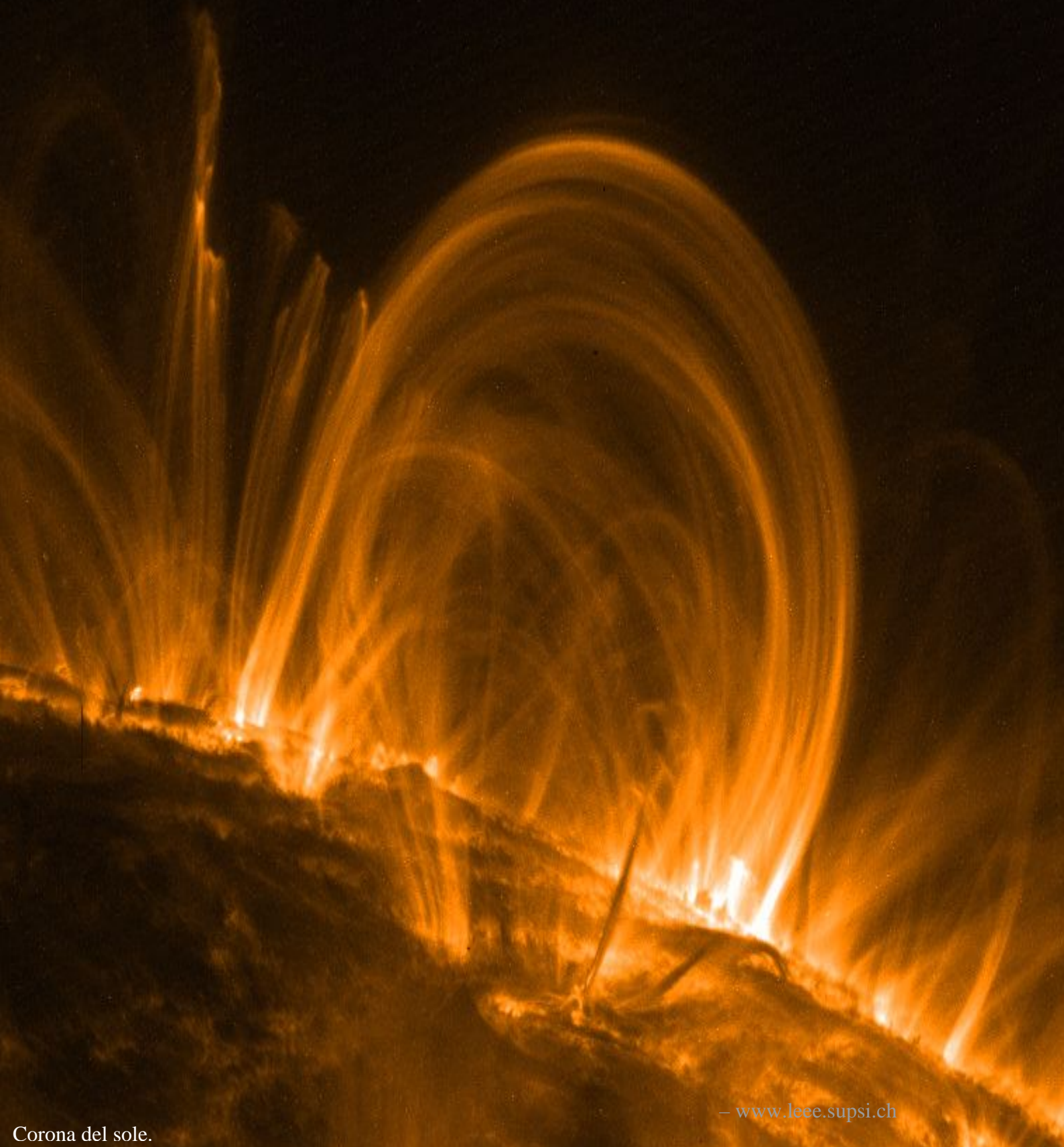


# FOTOVOLTAICO



**Indice:**

Perché installare un tetto fotovoltaico?.....	3
La radiazione solare .....	3
Cosa sono i pannelli fotovoltaici?.....	4
Principio di funzionamento di una cella fotovoltaica .....	5
Moduli e Campi fotovoltaici .....	5
I differenti tipi di celle .....	6
Le caratteristiche principali dei diversi materiali per le celle fotovoltaiche presenti sul mercato .....	7
Principio di funzionamento.....	7
Durata di vita.....	10
Rendimento di una cella fotovoltaica.....	10
Le caratteristiche elettriche di una cella fotovoltaica.....	11
Andamento della caratteristica in funzioni di altri parametri .....	12
Adattamento in potenza: .....	12
Impianti fotovoltaici.....	13
Impianti autonomi (“in isola”): .....	13
Impianti paralleli alla rete: .....	13
Impianti autonomi UPS.....	14
Caratteristiche dei diversi impianti .....	14
La convenienza economica .....	15
Contributi statali.....	15
A livello energetico.....	15
Radiazione solare media sulla terra .....	17
L'efficienza dell'impianto fotovoltaico .....	17
I costi dell'impianto .....	18
I vantaggi dei pannelli solari fotovoltaici .....	19
Sviluppi futuri .....	19
Procedura di progettazione, di realizzazione e di mantenimento di un impianto fotovoltaico.....	20
Da tenere presente prima della nascita di un impianto fotovoltaico .....	20
Consigli sull'esercizio del vostro impianto fotovoltaico .....	20
Alcune definizioni.....	21
Fonti: .....	22

## Perché installare un tetto fotovoltaico?

Prima di tutto rispondiamo a questa semplice domanda: perchè installare un tetto fotovoltaico (FV)?

- Installare sul proprio pannelli fotovoltaici consente di diminuire la propria spesa per l'energia elettrica durante per circa 30 anni (la durata di vita media delle celle fotovoltaiche) o perfino trarne profitto.
- Se l'intera superficie dei tetti di tutta la Svizzera (ca. 400 km<sup>2</sup>) fosse ricoperta di cellule solari, queste, in media durante l'anno, potrebbero coprire l'intero fabbisogno di energia elettrica di tutto il paese. Il potenziale tecnicamente sfruttabile è da cinque a dieci volte inferiore, ma resta comunque significativo.
- L'energia del sole è un'energia pulita e rinnovabile, che permette di abbattere l'immissione di CO<sub>2</sub> nell'ambiente e così diminuire l'effetto serra.



## La radiazione solare

L'energia solare è la fonte di energia primaria per eccellenza. Da essa provengono indirettamente o direttamente quasi tutte le fonti di energia usate dall'uomo!

