

Impianti Fotovoltaici

IMPIANTI FOTOVOLTAICI

1

LA RADIAZIONE SOLARE E L'IRRAGGIAMENTO

2

PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

- L'effetto fotovoltaico
- Celle e moduli
- Il generatore fotovoltaico

3

CLASSIFICAZIONE IMPIANTI

- Sistemi isolati
- Sistemi connessi in rete

IMPIANTI FOTOVOLTAICI

Un impianto fotovoltaico trasforma direttamente ed istantaneamente l'energia solare in energia elettrica senza l'utilizzo di alcun combustibile.

È una conversione DIRETTA



IMPIANTI FOTOVOLTAICI

VANTAGGI:

I principali vantaggi degli impianti fotovoltaici possono riassumersi in:

- assenza di emissione di sostanze inquinanti
- risparmio di combustibili fossili
- ridotti costi di esercizio e manutenzione
- modularità del sistema (per incrementare la potenza dell'impianto e sufficiente aumentare il numero di pannelli) secondo le reali esigenze dell'utente.
- generazione distribuita nel luogo dove serve
- miglioramento dell'affidabilità dal punto di vista dell'approvvigionamento del servizio di fornitura dell'energia

IMPIANTI FOTOVOLTAICI

SVANTAGGI:

I principali svantaggi degli impianti fotovoltaici possono riassumersi in:

- il costo iniziale per la realizzazione di un impianto fotovoltaico è ancora piuttosto elevato
- la produzione è discontinua ed aleatoria a causa della incertezza legata alla fonte primaria (condizioni meteorologiche variabili in maniera aleatoria che influenzano significativamente la presenza della fonte)

LA RADIAZIONE E L'IRRAGGIAMENTO

Un impianto fotovoltaico trasforma direttamente ed istantaneamente l'energia solare in energia elettrica senza l'utilizzo di alcun combustibile.

La produzione elettrica annua di un impianto fotovoltaico dipende da diversi fattori tra cui:

- **radiazione solare incidente** sul sito di installazione
- inclinazione ed orientamento dei pannelli
- presenza o meno di ombreggiamenti
- prestazioni tecniche dei componenti dell'impianto (principalmente moduli ed inverter).

LA RADIAZIONE E L'IRRAGGIAMENTO

Energia dal Sole

Nel nucleo del Sole avvengono incessantemente reazioni di fusione termonucleare a milioni di gradi che liberano enormi quantità di energia sotto forma di radiazioni elettromagnetiche. Parte di questa energia raggiunge l'esterno dell'atmosfera terrestre:

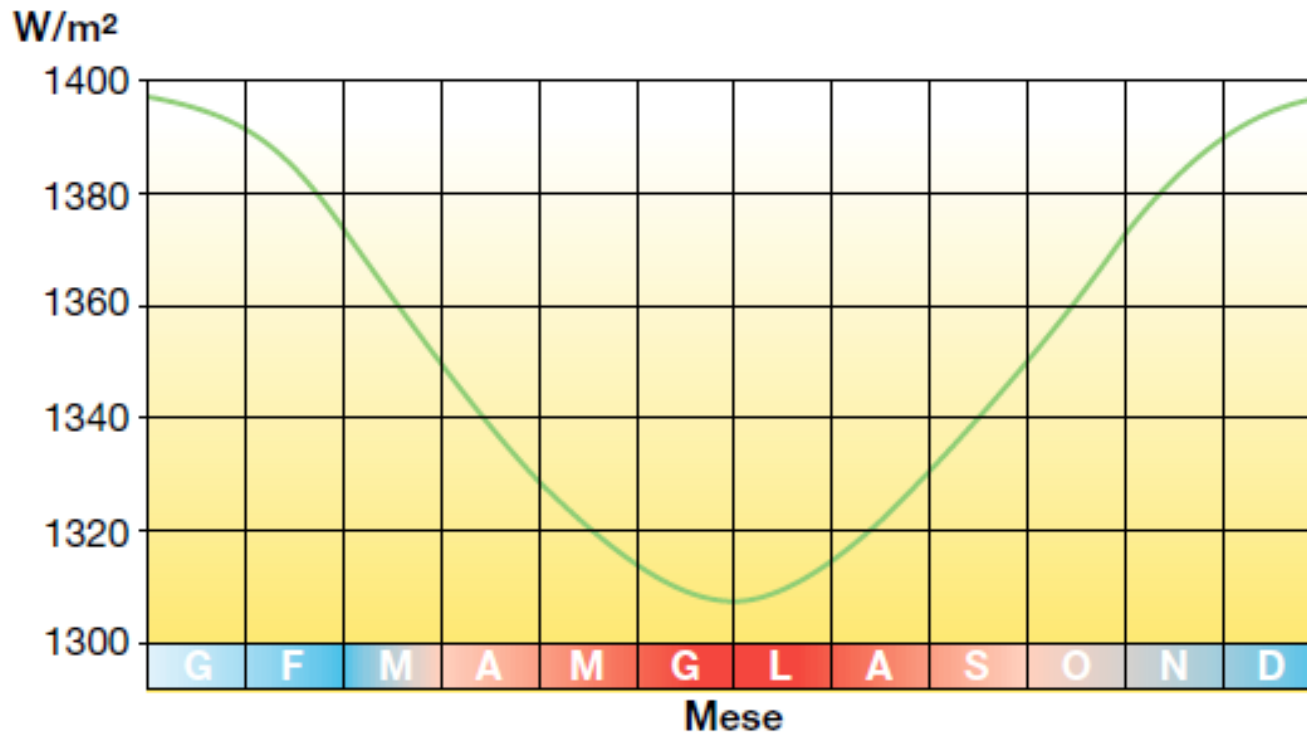
Irraggiamento solare

Fuori l'atmosfera terrestre la potenza (***irraggiamento solare***) incidente su di una superficie unitaria, perpendicolare ai raggi solari, assume un valore di circa **1360 W/m²** (variabilità del $\pm 3\%$ dovuta all'ellitticità dell'orbita terrestre), questo valore prende il nome di **Costante Solare**

LA RADIAZIONE E L'IRRAGGIAMENTO

Energia dal Sole

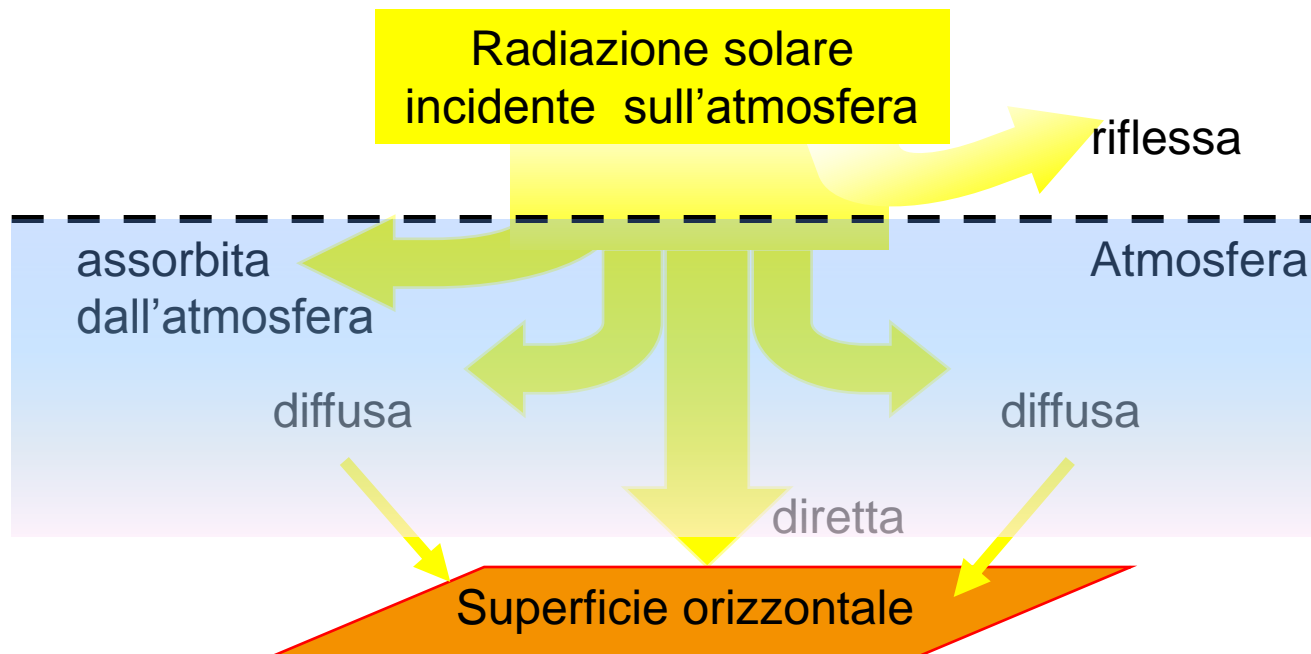
A causa dell'orbita ellittica, la Terra si trova alla minima distanza dal Sole (perielio) a dicembre-gennaio ed alla massima distanza (afelio) nei mesi di giugno-luglio



LA RADIAZIONE E L'IRRAGGIAMENTO

Radiazione Solare [kWh/m²]

Per **radiazione solare** s'intende l'integrale dell'irraggiamento solare su un periodo di tempo specificato [kWh/m²]. È l'Energia che l'unità di superficie riceve dal sole in un determinato intervallo di tempo

