elettrica.



### **HIT (Heterojunction Intrinsic Thin-layer) Eterogiunzione con strato sottile intrinseco**

Celle FV bifacciali costituite da uno strato ultrasottile di silicio amorfo depositato su un substrato di silicio monocristallino ad alto rendimento.

### **Inseguitore del punto di massima potenza (MPPT)**

Dispositivo di comando dell'inverter tale da far operare il generatore fotovoltaico nel punto di massima potenza. Esso può essere realizzato anche con un convertitore statico separato dall'inverter, specie negli impianti non collegati ad una rete in corrente alternata.

### **Irraggiamento solare ( $W/m^2$ )**

Intensità della radiazione elettromagnetica solare incidente su una superficie di area unitaria.

### **Inverter**

V. Convertitore CC/CA

### **Maximum Power Point Tracker ( MPPT )**

V. inseguitore del punto di massima potenza.

### **Modulo fotovoltaico**

Insieme di celle fotovoltaiche collegate tra loro in serie o in parallelo, così da ottenere valori di tensione e corrente adatti ai comuni impieghi, quali la carica di una batteria. Nel modulo le celle sono protette dagli agenti atmosferici da un vetro sul lato frontale e da materiali isolanti e plastici sul lato posteriore.

### **Net metering**

Conteggio dell'energia prodotta da un impianto FV e immessa nella rete elettrica comune in rapporto con la quantità di energia normalmente utilizzata dall'utente finale. Il termine indica in generale il sistema utilizzato dagli impianti FV non isolati, che immettono direttamente la corrente elettrica prodotta nella rete elettrica comune.

### **NOCT (Nominal Operating Cell Temperature - Temperatura nominale di lavoro della cella)**

Temperatura media di equilibrio di una cella solare all'interno di un modulo quando viene esposto ad un irraggiamento di  $800 W/m^2$ , una temperatura ambiente di  $20\text{ }^\circ\text{C}$ , una velocità del vento di  $1\text{ m/s}$ , essendo elettricamente a circuito aperto ed installato su un telaio, in modo tale che a mezzogiorno solare i raggi incidano normalmente sulla sua superficie esposta. Poiché all'aumentare della temperatura del modulo la resa diminuisce, più la NOCT si allontana dalla temperatura ambiente, più l'energia che viene effettivamente prodotta diminuisce.

### **Protezioni di interfaccia**



Sistema di protezioni in grado di agire sul dispositivo di interfaccia scollegando l'impianto FV dalla rete. Le protezioni di sopra/sotto tensione e di sopra/sotto frequenza intervengono a seguito di malfunzionamenti della rete che non consentono il normale esercizio degli inverter in parallelo ad essa.

### **Potenza nominale o di picco o di targa (Wp)**

Potenza elettrica (espressa in Wp) prodotta da un generatore fotovoltaico misurata in condizioni standard di funzionamento (irraggiamento di  $1.000 \text{ W/m}^2$  e temperatura  $25^\circ \text{C}$ ).

### **Piranometro**

Strumento, basato su un sensore a termopila, che viene utilizzato per la misurazione dell'irraggiamento solare globale su un piano di captazione, orizzontale o obliquo.

### **Radiazione diffusa**

Parte della radiazione solare ricevuta da tutte le direzioni, dopo la riflessione e la dispersione da parte dell'atmosfera, da un pannello solare (superficie di captazione).

### **Radiazione diretta**

Parte della radiazione solare che colpisce direttamente, con uno specifico angolo d'incidenza, la superficie di un pannello solare (superficie di captazione).

### **Radiazione globale**

È l'insieme della radiazione diretta, della radiazione diffusa e dell'albedo.

### **Radiazione riflessa**

V. albedo

### **Radiazione solare ( $\text{kWh/m}^2$ )**

Energia elettromagnetica che viene emessa dal sole in seguito ai processi di fusione nucleare che in esso avvengono. La radiazione solare (o energia) al suolo viene misurata in  $\text{kWh/m}^2$  ed è l'integrale dell'irraggiamento solare su un periodo di tempo specificato.

### **Resa energetica finale dell'impianto FV $Y_f$ (ore/giorno o hd-1)**

È quella porzione di energia giornaliera netta in uscita dall'intero impianto fotovoltaico che è stata fornita per ogni kW installato del generatore fotovoltaico. Rappresenta il numero di ore al giorno per cui il generatore FV dovrebbe funzionare alla sua potenza nominale per eguagliare l'energia netta rilevata al carico.

### **Resa energetica di riferimento $Y_r$ (ore/giorno o hd-1)**

È ricavata dividendo la radiazione totale giornaliera sul piano dei moduli per l'irraggiamento in condizioni standard. Rappresenta il numero di ore al giorno per cui la radiazione solare dovrebbe essere ai livelli dell'irraggiamento di riferimento per apportare la stessa energia incidente monitorata sul piano dei moduli.



### **Rapporto di Prestazione ( $R_p = Y_f / Y_r$ )**

Indica l'effetto complessivo delle perdite sulla potenza nominale di uscita del generatore fotovoltaico, dovute alla temperatura dei moduli, allo sfruttamento incompleto della radiazione solare, alle inefficienze o guasti dei componenti del sistema.

### **Scatola di giunzione (o cassetta di terminazione)**

Contenitore a tenuta stagna, costruito normalmente in materiale plastico, fissato sul retro di un modulo fotovoltaico e contenente la morsettiera per il collegamento elettrico del polo positivo e del polo negativo e dei diodi di by-pass.

### **Silicio (Si)**

Elemento chimico semiconduttore, non presente in natura allo stato libero, di colore grigio usato per costruire celle fotovoltaiche.

### **Silicio amorfo**

Tipo di silicio che non ha struttura cristallina. È usato per la costruzione di celle fotovoltaiche di spessore anche un centinaio di volte inferiore a quello delle tradizionali celle in silicio cristallino per deposizione di film sottili.

### **Solarimetro**

Strumento, basato su sensori al silicio, utilizzato per la misurazione dell'irraggiamento solare su un piano di captazione.

### **Stringa fotovoltaica**

Insieme di moduli fotovoltaici collegati elettricamente in serie per ottenere la tensione d'uscita desiderata.