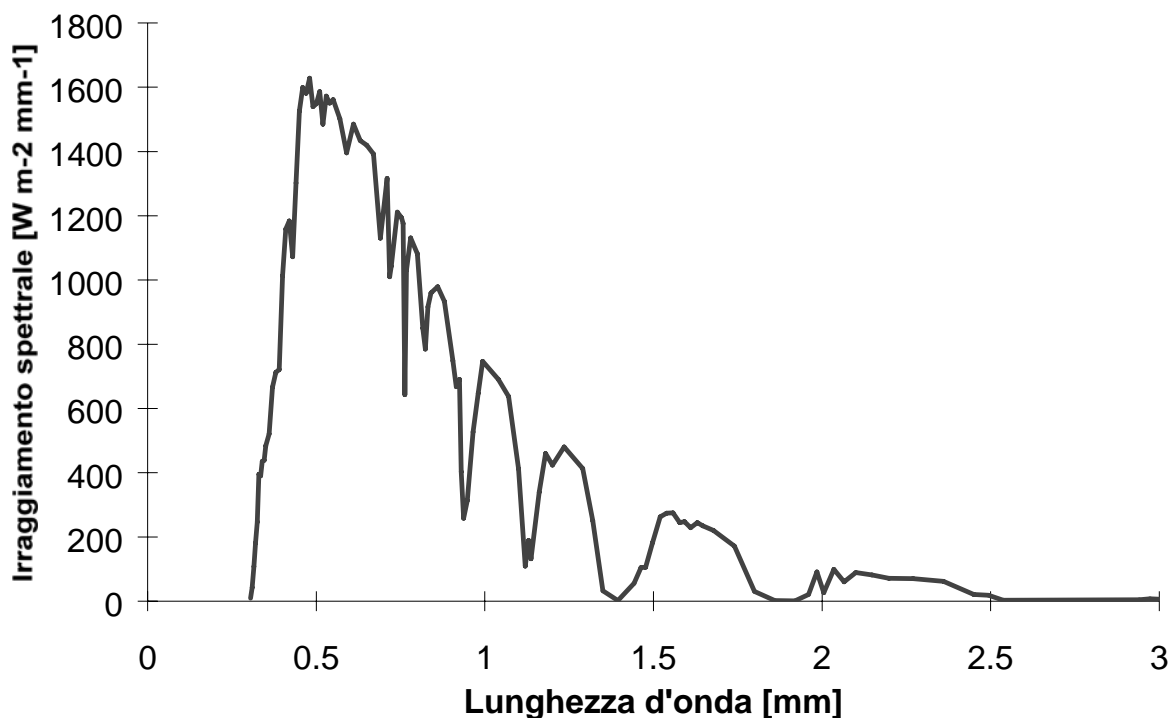
Ogni anno il sole irradia sulla terra 19.000 miliardi di TEP (Tonnellate Equivalenti Petrolio) mentre la domanda annua di energia è di circa 8 miliardi di TEP. In Svizzera la domanda annua è di circa 27 milioni di TEP.

La radiazione solare è l'energia elettromagnetica emessa dai processi di fusione dell'idrogeno contenuto nel sole. L'intensità e la distribuzione spettrale della radiazione solare che arriva sulla superficie terrestre dipendono dalla composizione dell'atmosfera. In ogni modo l'energia solare è concentrata nell'intervallo di lunghezza d'onda da 0,2 - 2,5 micrometri. Irraggiamento extraterrestre ("costante solare") è di circa 1.367 kW/m<sup>2</sup> che colpiscono ogni secondo la nostra terra.

I fisici hanno creato un modello di massa d'aria unitaria AM1 (Air Mass 1) intesa come spessore di atmosfera standard attraversato dai raggi solari in direzione perpendicolare alla superficie terrestre misurato al livello del mare al fine di determinare lo spettro e l'intensità di radiazione solare che colpisce la terra. L'AM1 è modello basato sulla media della penetrazione del sole sulla crosta terrestre. Perciò, questo modello subisce delle lievi variazioni a seconda del luogo a cui si vuole conoscere la radiazione solare.

Nelle nostre latitudini (Svizzera, Italia), è stato definito un modello AM pari a 1,5 il modello unitario (AM1.5).

Da questo è stato possibile ricavare la seguente curva di Irraggiamento spettrale del sole alle nostre latitudini in funzione della lunghezza d'onda.



0,2 - 0,38 micrometri = ultravioletto (6,4% dell'energia totale compresa nello spettro)  
 0,38 - 0,78 micrometri = visibile (48%)  
 0,78 - 10 micrometri = infrarosso (45,6%)

L'intensità massima dell'energia solare è compresa tra 0,5 e 0,55 micrometri.

La zona d'assorbimento dell'irraggiamento solare utile per le celle fotovoltaiche di silicio cristallino comincia a 0,35 micrometri fino a tutto l'infrarosso compreso. In realtà, ogni cella solare non riesce a essere efficiente su tutto lo spettro solare, ma solo in una parte specifica (questo è dovuto al materiale utilizzato e alla struttura fisica dello stesso), provocando il basso rendimento (circa dal 10 la 15%) delle celle solari stesse.

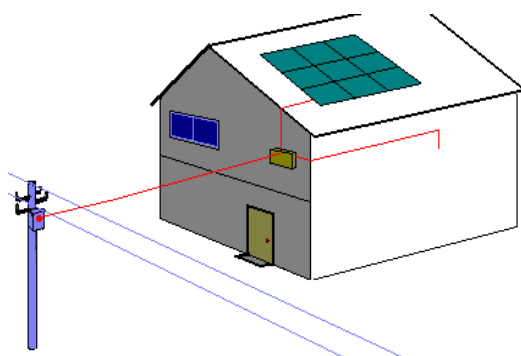
### ***Cosa sono i pannelli fotovoltaici?***

Fino ad adesso abbiamo compreso che il sole è una grande fonte di energia ( $\sim 1\text{kW/m}^2$ ), ma non abbiamo ancora detto come si fa a trasformare l'energia proveniente dal sole in energia più utile e pratica... e eventualmente, cercare di immagazzinarla per le ore notturne o per i giorni poco soleggiati!

I pannelli fotovoltaici sono dei trasduttori (elementi che "trasformano") l'energia solare in corrente elettrica. Lo stesso nome "fotovoltaico" esprime in sé tutto il suo significato, "foto" deriva da "luce", "voltaico" deriva da Alessandro Volta, inventore della batteria.

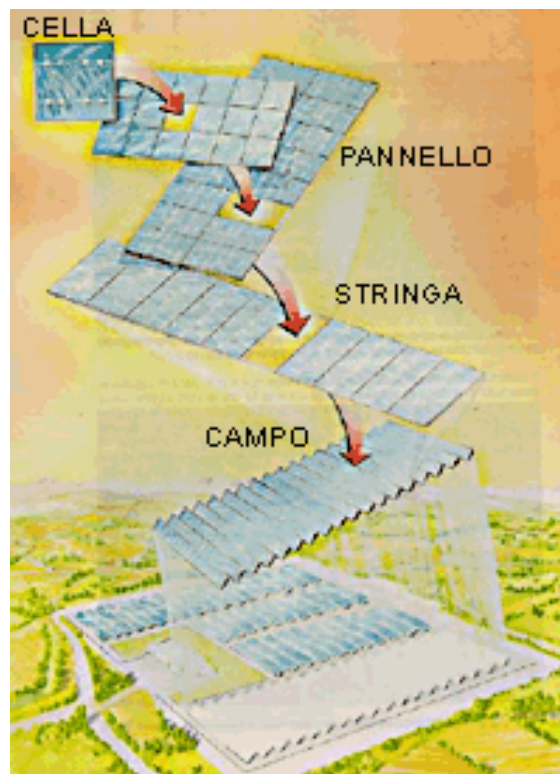
## Principio di funzionamento di una cella fotovoltaica

Alcuni materiali, come il silicio, possono produrre energia elettrica se irradiati dalla luce solare. Le celle fotovoltaiche possono essere installate sui tetti, terreni, terrazzi o ovunque ci sia un irraggiamento diretto dei raggi solari. Questi stanno ottenendo rapidamente il favore di consumatori e famiglie. Il vantaggio è evidente, investendo in un impianto fotovoltaico casalingo si abbatta il costo dell'energia elettrica per almeno 25-30 anni. L'energia elettrica prodotta dai pannelli in eccesso, rispetto ai consumi, viene venduta alla società di corrente elettrica.