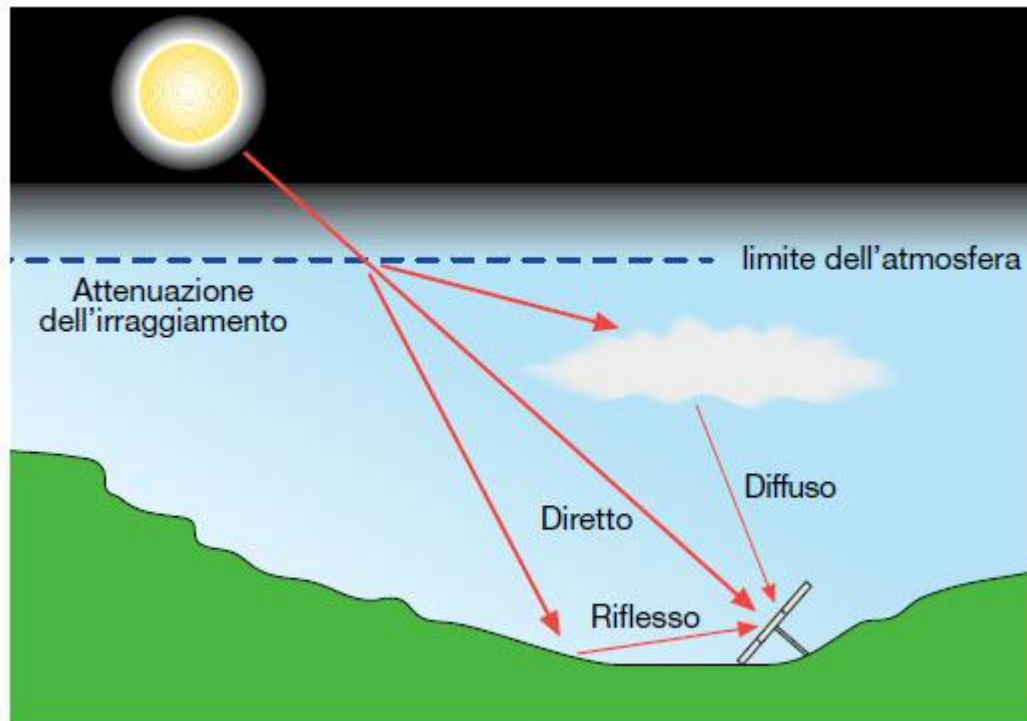


$$\begin{aligned} \text{Radiazione globale} \\ &= \\ &\text{diretta} \\ &+ \\ &\text{diffusa} \end{aligned}$$

LA RADIAZIONE E L'IRRAGGIAMENTO

La **radiazione diffusa** arriva sulla superficie dal cielo in ogni direzione ed è dovuta alla presenza in atmosfera di oggetti che ne ostacolano il passaggio e che determinano una attenuazione e diffusione, appunto, in tutte le direzioni. D'inverno e con il cielo coperto la componente diffusa è molto maggiore di quella diretta.

La **radiazione è riflessa** dal terreno e dall'ambiente circostante ad una data superficie considerata.



LA RADIAZIONE E L'IRRAGGIAMENTO

La **radiazione riflessa** dipende dalla capacità di una superficie di riflettere la radiazione solare e viene misurata tramite il **coefficiente di albedo** calcolato per ciascun materiale.

Tale coefficiente può essere riportato in forma tabellare

Tipo di superficie	albedo
Strade sterrate	0,04
Superfici acquose	0,07
Bosco di conifere d'inverno	0,07
Asfalto invecchiato	0,10
Tetti o terrazzi in bitume	0,13
Suolo (creta, marne)	0,14
Erba secca	0,20
Pietrisco	0,20
Calcestruzzo invecchiato	0,22
Bosco in autunno/campi	0,26
Erba verde	0,26
Superfici scure di edifici	0,27
Foglie morte	0,30
Superfici chiare di edifici	0,60
Neve	0,75

LA RADIAZIONE E L'IRRAGGIAMENTO

Densità di Potenza o irraggiamento [kW/m²]

Radiazione solare per unità di tempo e di superficie.

- Fuori l'atmosfera terrestre la potenza incidente su di una superficie unitaria, perpendicolare ai raggi solari, assume un valore di circa 1360 W/m² (variabilità del ±3% dovuta all'ellitticità dell'orbita terrestre), questo valore prende il nome di Costante Solare
- Sulla superficie terrestre, a livello del mare, **in condizioni meteorologiche ottimali e sole a mezzogiorno**, la densità di potenza è di circa 1000 W/m² (**Irraggiamento standard**)
- **Irraggiamento standard di 1000 W/m²** è quello a cui è riferita la potenza nominale dell'impianto fotovoltaico

LA RADIAZIONE SOLARE IN ITALIA

Radiazione Solare [kWh/m²]

In Italia la radiazione media annuale varia:

- dai 3.6 kWh/m²/giorno della Pianura Padana
- ai 4.7 kWh/m²/giorno del centro sud
- ai 5.4 kWh/m²/giorno della Sicilia.

In località favorevoli del Sud e delle Isole è possibile pertanto raccogliere **annualmente circa 2000 kWh/m²**

Come si calcola la radiazione solare annua?



LA RADIAZIONE SOLARE IN ITALIA

Per calcolare la radiazione solare annua, è necessario introdurre il concetto di: **numero equivalente di ore di utilizzazione N** di un impianto di produzione

In generale, per ottenere **l'energia annua** di un impianto bisogna fare **l'integrale della potenza istantanea** (o oraria) per tutto il periodo di funzionamento annuo (ad esempio 8760 ore)

Il numero di ore equivalenti di utilizzazione dell'impianto consente di caratterizzare l'impianto considerato in maniera più efficace. Infatti, a partire dalla misura di energia annua, al variare degli anni, si può definire il numero di ore equivalenti di utilizzazione medio, come segue:

N è il numero di ore che, moltiplicate per la potenza nominale dell'impianto considerato, fornisce l'energia media prodotta in un anno

LA RADIAZIONE SOLARE IN ITALIA

N **NON** è il numero di ore in un anno (8760) !!!

Esempi:

- ◆ Si consideri nota l'energia media annua prodotta da un impianto E_a . Tale energia è stata prodotta a potenza variabile $P(h)$ in 8760 ore
- ◆ Se $E_a = 4000\text{MWh}$ e l'impianto ha potenza nominale $P_i=2\text{MW}$
- ◆ **$N=2000$ ore**

Nota: per gli impianti di base (che producono sempre a potenza nominale, il numero di ore N è vicina al valore di 8760)

LA RADIAZIONE SOLARE IN ITALIA

IMPIANTO DA FONTE SOLARE

Se in un anno la radiazione solare è mediamente 1300 kWh/m² (energia per unità di superficie), si può assumere che sia dovuta ad un irraggiamento standard pari ad una potenza di impianto di 1 kW/m² per un tempo pari a 1300h (**numero di ore equivalenti**)

Per un impianto da **fonte solare**, se si conosce **la radiazione media annua per unità di superficie** di un certo sito (ad esempio 1300 kWh/m²), si può calcolare il numero di ore N nel modo seguente:

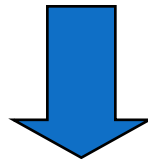
$$N=(1300 \text{ kWh/m}^2)/(1 \text{ kWh/m}^2)=1300 \text{ ore}$$

LA RADIAZIONE SOLARE

Radiazione Solare [kWh/m²]

Energia che l'unità di superficie riceve dal sole in un determinato intervallo di tempo si può ottenere consultando l'atlante solare

Radiazione globale media giornaliera mensile



**Atlante italiano della
radiazione solare**

Sito: www.solaritaly.enea.it

<http://www.solaritaly.enea.it/CalcRggmmOrizz/Calcola1.php>

Come si trasforma l'energia solare in impianto fotovoltaico



PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

La Conversione Fotovoltaica

La conversione diretta dell'energia solare in energia elettrica, utilizza il fenomeno fisico dell'interazione della radiazione luminosa con gli elettroni di valenza nei materiali semiconduttori, denominato *Effetto Fotovoltaico*

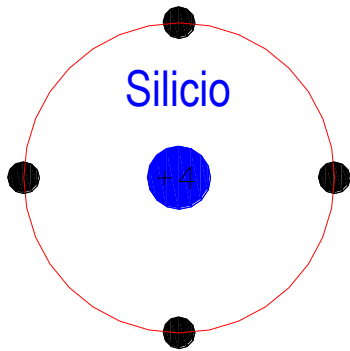


Caratteristiche elettriche
di un semiconduttore

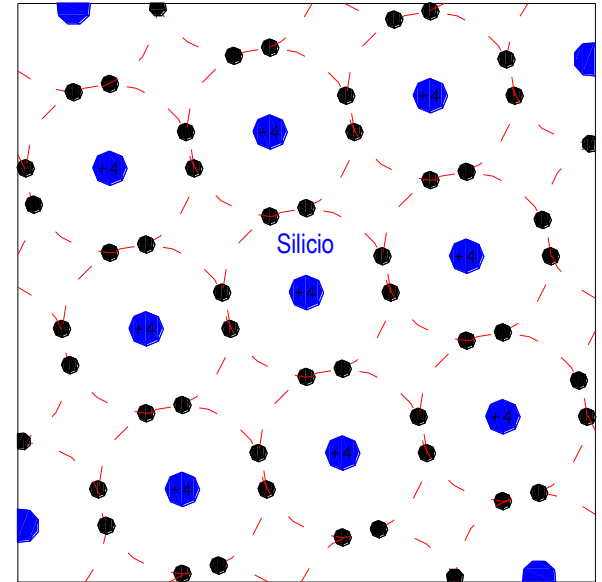
PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

La Conversione Fotovoltaica

L'atomo di silicio possiede 14 elettroni di cui 4 di valenza; in un cristallo di silicio puro ciascun atomo è legato in modo covalente con altri quattro atomi: ogni elettrone di valenza si lega con un elettrone di valenza di un altro atomo.

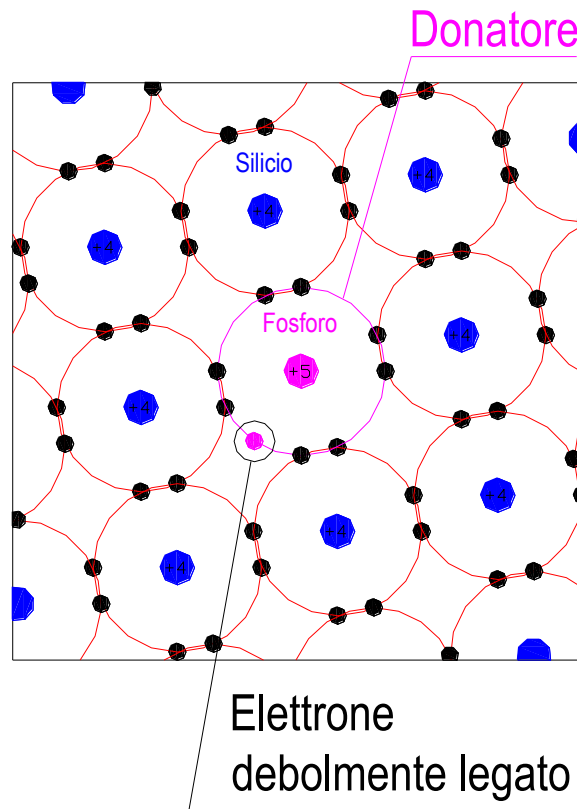


Il passaggio dalla banda di valenza a quella di conduzione avviene trasmettendo all'elettrone una opportuna quantità di energia. In tale passaggio l'elettrone si lascia dietro una buca detta 'lacuna' che può venire occupata da un altro elettrone. Il movimento degli elettroni comporta così anche quello delle lacune.