## Moduli e Campi fotovoltaici

Le **celle fotovoltaiche** collegate tra loro formano un **modulo fotovoltaico** in grado di trasformare la luce solare direttamente in energia elettrica. Un modulo è costituito tipicamente da 36 celle poste in serie e consente di produrre una potenza di circa 50 Watt e di caricare una batteria da 12V. I moduli fotovoltaici possono essere collegati sia singolarmente che tra loro in serie e in parallelo così da formare *stringe* e *campi fotovoltaici*. Ogni singola cella fotovoltaica può produrre circa 1,5 Watt di potenza a una temperatura standard di 25°C. La potenza caratteristica dal modulo prende il nome di **potenza di picco ( $W_p$ )**, essa viene misurata in condizioni standard **STC** (Standard Test Conditions) di insolazione e di temperatura ( $1.000 \text{ W/m}^2$  e 25°C). Corrisponde grossomodo alla potenza massima ottenibile in un mezzogiorno soleggiato.



## I differenti tipi di celle

Principalmente si differenziano basilarmente tre tipi di celle a seconda della struttura del cristallo: monocristalline, policristalline e amorfe.

Per la produzione di **celle monocristalline** si utilizzano semiconduttori dotati di una struttura altamente pura che ne determina buona parte del loro costo. Dalla massa fusa di silicio si tagliano delle barre monocristalline che vengono in seguito tagliate in sottili placche. Questo metodo di produzione garantisce un assorbimento della luce e la raccolta delle cariche prodotte ottimale.

La produzione di **celle policristalline** è meno onerosa: In questo caso la massa di silicio viene fusa in blocchi, i quali infine vengono tagliati a dischetti. Durante il processo di solidificazione si formano delle strutture cristalline di differenti dimensioni, che presentano sulla loro superficie alcuni difetti. Di conseguenza, il rendimento di questo tipo di celle è inferiore al precedente.

Si parla di celle a **silicio amorfo** o celle a film sottile quando su un substrato di vetro o di altro materiale viene spruzzato un sottile strato di silicio. Lo spessore dello strato di silicio è inferiore a 1  $\mu\text{m}$  (spessore di un capello umano 50-100  $\mu\text{m}$ ): ne risulta un costo del materiale molto basso e di conseguenza un basso costo di produzione. Questo tipo di cellula ha il rendimento minore, ma si adatta anche in caso di irradiazione diffusa. Le cellule amorfe vengono generalmente utilizzate per alimentare apparecchi portabili (orologi, calcolatrici tascabili) o come elementi di facciate fotovoltaiche.

Esistono anche altri tipi di celle solari in commercio e altri in via di sperimentazione come la cella di Graetzel sviluppato dal politecnico di Losanna (EPFL). Una cella molto usata è la cella ad **Arseniurio di Gallio** per il suo ottimo rendimento. Infatti, pur essendo tossica, trova molte applicazioni in satelliti spaziali, dove l'energia del sole è l'unica fonte di energia disponibile e grazie alle sue altre prestazioni diventa possibile ridurre le dimensioni dei pannelli solari. Trova anche applicazioni in pannelli terrestri; per esempio, nel caso dei pannelli parabolici, viene spesso utilizzato un piccolo cristallo in Arseniurio di Gallio posizionato nel punto di focalizzazione del sistema.

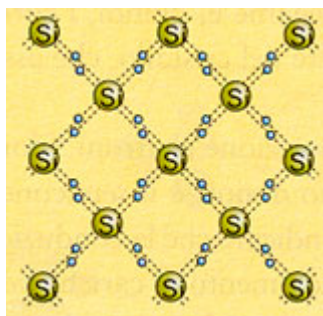
Le celle fotovoltaiche sono fatte da sottili fette di silicio spesse da 0,3 a 0,5 mm di forma circolare, rettangolare o ottagonale. Le due superfici della cella vengono metallizzate per permettere il loro collegamento elettrico. Nella parte da esporre al sole, la metallizzazione assume la forma tipica di una griglia per lasciare dello spazio per la penetrazione della luce solare.

## Le caratteristiche principali dei diversi materiali per le celle fotovoltaiche presenti sul mercato

	Si monocristallino	Si multicristallino	Si amorfo	GaAs	CdTe	CIS (CULNSe <sub>2</sub> )
<b>Rendimento cella</b>	14-17%	12-14%	4-6% singolo 7-10% tandem	32,5% (lab.)	10%	12%
<b>Vantaggi</b>	Alto rendimento stabile tecnologia affidabile	< rendimento costo < fabbricazione più semplice miglior occupazione dello spazio	costo < < necessità di materiale ed energia nella fabbricazione buon rendimento con basso irraggiamento flessibile	Alta resistenza alle alte temperature (ok per i concentratori)	Basso costo	Molto stabile
<b>Svantaggi</b>	Costo E grigia Quantità di materiale necessaria alla fabbricazione Complessità	Complessità Sensibilità alle impurità	Basso rendimento Degradò iniziale Stabilità negli anni	Tossicità Disponibilità del materiale	Tossicità Disponibilità del materiale	Tossicità (Cd)

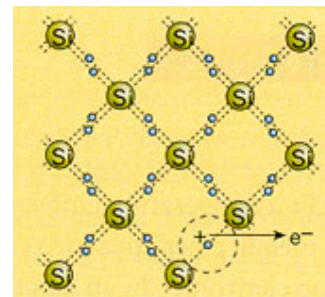
### Principio di funzionamento

Per comprendere il funzionamento di una cella fotovoltaica, dobbiamo inanzitutto comprendere alcune proprietà dei semiconduttori (materiale principale di cui è formato una cella fotovoltaica). Esistono due principali materiali semiconduttori: il silicio (Si) e il germanio (Ge). L'industria attuale utilizza il silicio per la fabbricazione di componenti elettrici, grazie alla sua abbondanza nella crosta terrestre e per l'ottimo grado di purezza con cui si riesce a ottenere.



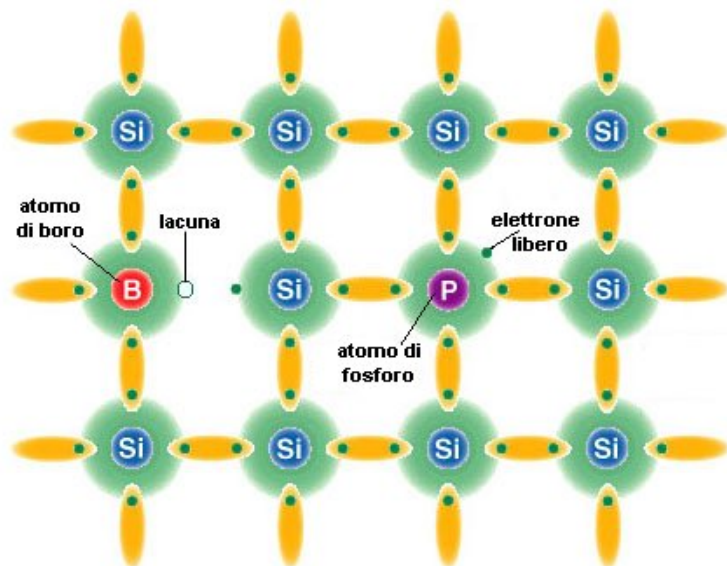
Il semiconduttore è, a basse temperature, un isolante. Infatti, i legami covalenti del reticolo cristallino non presenta alcun elettrone libero da poter condividere, ma sono tutte legate agli atomi vicini.

A temperature più elevate, o per assorbimento di fotoni (processo fotovoltaico), può essere trasferita ad alcuni di questi elettroni di valenza l'energia sufficiente a svincolarli dal legame che li trattiene all'atomo originario. In questo caso si dice che l'elettrone supera la banda proibita, saltando da quella di valenza a quella di conduzione, diventando così libera di migrare nel reticolo. In questo modo, il cristallo perde parte della sua caratteristica isolante.



Raramente in elettronica il semiconduttore puro trova applicazioni; generalmente si droga (inquinandolo, sporcandolo, introducendo nel cristallo delle tracce di altri elementi) al fine di darli delle caratteristiche fisiche specifiche.

Ad esempio, nel silicio (tetravalente) si introducono tracce di arsenico (pentavalente), gli atomi di quest'ultimo elemento si inseriscono nel reticolo cristallino del silicio, impegnando solo quattro dei loro cinque elettroni di valenza e lasciando quindi il restante quinto elettrone in uno stato di legame molto debole, tanto che l'energia legata alla temperatura ambiente è sufficiente a rompere questo tipo di legame, così da permettere all'elettrone di muoversi liberamente nel cristallo, assumendo caratteristiche conduttive. In questo caso si parla di un cristallo drogato tipo N in quanto a un eccesso di portatori di carica negativa (elettroni).

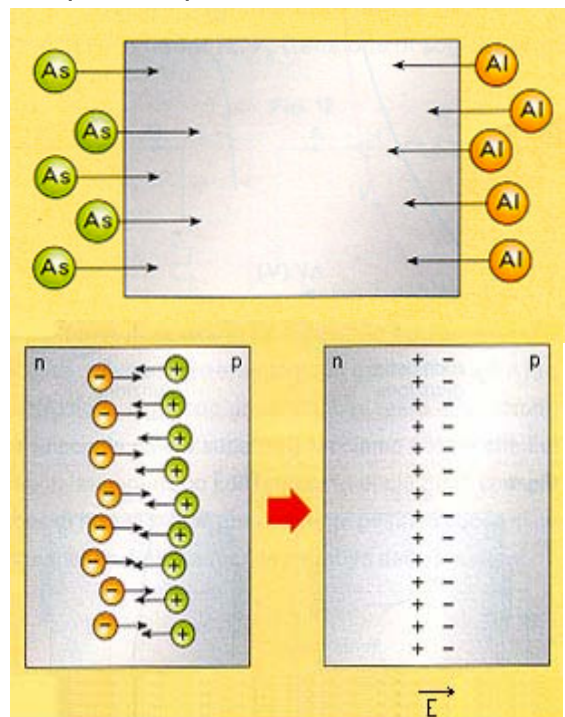


Una cosa simile succede quando nel silicio si introducono tracce di alluminio (trivalente), solo 3 elettroni si combineranno con i 4 atomi di silicio circostanti, lasciando una lacuna elettronica (un "buco" o può essere visto come una carica positiva). In questo caso si parla di un cristallo drogato tipo P, in quanto a un eccesso di carica positiva (lacuna di elettrone).

Ora, una cella fotovoltaica non è altro che l'elemento più semplice a semiconduttore: il diodo. Il diodo è un elemento semiconduttore capace di ostacolare il passaggio delle correnti in una direzione e sfavorendolo nell'altra.

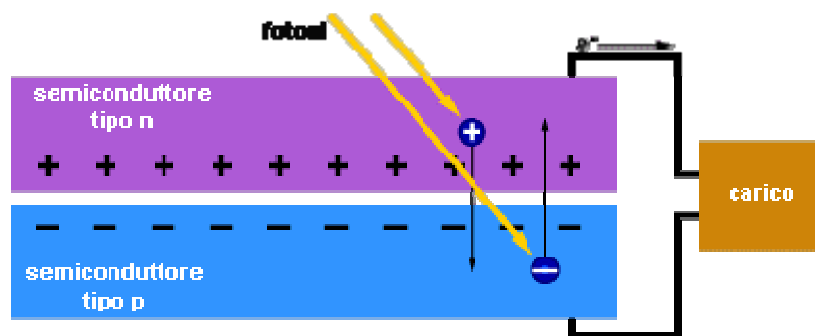
Esso, è costituito da un cristallo tipo N e un cristallo tipo P collegati insieme. La congiunzione di questi cristalli provoca sulla superficie di contatto uno spostamento di cariche nella zona centrale: le cariche di segno apposto si attraggono, formando in quella zona un reticolo cristallino ionizzato chiamato "giunzione P-N".

In questo processo, gli ioni al centro del cristallo formano un campo elettrico  $E$ . Ed è proprio questo campo elettrico che permette ai diodi di facilitare il passaggio della corrente in una direzione e ostruirlo nell'altra!



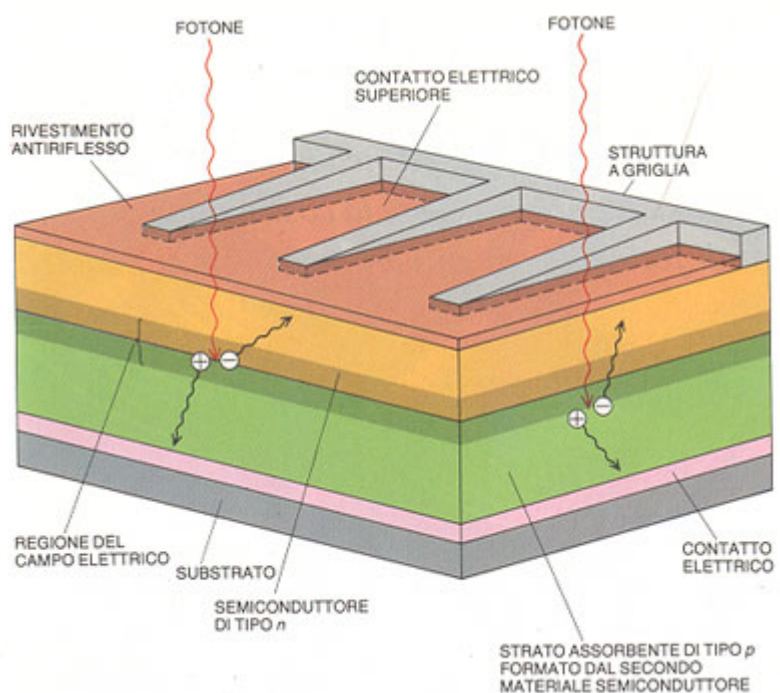
Ora che abbiamo compreso com'è costruita una cella solare, possiamo comprendere il suo funzionamento. Come già detto in precedenza, un fotone (un raggio luminoso) che colpisce un materiale semiconduttore, può provocare la liberazione di un elettrone di valenza. Ora, se un fotone colpisce un normale strato di cristallo, questo elettrone libero "vagherà" un po' per il reticolo cristallino, ma presto o tardi si legherà di nuovo a un atomo. La parte difficile diventa fare in modo che questo elettrone libero non si ricombini subito a una lacuna, ma possa raggiungere i contatti elettrici all'estremità della cella.

Ora qui entra in gioco la caratteristica del diodo montato in questo modo: il diodo facilita il passaggio della corrente in una sola direzione, non permettendo all'elettrone di ritornare al suo atomo originario. Infatti, quando un fotone colpisce un atomo nella zona di giunzione P-N, esso subirà una accelerazione nella zona di con giunzione del diodo in un senso preciso. In questo modo, l'elettrone non tornerà più al suo atomo originario ma dovrà fare un'altra strada. Difatti quest'ultimo attraverserà la zona N, fino a raggiungere il contatto elettrico. Ora, se all'estremità dei cristalli P e N colleghiamo, per mezzo dei terminali, una carico, l'elettrone sarà costretto a passare attraverso il carico. In questo modo avremo generato energia elettrica per mezzo di un fotone.



Nella cella solare reale, i contatti (terminali) sulla faccia del cristallo che da al sole vengono "seghettati" al fine di ostacolare il meno possibile l'entrata della luce all'interno della cella. In più, in fondo alla cella solare, si cerca di mettere uno strato riflettente (specchio) affinché i fasci di luce che sono riusciti ad attraversare incolumi il sottile strato di cella possano essere assorbiti.

La costruzione (l'involucro) della cella stessa presenta altri ostacoli alla luce. La cella è inglobata tra degli strati di vetro e silicene che riflettono o assorbono parte della luce. Perciò essi dovranno essere il più trasparenti possibili.