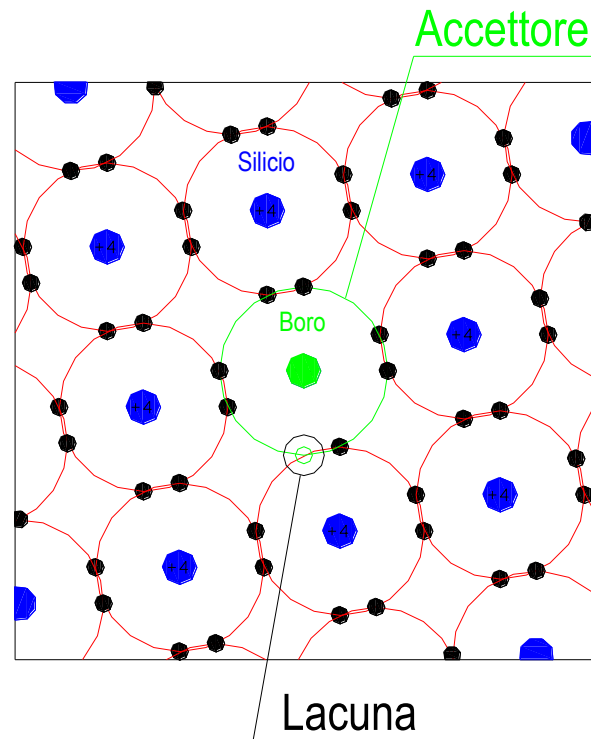
PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

La Conversione Fotovoltaica

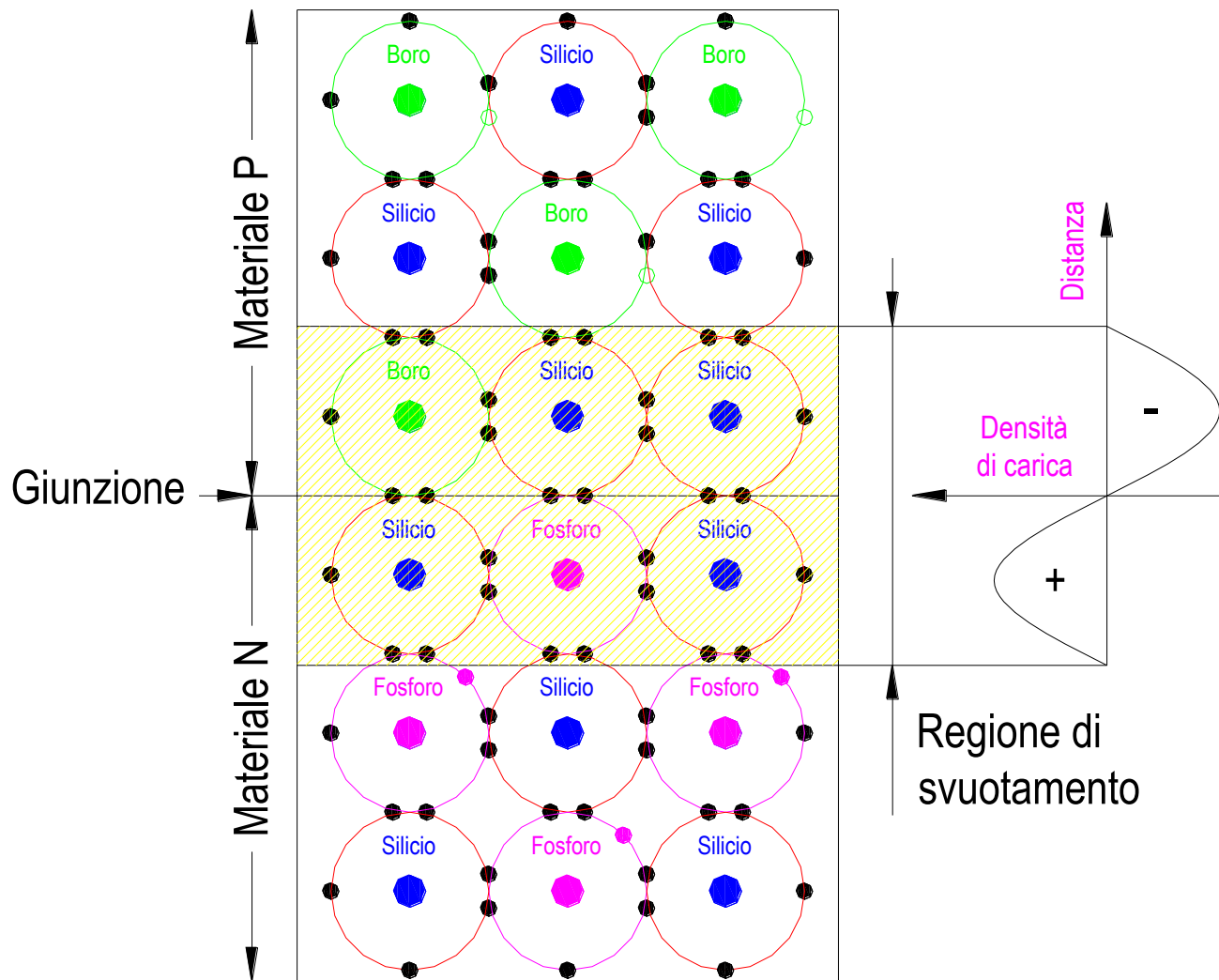


PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

La Conversione Fotovoltaica

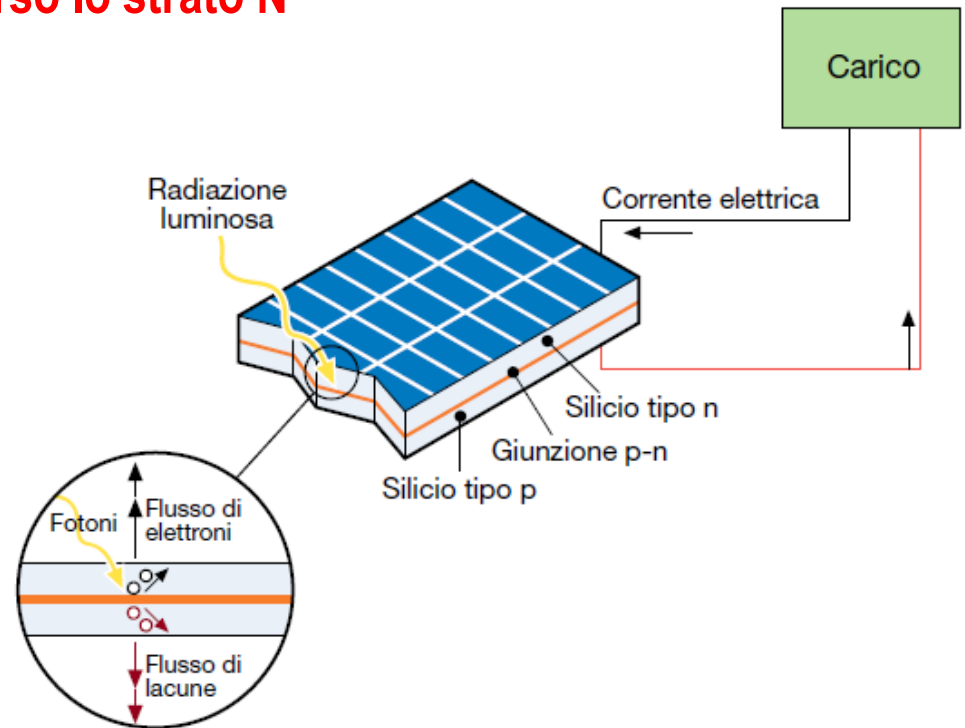


PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO



PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

Quando **la cella è esposta alla luce**, per effetto fotovoltaico, vengono a crearsi delle **coppie elettrone-lacuna sia nella zona N che nella zona P**. Il campo elettrico interno permette di dividere gli elettroni in eccesso dalle lacune, e **li spinge in direzioni opposte gli uni rispetto agli altri**. Gli elettroni, una volta oltrepassata la zona di svuotamento non possono quindi più tornare indietro, perché il campo impedisce loro di invertire il “senso di marcia”. Connettendo la giunzione con un conduttore e carico esterno, si otterrà un circuito chiuso nel quale **la corrente fluisce dallo strato P verso lo strato N**



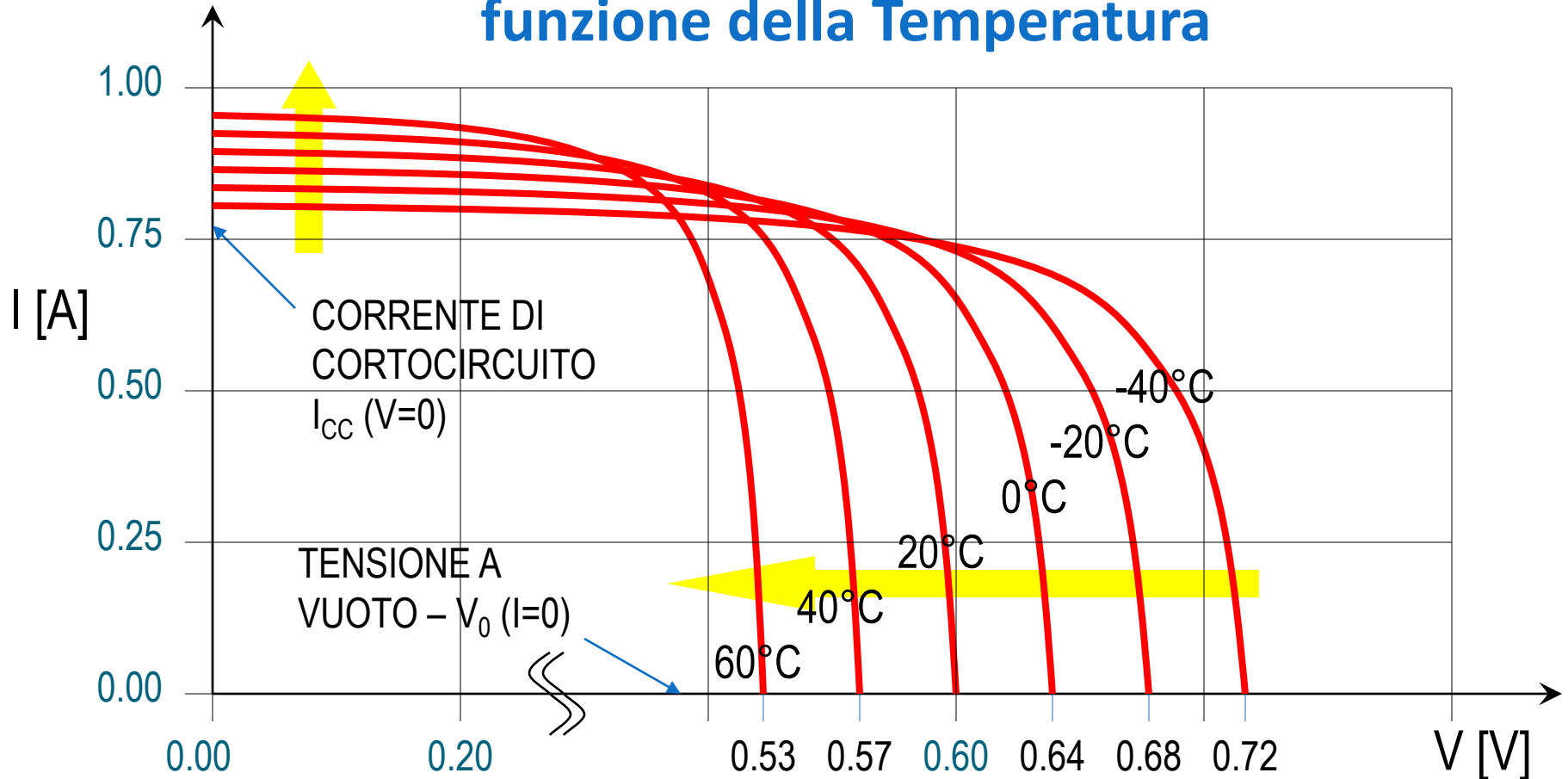
PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