## Durata di vita

Un cella fotovoltaica vive circa 25-30 anni. L'invecchiamento della cella è dovuto ai raggi ultravioletti che ne determinano una lenta e progressiva deteriorazione. In realtà, la struttura stessa del silicio è piuttosto resistente al deterioramento rispetto ai componenti che sostengono e svolgono una funzione di struttura al cristallo in silicio. Infatti, le parti in silicone e in contatti elettrici subiscono un invecchiamento più veloce della piastra in silicio stesso. L'invecchiamento della struttura, provoca una minore trasparenza della struttura stessa ai raggi solari. Così, con il passare del tempo (il processo inizia circa dopo 10 – 15 anni di vita della cella), il rendimento della cella diminuisce fino a esaurirsi a causa dell'aumento della temperatura data dalla sua minore trasparenza, e della diminuzione dell'energia solare che raggiunge il cuore della cella.

L'elemento più delicato della cella solare è il silicone. Bombardato dai raggi ultravioletti del sole, esso può subire un deterioramento della struttura fisica, e causandone delle perdite e delle screpolature, ecc... se il deterioramento del silicone diventa eccessivo, aria e l'umidità possono riuscire a penetrare all'interno della cella provocando l'ossidazione dei contatti e perciò la "morte" della cella stessa.

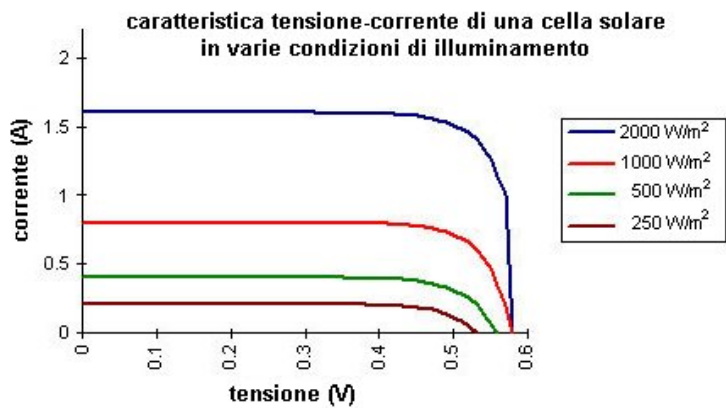
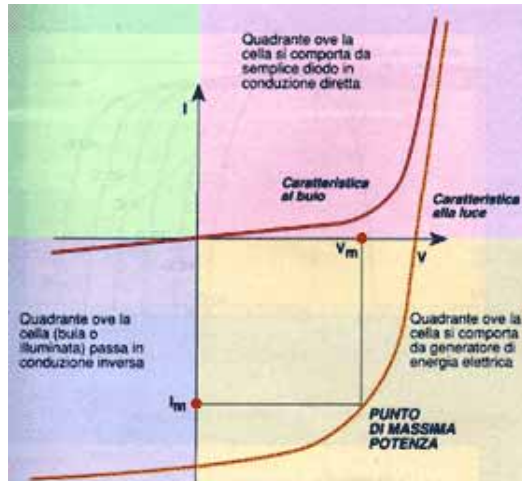
## Rendimento di una cella fotovoltaica

Di tutta l'energia che investe la cella solare sotto forma di radiazione luminosa, solo una parte viene convertita in energia elettrica disponibile ai suoi contatti. L'efficienza di conversione per celle commerciali al silicio è in genere compresa tra il 13 % e il 17%, mentre realizzazioni speciali di laboratorio hanno raggiunto valori del 32,5%. I motivi di tale bassa efficienza sono molteplici e possono essere raggruppati in quattro categorie:

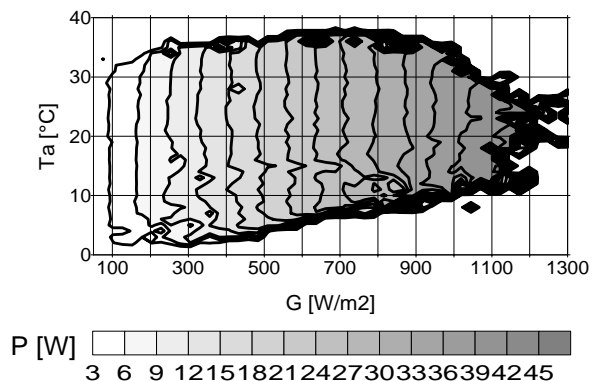
- **riflessione:** non tutti i fotoni che incidono sulla cella penetrano al suo interno, dato che in parte vengono riflessi dalla superficie della cella e dalla struttura che la ingloba e in parte incidono sulla griglia metallica dei contatti;
- **fotoni troppo o poco energetici:** per rompere il legame tra elettrone e nucleo è necessaria una certa energia, e non tutti i fotoni incidenti possiedono energia sufficiente. D'altra parte alcuni fotoni troppo energetici, pur riuscendo a liberare un elettrone dal nucleo, dissipando l'eccesso della loro energia in calore non utilizzabile.
- **ricombinazione:** non tutti gli elettroni liberi vengono raccolti dal campo elettrico di giunzione e inviati al carico esterno, dato che nel percorso dal punto di generazione verso la giunzione possono incontrare cariche di segno opposto e quindi ricombinarsi.
- **resistenze parassite:** Le resistenze parassite sono inevitabili e provocano una dissipazione dell'energia in calore. Nel caso di celle al silicio policristalline, l'efficienza è ulteriormente diminuita a causa della resistenza che gli elettroni incontrano ai confini tra un grano e l'altro e, ancor più nel caso di celle al silicio amorfo, per la resistenza dovuta all'orientamento casuale dei singoli atomi.
- **Lunghezza d'onda:** la cella fotovoltaica non è sensibile in ugual misura alle lunghezze d'onda. In più, non necessariamente una cella fotovoltaica è sensibile a tutto lo spettro AM 1,5.

## Le caratteristiche elettriche di una cella fotovoltaica

La cella fotovoltaica è sostanzialmente un diodo di grande superficie. Esponendola alla radiazione solare, la cella si comporta come un generatore di corrente, il cui funzionamento può essere descritto per mezzo della caratteristica tensione-corrente:

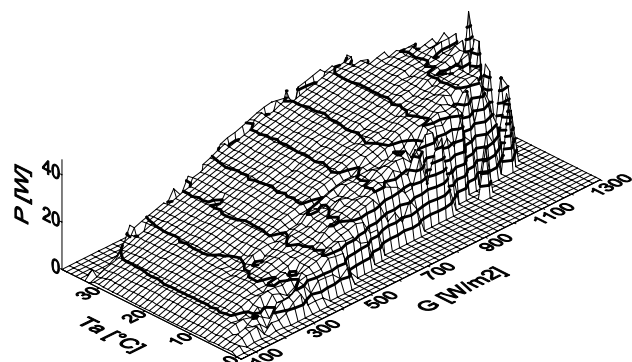


Tra la curva caratteristica di una cella al buio e quella di un diodo non ci sono evidenti differenze: in entrambi i casi la parte significativa della curva è nel primo quadrante. Tuttavia, quando la cella è illuminata, la sua caratteristica è leggermente deformata e traslata verso il basso di una quantità che dipende dall'intensità dell'irraggiamento, come si vede soprattutto nel quarto quadrante.