Tipologie di celle fotovoltaiche

- Celle al silicio monocristallino $\eta \approx 13-16\%$
- Celle al silicio policristallino $\eta \approx 11-15\%$
- Celle al silicio amorfo $\eta \approx 5-8\%$

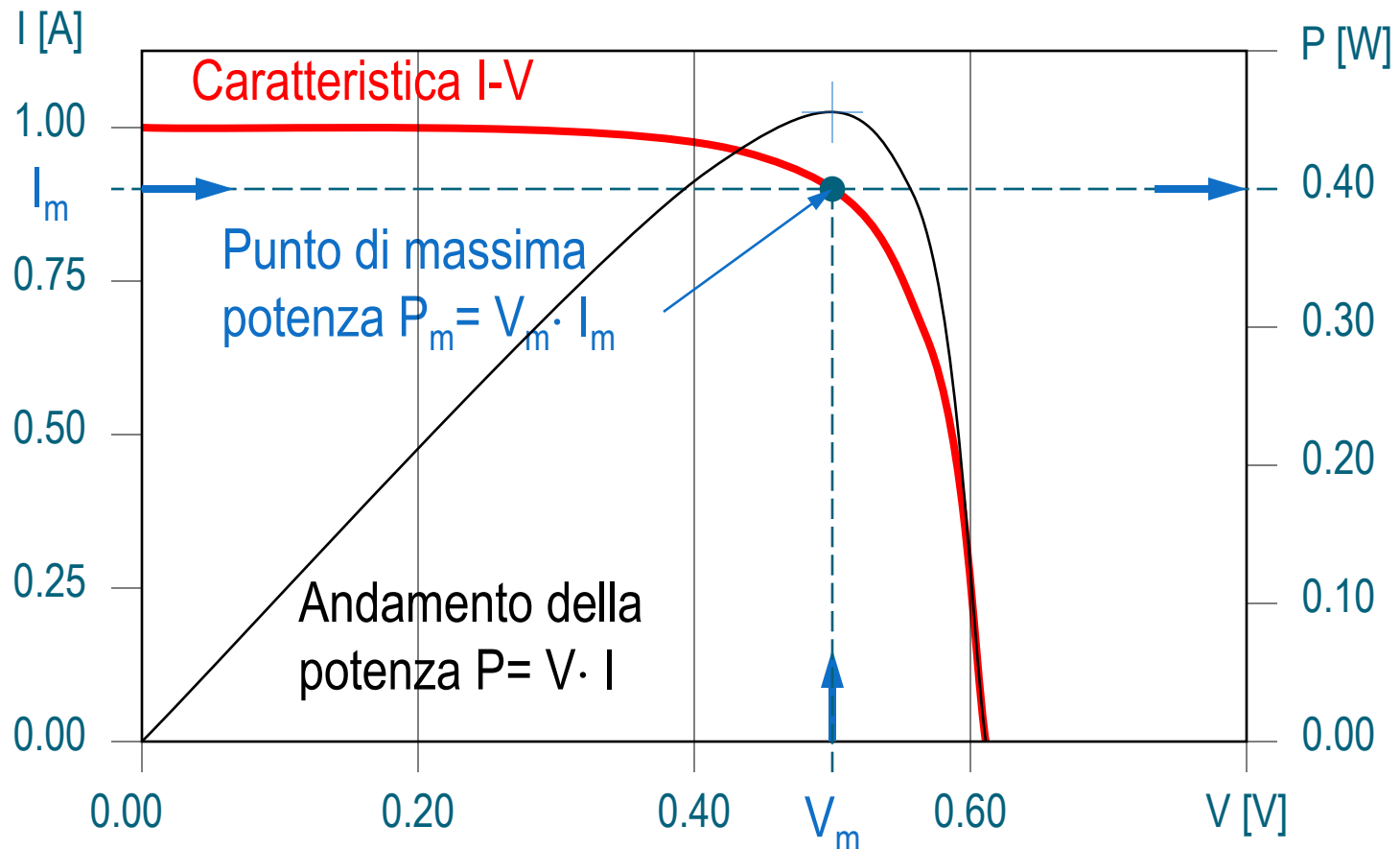
PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

Caratteristica Elettrica (I-V) di una cella fotovoltaica in funzione della Temperatura



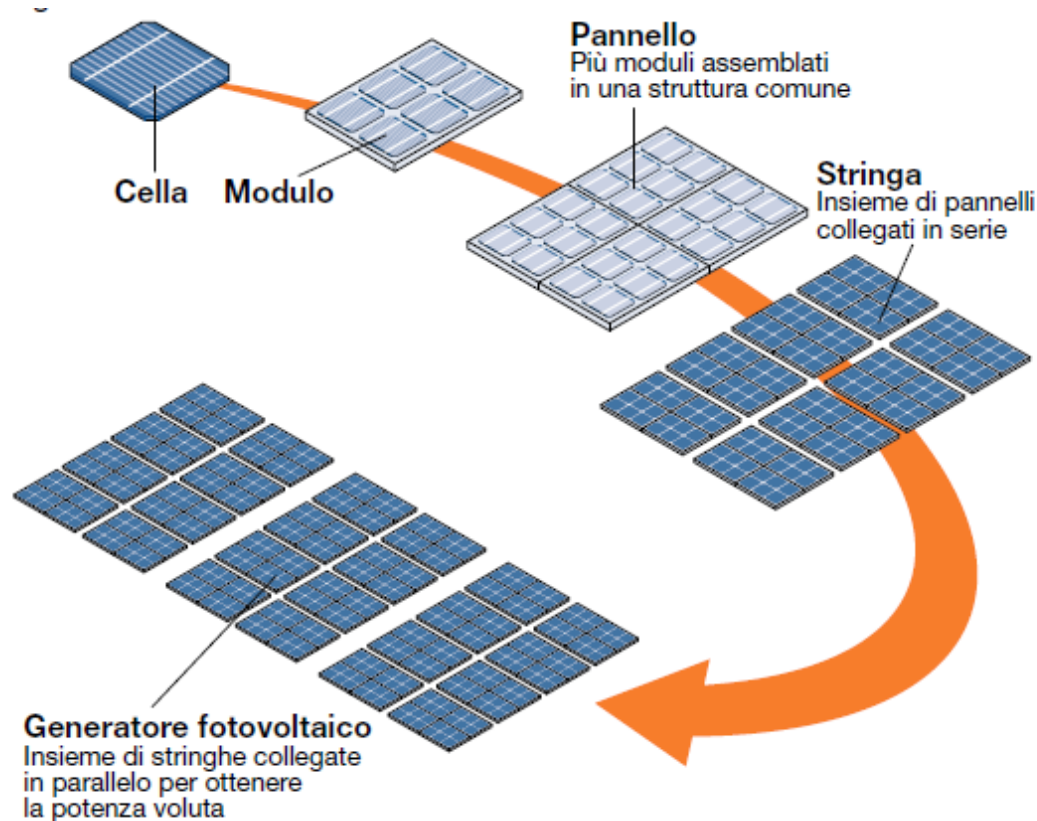
PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

Caratteristica I-V di una Cella Solare ed andamento della Potenza



PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

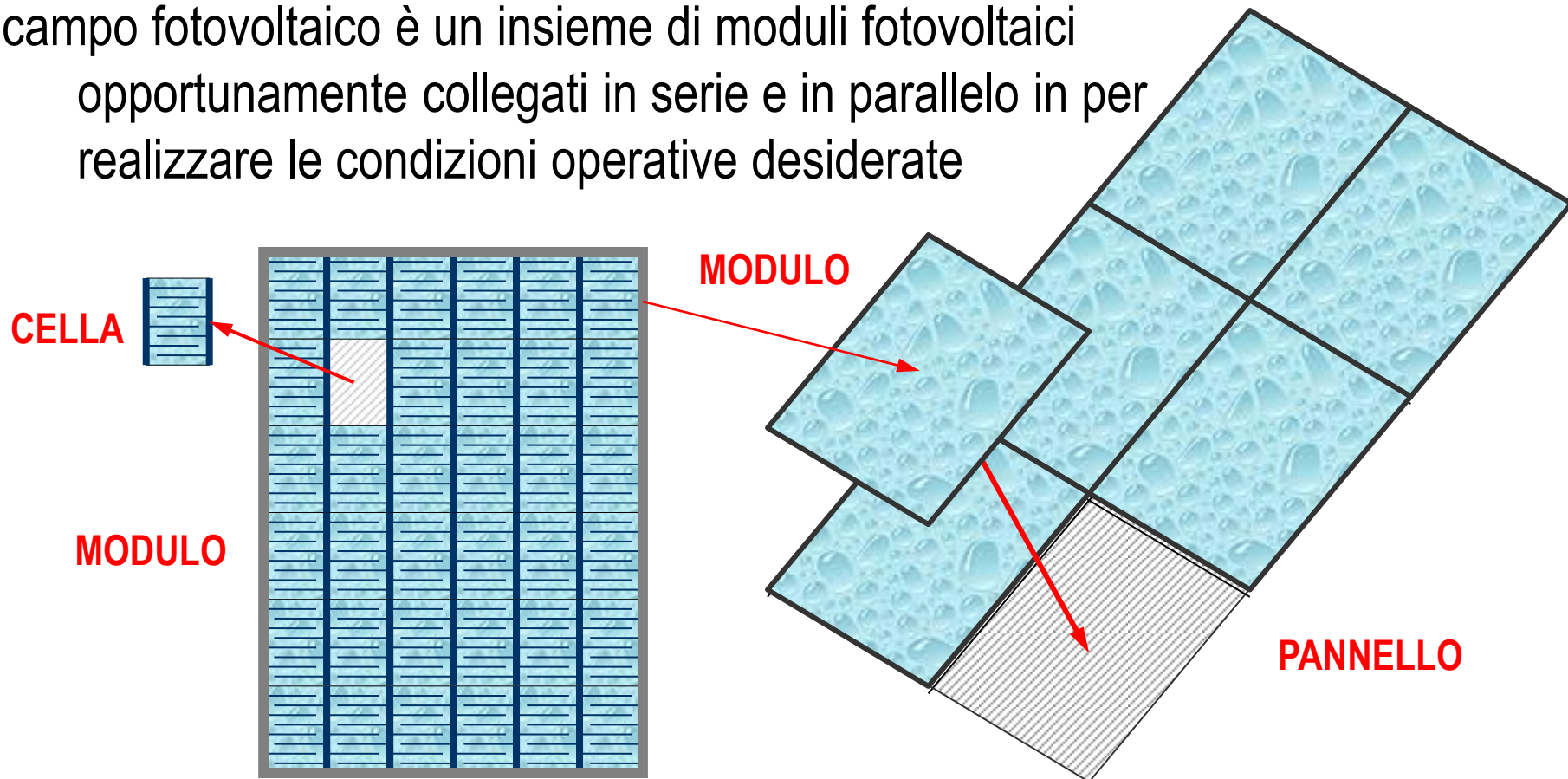
Nelle condizioni di funzionamento standard (irraggiamento di $1\text{kW}/\text{m}^2$ alla temperatura di 25°C) una cella fotovoltaica fornisce una corrente di circa 3A con una tensione di 0.5V ed una potenza di picco pari a $1.5\text{-}1.7\text{ Wp}$.
Troppo poco per i carichi elettrici



PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

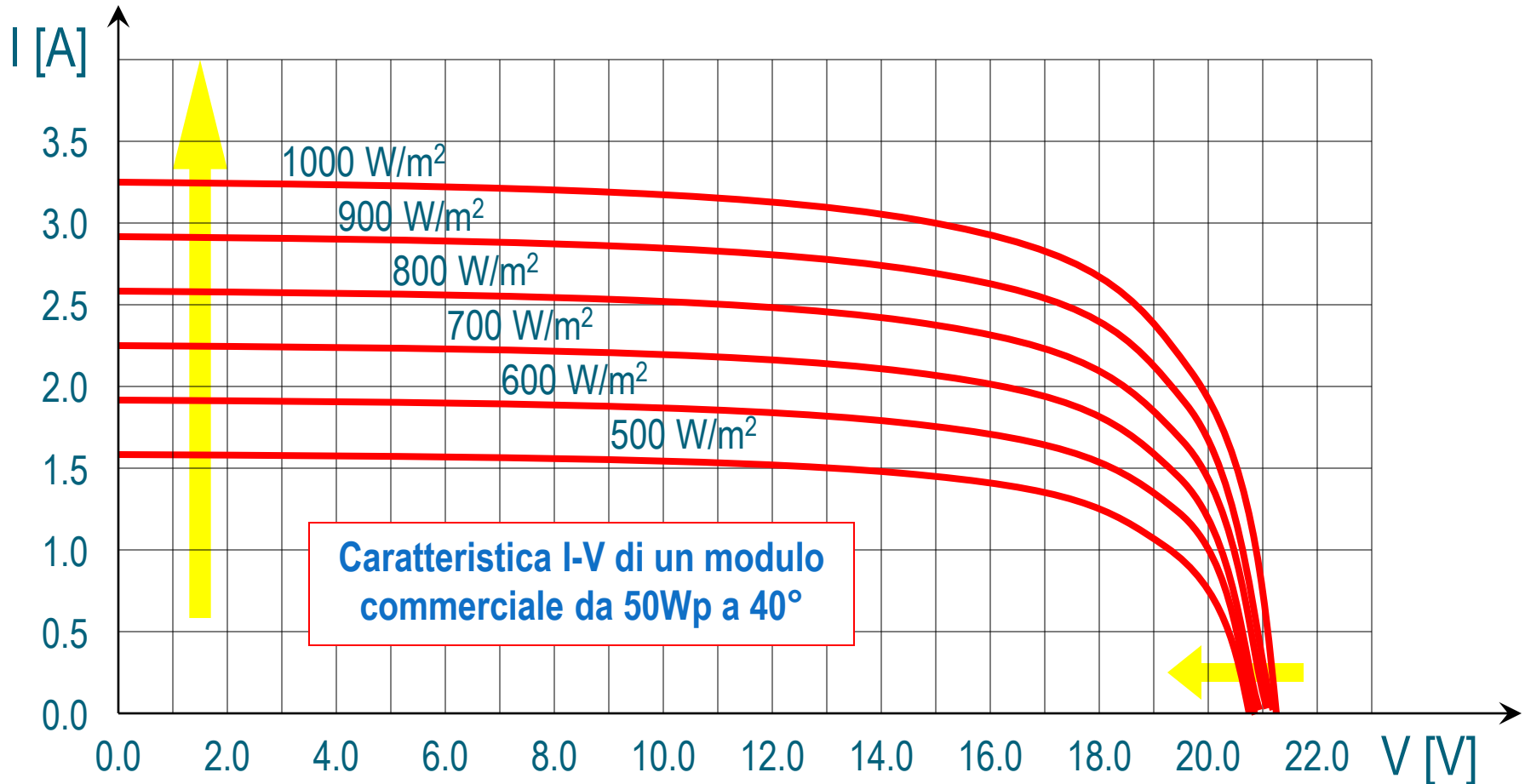
Il Campo Fotovoltaico

Il campo fotovoltaico è un insieme di moduli fotovoltaici opportunamente collegati in serie e in parallelo in per realizzare le condizioni operative desiderate



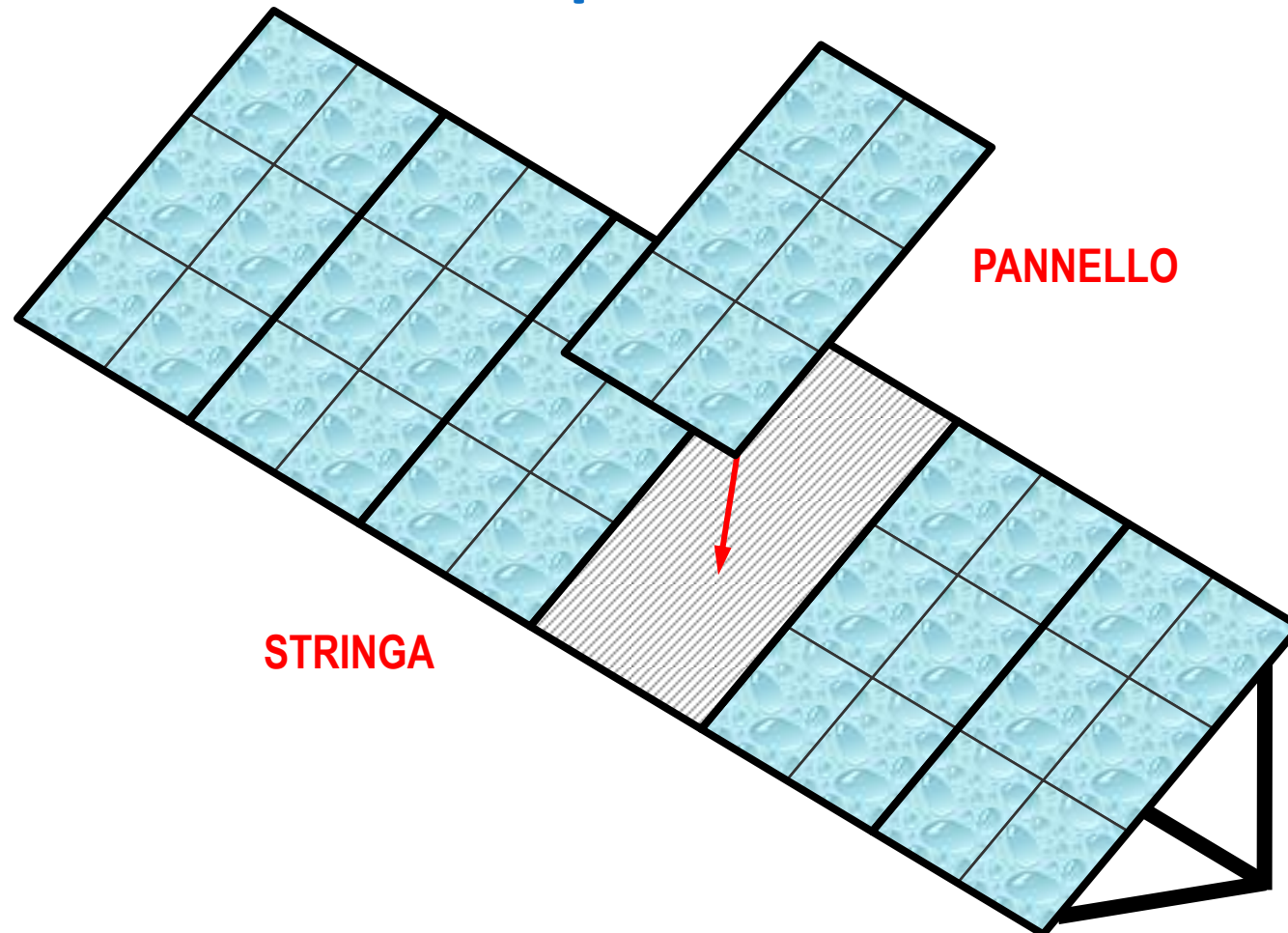
PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