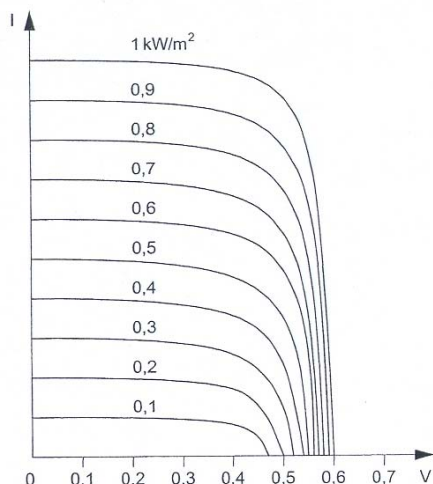
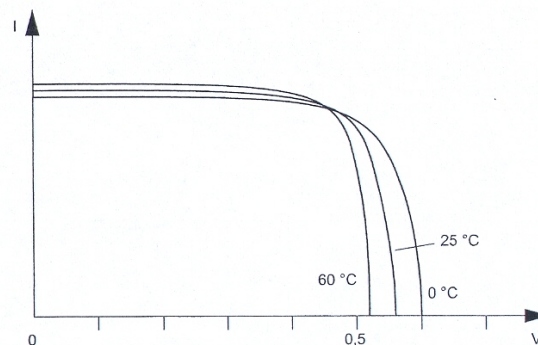
Si utilizza quindi questa parte della curva, riportando nell'asse delle ordinate il modulo della corrente:

In generale la caratteristica di una cella fotovoltaica è funzione di tre variabili fondamentali: intensità della radiazione solare, temperatura e area della cella. Di per se, allora, la caratteristica di una cella solare dovrà essere espressa da un grafico a tre dimensioni.



### Andamento della caratteristica in funzioni di altri parametri

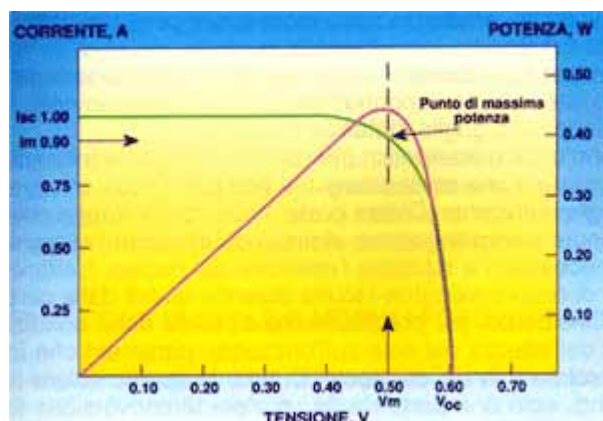
La **temperatura** non ha un effetto significativo sul valore della corrente di corto circuito; al contrario, esiste una relazione di proporzionalità tra questa e la tensione a vuoto, diminuendo la tensione al crescere della temperatura.



L'**intensità della radiazione solare** non ha un effetto significativo sul valore della tensione a vuoto; viceversa l'intensità della corrente di corto circuito varia in modo proporzionale al variare dell'intensità dell'irraggiamento, crescendo al crescere di questo.

L'**area della cella** non ha alcun effetto sul valore della tensione; viceversa esiste una diretta proporzionalità tra questa e la corrente disponibile.

### Adattamento in potenza:



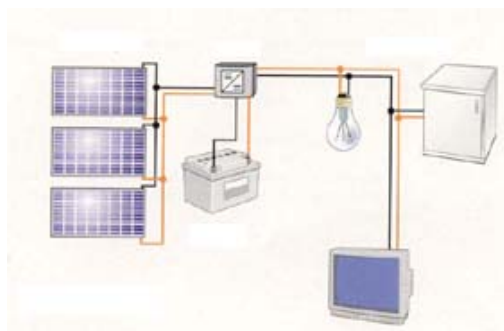
In condizioni di corto circuito o di circuito aperto, la potenza erogata dalla cella solare sarà nulla. Infatti, per erogare dalla cella solare la massima potenza gli si dovrà fornire un carico di valore ben determinato (resistenza di carico uguale alla resistenza interna). Questo processo si chiama: adattamento in potenza. Per far questo si utilizzano dei circuiti detti BOS (Balance of Systems), che mostrano alla cella solare un carico fittizio al fine di trarne la massima energia.

## Impianti fotovoltaici

Esistono due principali tipi di impianti: impianti autonomi e impianti paralleli alla rete. Il primo è la realizzazione di un impianto elettrico completamente autonomo al fine di usare solamente la propria energia ricavata dalle celle solari. Il secondo consente di essere collegato simultaneamente alla rete elettrica consentendo di ricevere o donare energia a seconda delle necessità.

### Impianti autonomi ("in isola"):

Dove l'allacciamento alla rete è troppo caro o illogico, gli impianti autonomi sono la soluzione ideale per sfruttare l'energia solare. Le celle solari caricano degli accumulatori (batterie) dai quali si potrà attingere in qualsiasi momento corrente elettrica. Gli impianti autonomi possono assicurare l'alimentazione elettrica di edifici e oggetti discosti dalla rete elettrica, perché in questo caso l'uso di pannelli fotovoltaici "in isola" sostituisce il consumo della normale rete elettrica. Es: capanne alpine, case di vacanza e ripetitori per le telecomunicazioni, segnaletica stradale illuminata in località di montagna, il telemonitoraggio (centraline, telecamere ecc.), sistemi di irrigazione nelle aziende agricole, illuminazione nei parchi pubblici, fornitura di energia per case isolate, colonnine di soccorso, distributori di biglietti per parcheggi, casette per giardini, nelle calcolatrici tascabili, negli orologi o nei caricatori di batterie ricaricabili, ecc...



In questo caso è possibile utilizzare direttamente la corrente continua dalla batteria per gli utilizzatori in corrente continua e/o, per mezzo di speciali convertitori per impianti autonomi (ondulatori o inverter), avere la 230VAC per collegare gli apparecchi elettrici convenzionali.

### Impianti paralleli alla rete:

Gli impianti in parallelo alla rete offrono una soluzione ottimale dal punto di vista energetico e dei costi per la produzione di corrente solare. Queste installazioni sono composte da più moduli collegati tra di loro, uno o più inverter ed un allacciamento alla rete. Questi inverter trasformeranno la corrente continua in alternata (230 V / 50 Hz) mettendola in rete in condizioni di fase e ampiezza tali da immettere la corrente elettrica nella rete. Questi inverter svolgono inoltre funzioni di comando e regolazione, per ottimizzare la resa energetica (BOS - adattamento in potenza). L'elettricità solare così prodotta può essere usata localmente, mentre il surplus viene ripreso dall'azienda elettrica del posto. In questo caso la rete fa da accumulatore, in quando prendere l'energia in eccesso durante le ore di sole e la restituisce durante le notturne o in caso di insufficienza energetica da parte dei pannelli solari. Così facendo, anche nelle giornate nuvolose e durante le ore notturne l'abitazione dotata di impianti fotovoltaici in rete non resterà mai al buio, perché l'uso di pannelli fotovoltaici "in rete" non sostituisce il consumo della normale rete elettrica che continuerete normalmente a utilizzare. Gli impianti fotovoltaici in parallelo alla rete hanno una potenza che varia tra circa 1 kW<sub>p</sub> fino a oltre 1 MW<sub>p</sub>.



Il collegamento alla rete, rispetto agli impianti in isola, offre numerosi vantaggi:

- L'elettricità prodotta è conforme alla rete (230 V /50 Hz) e permette l'impiego di apparecchi convenzionali (elettrodomestici, lampade, ecc.).
- Non è necessaria alcuna rete separata per gli utilizzatori di "corrente solare".
- La rete garantisce automaticamente la fornitura di energia in qualsiasi situazione, assorbendo il surplus di produzione e compensando l'eventuale parte mancante.
- L'accumulazione dell'energia prodotta avviene attraverso la rete. Non sono dunque necessari degli accumulatori locali.
- In caso di caduta della rete l'impianto si spegne automaticamente.

### Impianti autonomi UPS

È pure possibile una combinazione tra i due tipi di impianti: in tal caso l'elettricità prodotta dai moduli viene sia accumulata in un accumulatore locale sia immessa in rete attraverso un convertitore. Il vantaggio di tale soluzione risiede nel fatto che in caso di caduta della rete l'installazione può continuare a funzionare in modo autonomo. La diffusione di questo tipo di impianti è maggiore all'estero, in particolare nei paesi con una maggiore instabilità della rete.

### Caratteristiche dei diversi impianti

#### Per impianti autonomi:

- Regolatore di carica: si occupa di ottimizzare la resa energetica delle cellule fotovoltaiche e di gestire la carica degli accumulatori in funzione delle loro caratteristiche.
- Accumulatori (batterie): è consigliabile l'uso di accumulatori senza (o con poca manutenzione).
- Regolatore di carica: quasi sempre integrato nel regolatore di tensione, garantisce la sicurezza di esercizio dei carichi elettrici allacciati e protegge gli accumulatori da una scarica troppo profonda.
- Consumatori: per impianti senza convertitore, la tensione degli apparecchi elettrici allacciati deve essere uguale a quelle delle batterie, in genere 12 V continua.
- Convertitori per impianti autonomi: l'elettronica moderna permette l'uso di apparecchi elettrici "normali" (230 V AC) anche in impianti fotovoltaici autonomi. Un apposito convertitore allacciato agli accumulatori trasforma la corrente continua in corrente alternata e può alimentare un certo numero di consumatori.
- Sul mercato si trovano anche prodotti che combinano le funzioni di carica, scarica e convertitore in un solo componente.

#### Per impianti in parallelo alla rete:

- Convertitore ("ondulatore", "inverter"): il convertitore deve occuparsi in ogni istante di ottimizzare l'energia prodotta dalle cellule solari, ricercando costantemente il punto di massima potenza (in inglese MPP – Maximum Power Point), che varia con il variare dell'irraggiamento e della temperatura. Il rendimento del convertitore (rapporto energia a corrente alternata erogata/energia a corrente continua ricevuta) dovrebbe essere superiore al 90%. Esso deve inoltre rispettare le normative di sicurezza definite dall'azienda elettrica.

- Collegamento alla rete: l'allacciamento alla rete di impianti fissi è soggetto ad autorizzazione. Per gli impianti con potenza superiore a 3.3 kW<sub>p</sub> è inoltre necessario un collaudo da parte dell'Ispettorato federale a corrente forte (IFCF). In generale, viene installato un contatore di energia dedicato all'impianto solare.
- Impianti di piccolissima potenza: la maggior parte delle aziende elettriche permettono l'allacciamento di sistemi pronti per l'uso ("moduli AC") senza autorizzazione parti-colare. Questi sistemi, con potenze comprese tra 0.1 e 1.5 kW<sub>p</sub> vengono visti come "consumatori negativi".
- Compenso: la legge specifica che le aziende elettriche sono tenute a ritirare il surplus di corrente elettrica prodotta da piccoli impianti funzionanti con energie rinnovabili e a versare un compenso medio di 15 centesimi per chilowattora (stato 2002).

## La convenienza economica

Dopo questa trattazione, abbiamo compreso che il fotovoltaico presenta notevoli vantaggi, specialmente dal punto di vista ambientale. Ma economicamente, conviene? Questa è la tipica e lecita domanda che ogni persona interessata al fotovoltaico si pone. Rispondiamo subito alla domanda in questo modo: "dipende dalle norme e dagli incentivi della zona".

L'energia solare, è ancora molto cara! I prezzi dei pannelli solari sono ancora piuttosto alti! Perciò, per molti ancora risulta impossibile investire in questa fonte di energia, in quanto porta guadagno solo dopo diversi anni.

## Contributi statali

I contributi statali variano da paese a paese. In Svizzera i contributi in ambito energetico vengono dati dai singoli cantoni. Potete controllare voi stessi i contributi del vostro cantone al seguente sito: [www.energie-schweiz.ch](http://www.energie-schweiz.ch)

Sono possibili contributi anche da parte del proprio comune.

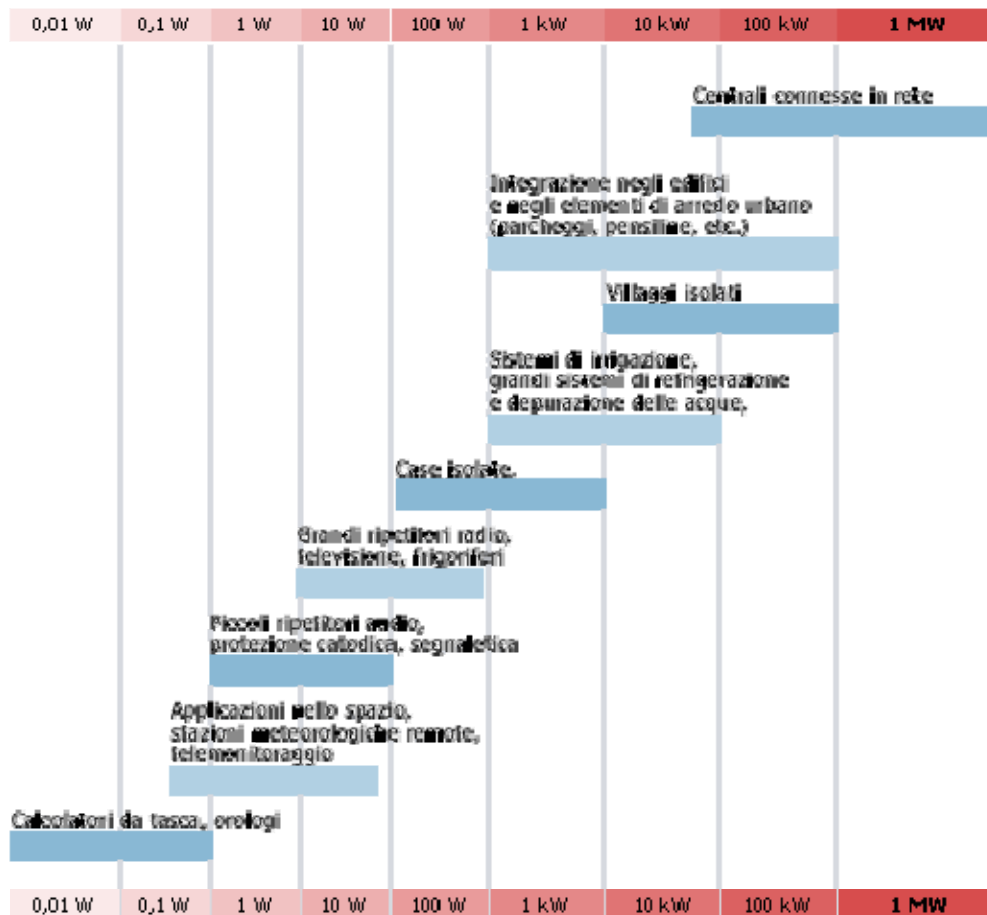
## A livello energetico

La quantità di energia che riesce a fornire mediamente un pannello solare di 100W<sub>p</sub> e di circa 100kWh all'anno.

Nella tabella successiva mostro la produzione media di energia solare nei diversi luoghi Svizzeri:

	Elettricità prodotta KWh/anno da un impianto FV di 1 m <sup>2</sup>
Basilea-Binningen	91 kWh ogni anno
Buchs-Suhr	128 kWh ogni anno
Jung fraujoch	125 kWh ogni anno
Samedan	118 kWh ogni anno
Locarno-Magadino	98 kWh ogni anno
(Dati del 2002)	

Bisogna anche comprendere le dimensioni dell'impianto necessario all'edificio o alla casa. Una casa di una famiglia di 4 persone, per esempio, consuma mediamente da 3700 kWh all'anno. Quindi, questa famiglia necessiterebbe un impianto di circa 4000W<sub>p</sub>. Il diagramma seguente mostra le principali applicazioni dei dispositivi FV classificate secondo la potenza elettrica.