Caratteristica Elettrica (I-V) in funzione dell'irraggiamento



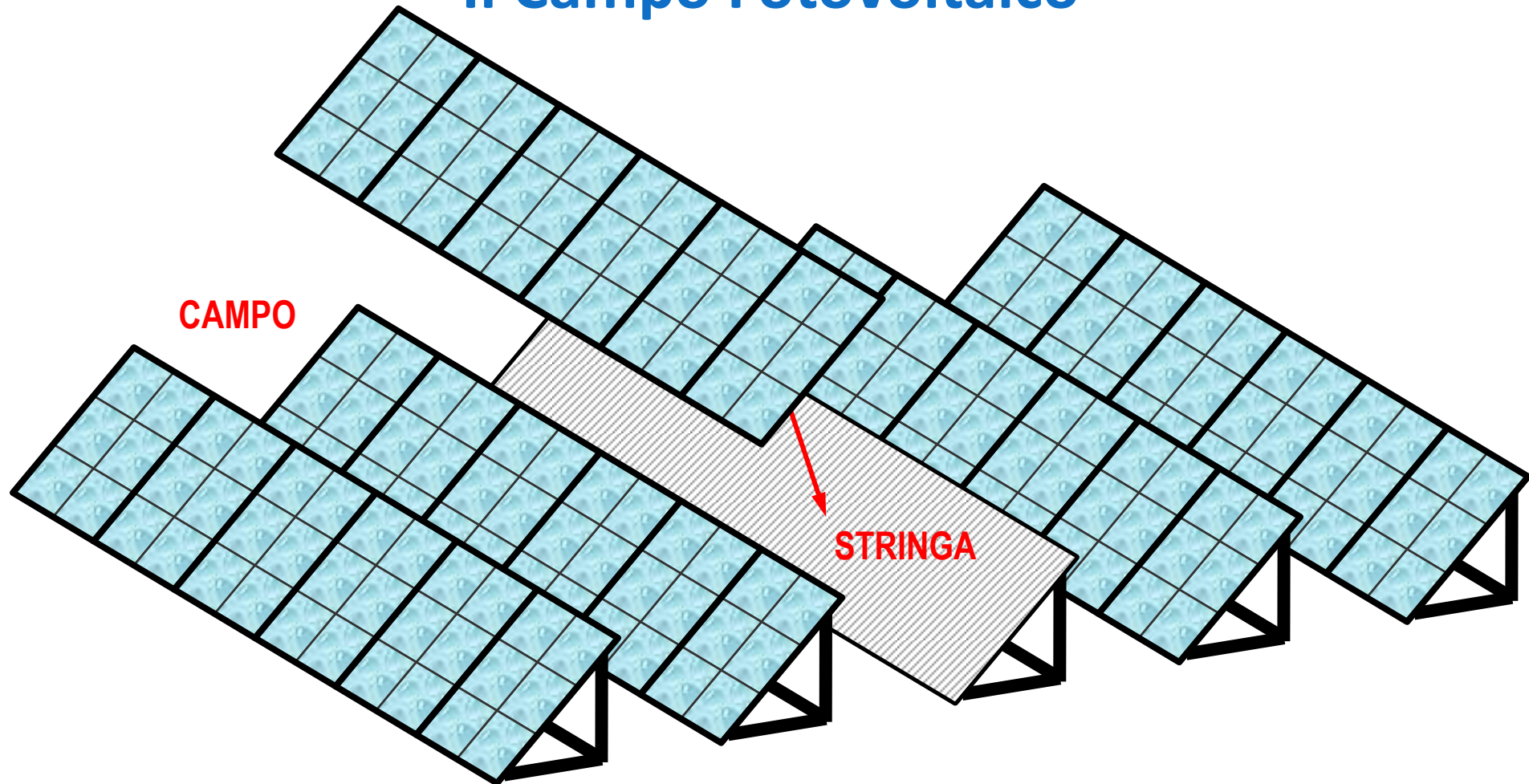
PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

Il Campo Fotovoltaico



PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

Il Campo Fotovoltaico



PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

Il Campo Fotovoltaico

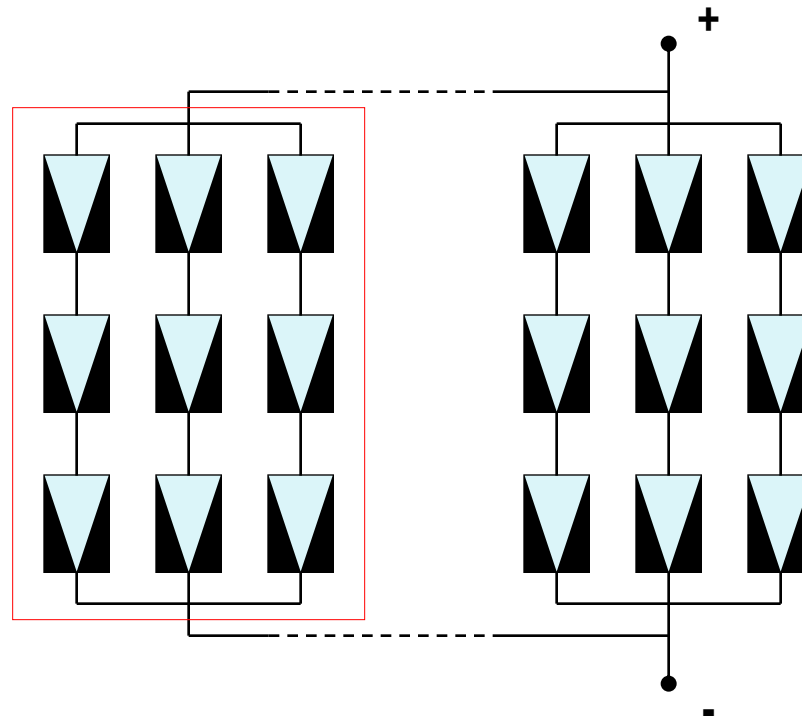
Nella fase di progettazione di un campo fotovoltaico devono essere effettuate alcune scelte che ne condizionano il funzionamento:

1. scelta della tensione di esercizio (configurazione serie-parallelo dei moduli del campo)
2. scelta della strutture di sostegno
3. distanza minima tra le file dei pannelli per non avere ombreggiamento

PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

Il Campo Fotovoltaico

PARALLELI DI SERIE

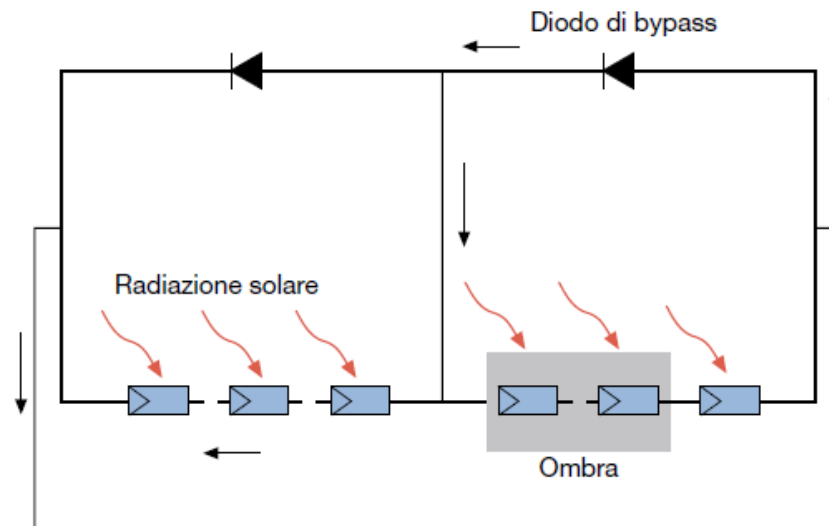


PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

Il Campo Fotovoltaico

Per evitare che una o più celle ombreggiate vanifichino la produzione in un'intera stringa, a livello dei moduli vengono inseriti dei **diodi di by-pass** che cortocircuitano la parte di modulo in ombra o danneggiata. Così facendo si garantisce il funzionamento del modulo pur con un'efficienza ridotta.

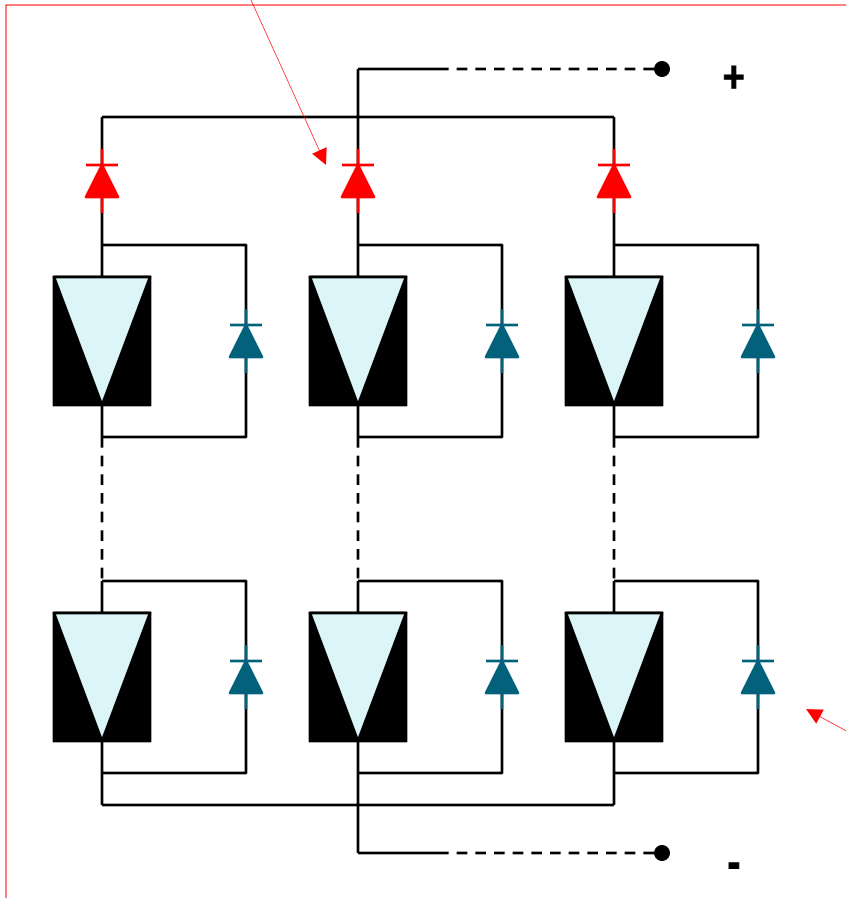
I **diodi di stringa** si usano per isolare tra loro le stringhe ed assicurare che, a seguito di un corto circuito o di ombreggiamenti, le altre stringhe continuino a lavorare indisturbate e non si crei un'inversione di corrente nella stringa inattiva.



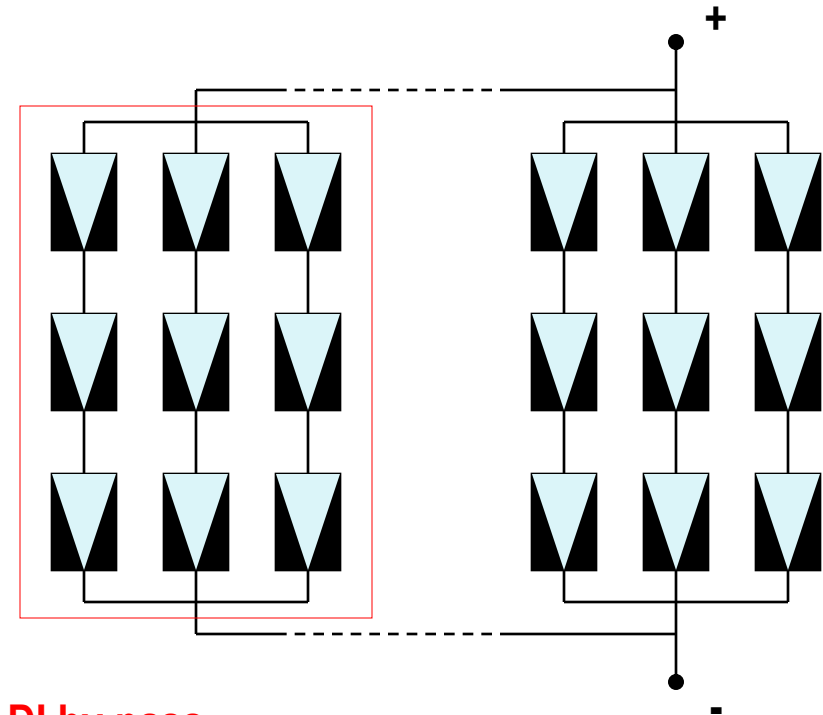
PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

Il Campo Fotovoltaico

DIODO DI STRINGA



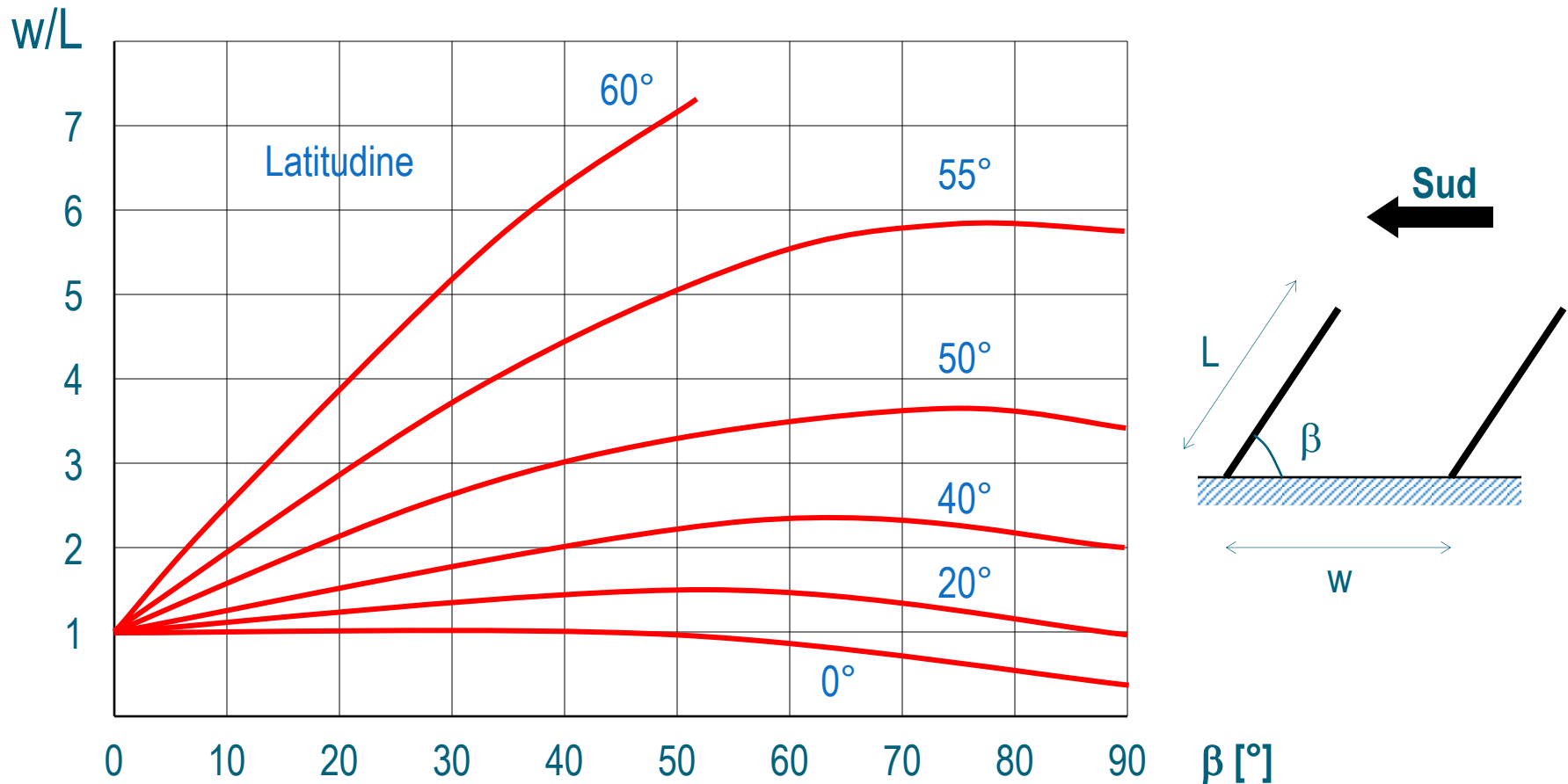
PARALLELI DI SERIE



DIODO DI by pass

PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

(Minima distanza tra le file w) / (Lunghezza dei pannelli L)



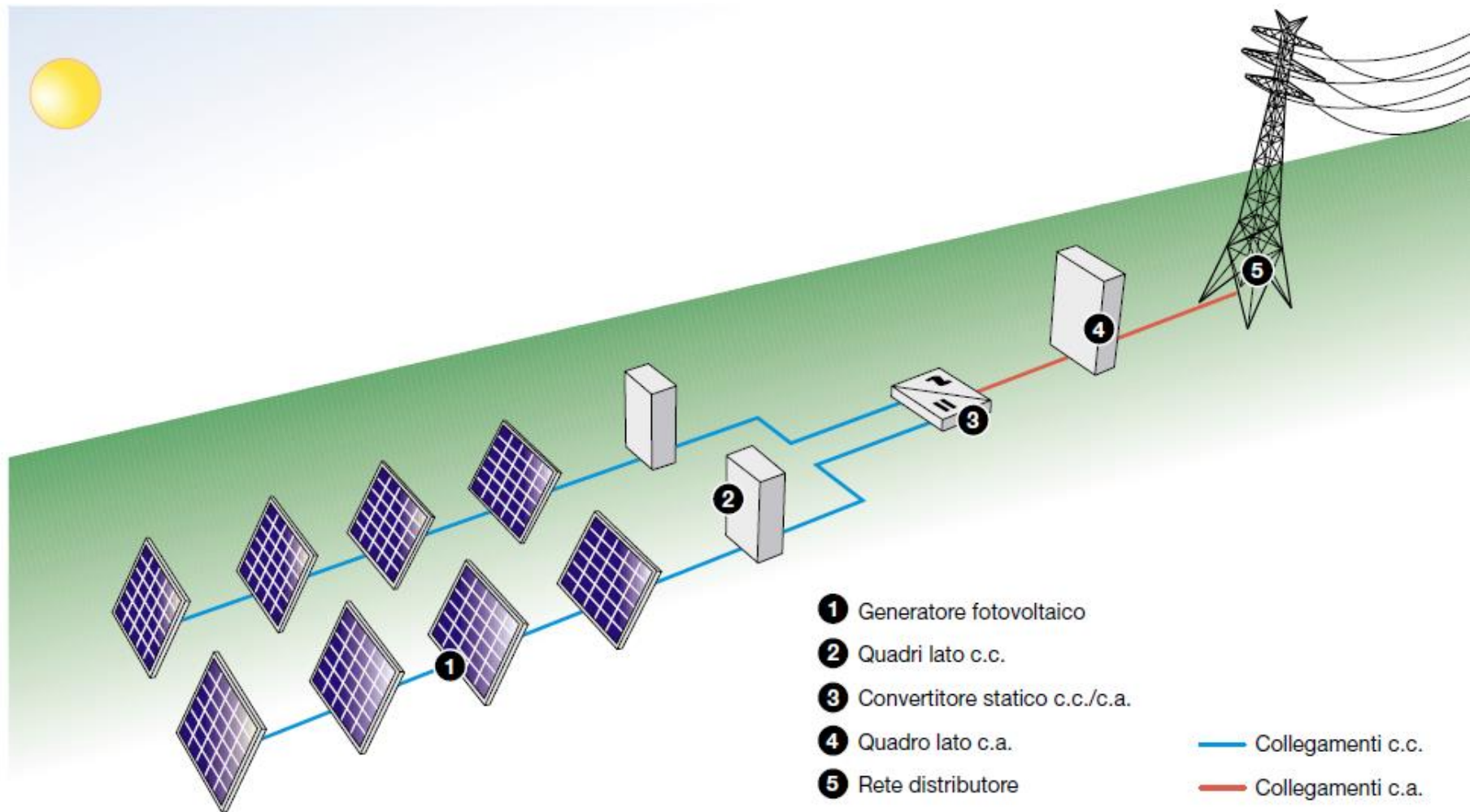
PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

I Sistemi Fotovoltaici

Dal punto di vista delle strutture di sostegno dei moduli, si parla di:

- **Sistemi ad inclinazione fissa**
struttura portante fissa
- • **Sistemi ad inseguimento**
single/double axis tracking systems

PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO



PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

Il Campo Fotovoltaico

Nella ipotesi di singolo inverter di interfaccia, per scegliere il numero di pannelli in serie in una stringa ed il numero di stringhe in parallelo si segue la seguente procedura:

1. A partire dalla tensione a vuoto del singolo pannello e dalla tensione di ingresso dell'inverter si può calcolare il numero di pannelli in serie di una stringa
2. A partire dalla potenza complessiva del campo fotovoltaico e dalla potenza della singola stringa si ricava il numero di stringhe in parallelo da installare

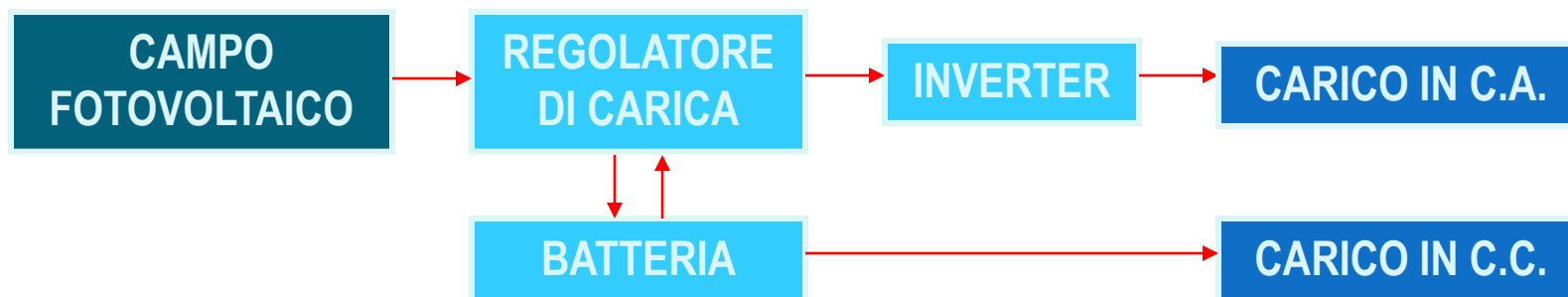
Classificazione impianti

I Sistemi Fotovoltaici – Schemi a blocchi

- Sistema di Pompaggio



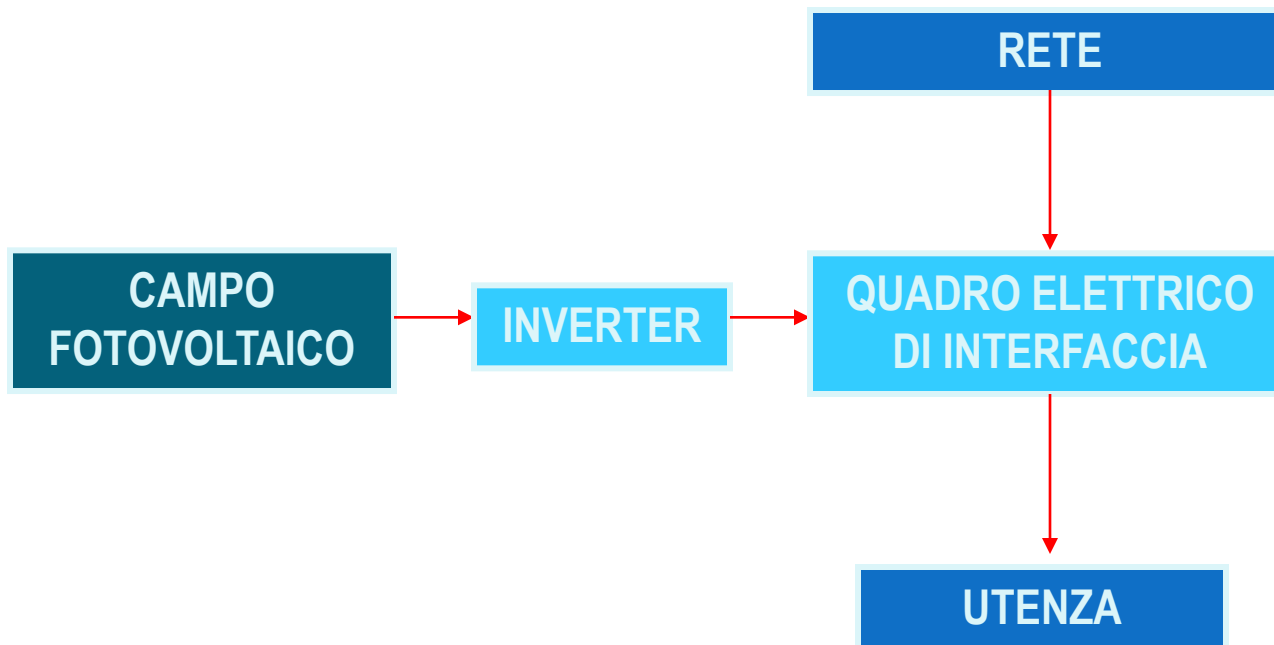
- • Utenza Isolata “Stand alone”



Classificazione impianti

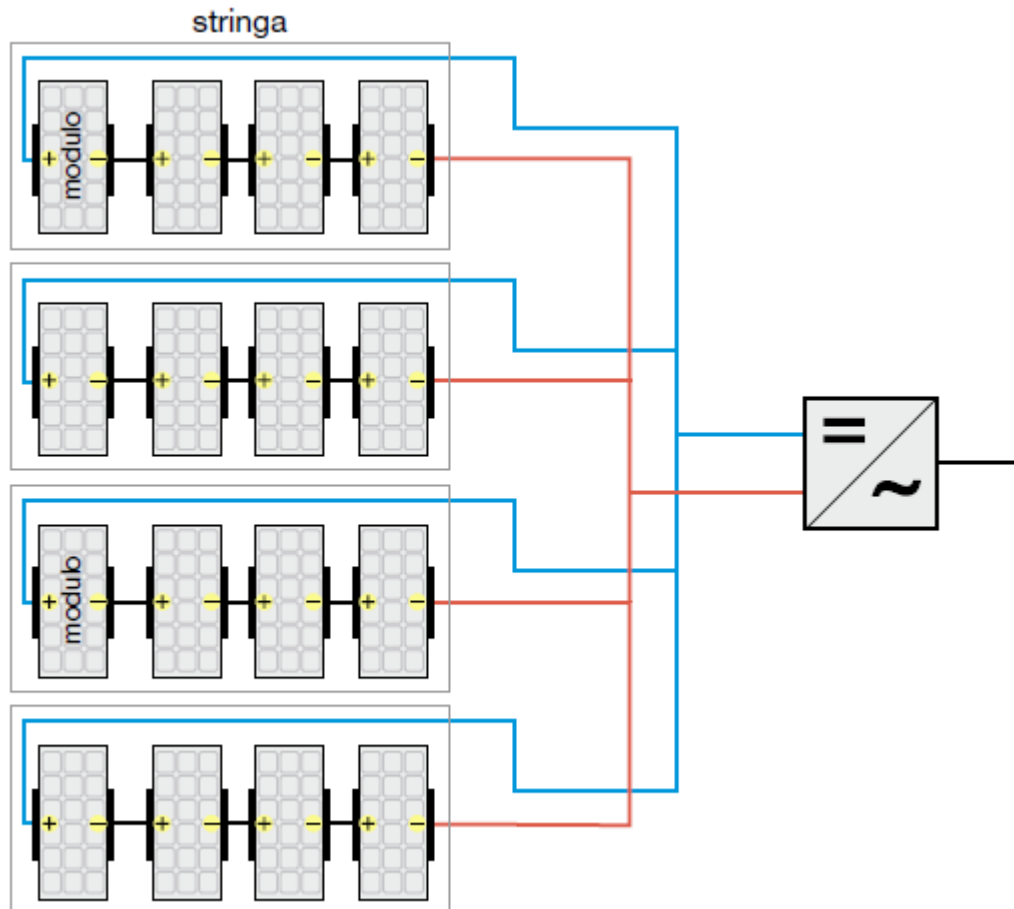
I Sistemi Fotovoltaici – Schemi a blocchi

- Impianto Collegato alla Rete “grid connected”



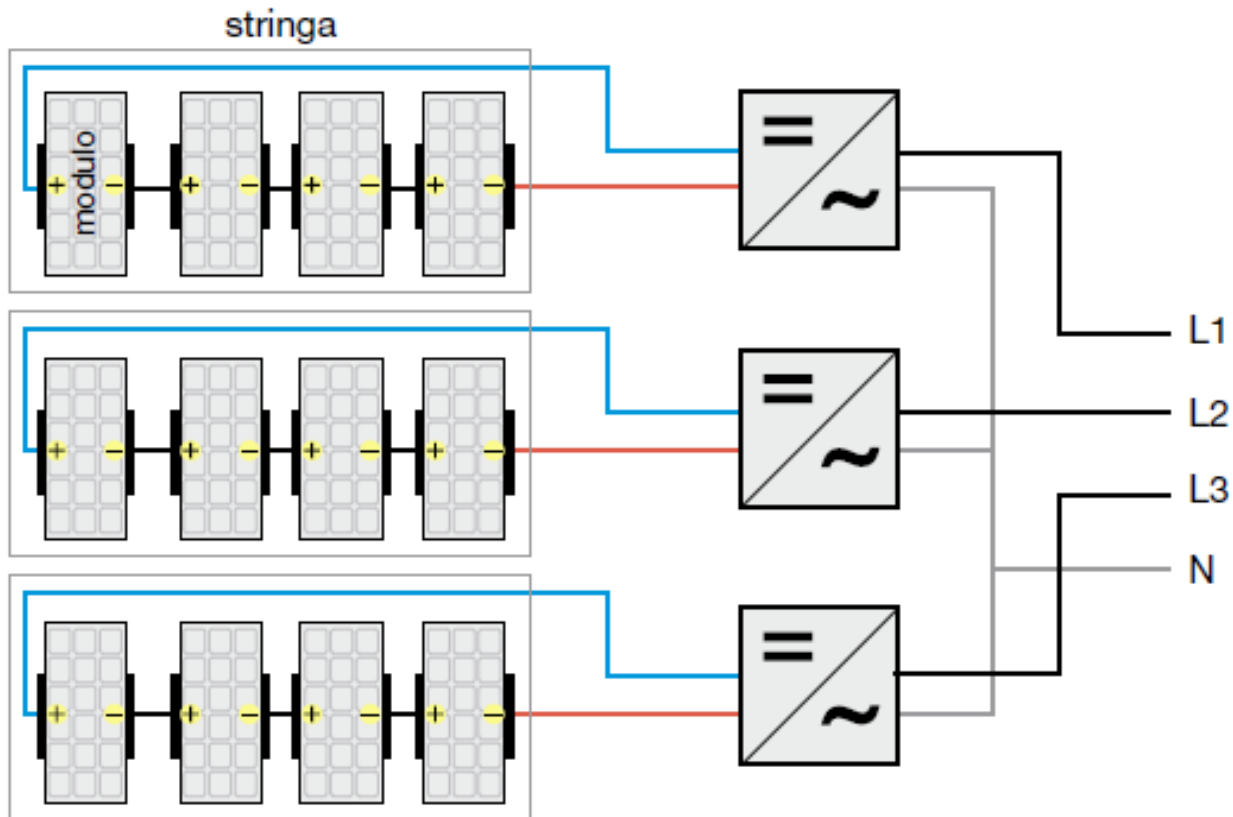
Classificazione impianti

Impianto mono-inverter



Classificazione impianti

Impianto con un inverter per ogni stringa



Classificazione impianti

Impianto multi-inverter