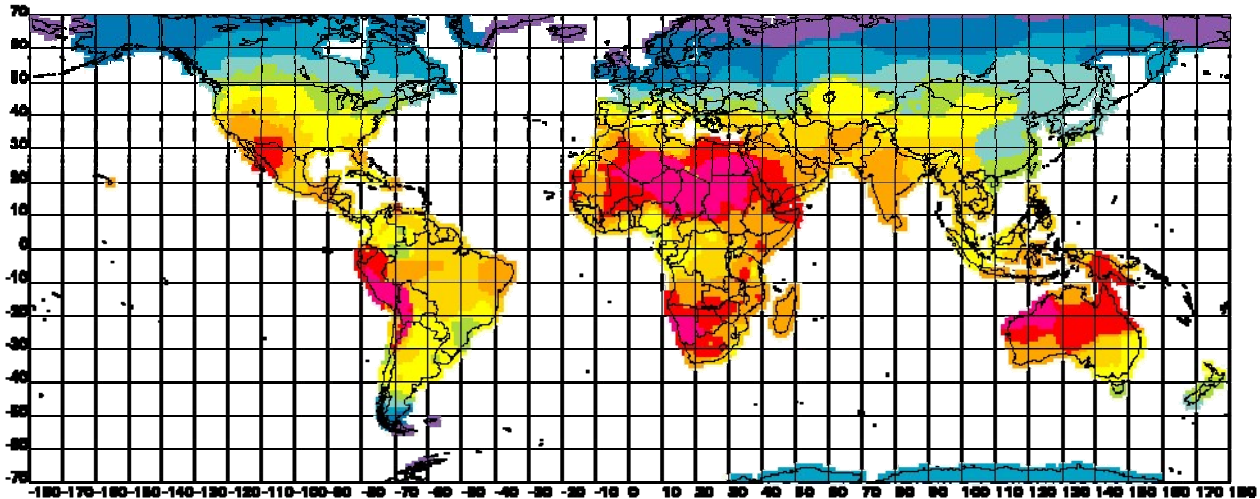
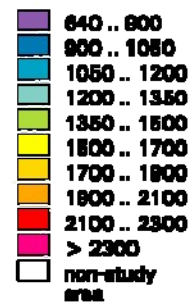
Esistono diversi fattori fisici e geografici tali da determinare variazioni nei rendimenti dei pannelli solari fotovoltaici, ad esempio la **latitudine**, altitudine, buco dell'ozono, ecc. L'irraggiamento solare non è uguale ovunque! In ogni modo, possiamo dire che in Italia e in Svizzera, mediamente un pannello solare di 1m<sup>2</sup> si produce da circa 75 a 150 kWh ogni anno.

## Radiazione solare media sulla terra

METEONORM 3.05



Global Irradiation: year [kWh/m<sup>2</sup>]



## L'efficienza dell'impianto fotovoltaico

La produzione di energia tramite gli impianti fotovoltaici dipende da vari fattori:

- **Efficienza dei moduli FV**

Come già parlato in precedenza, il rendimento della cella si aggira intorno al 15%. Le cause principali di questo "basso" rendimento sono dovute a diversi fattori:

- le celle sono sensibili solo a determinate lunghezza d'onda dello spettro solare;
- parte dell'energia solare viene trasformata in calore che, oltre ad essere dannoso alla cella, ne riduce il rendimento;
- parte della radiazione viene riflessa dal pannello stesso;
- i collegamenti elettrici tra le celle introducono una resistenza che dissipa energia.

- **Posizione dei pannelli rispetto al sole**

Se un pannello solare si trova nell'emisfero boreale deve essere esposto a sud per ricevere il massimo irraggiamento solare, viceversa se si trova nell'emisfero australe dovrà essere esposto a nord. I pannelli dovranno essere orientati nell'asse nord-sud; se i pannello solari guarderanno verso est o ovest si possono ottenere delle perdite di circa il 5%.

L'inclinazione ideale dei pannelli solari rispetto al terreno è di 30°. Per le altre pendenze la perdita oscilla dal -10% per inclinazioni orizzontali (tetto piano) e -35% per inclinazioni completamente verticali (pareti esterne).

Affinché l'impianto visto dal sole abbia la massima superficie, idealmente il sole dovrebbe trovarsi su un asse perpendicolare al piano creato dalle celle solari. Infatti, secondo la legge di Lambert la quantità di radiazioni che colpisce l'unità di superficie è proporzionale al seno dell'angolo incidente.

$$I' = I \cdot \sin(\alpha)$$

- **Potenza della radiazione solare**

L'energia solare irraggia diversamente una località del nord e del sud Italia. Basti considerare i diversi valori di insolazione media. Come abbiamo detto prima, l'insolazione può cambiare da zona a zona, dalla limpidezza dell'aria, dalle caratteristiche morfologiche e atmosferiche della zona.

- **Efficienza del BOS**

Per BOS (Balance of System) si intende l'insieme dei dispositivi e dei componenti elettrici necessari per trasferire l'energia prodotta dai moduli fotovoltaici fino alla rete elettrica o a un dispositivo di accumulazione. Un valore dell'85% è generalmente considerato accettabile.

- **Ombre parziali**

Un punto da verificare riguarda l'eventualità di ombre parziali sulle cellule provocate da comignoli, antenne, edifici adiacenti, ecc. Le ombre proiettate anche solo su una parte di un modulo possono ridurre in modo sensibile la produzione dell'intero impianto.

## I costi dell'impianto

Il costo finale di un impianto fotovoltaico di medie dimensioni (1kW<sub>p</sub>) è di circa 10.000 SFr in poi, in funzione delle esigenze di consumo energetico e dalle caratteristiche della propria abitazione. Nel caso dei tetti piani, robusti e ben esposti alla luce solare il costo è notevolmente inferiore rispetto ai tetti inclinati o poco esposti. L'inclinazione e la struttura del tetto è un altro aspetto critico da considerare. Un tetto troppo inclinato o con strutture particolari potrebbe rendere impraticabile o troppo costosa l'installazione del sistema fotovoltaico.

**I costi sono legati anche al mercato.** Il fotovoltaico è un mercato nascente in forte crescita e i prezzi sono soggetti alle tipiche regole della concorrenza e della domanda. Finora la presenza di quadri normativi poco efficaci ha penalizzato la presenza di una stabile domanda di pannelli FV, spesso legata alla presenza di contributi regionali tramite periodici bandi di concorso. L'esiguità dei fondi per la concessione dei contributi e la burocrazia delle procedure hanno fatto il resto.

## ***I vantaggi dei pannelli solari fotovoltaici***

### **L'impatto sul paesaggio:**

- La modularità dei pannelli solari consente di integrare i moduli sulle superfici esistenti delle abitazioni, normalmente sui tetti. L'impatto ambientale e paesaggistico è pertanto nullo.
- In pochi anni l'impianto permette di recuperare l'energia che è stata necessaria a fabbricarlo: durante tutta la sua durata di vita complessivamente produrrà da 5 a 10 volte di più.
- Utilizza energia solare: una fonte di energia naturale, rinnovabile e gratuita.
- Non produce alcuna emissione o rifiuto durante l'esercizio.

### **Produzione decentralizzata:**

- Minori perdite di trasporto della corrente elettrica: l'elettricità viene prodotta dove viene consumata.
- Sostengono l'economia locale

### **Economia:**

- Il miglioramento dell'aria che respiriamo porterà a una diminuzione delle malattie dovute all'inquinamento, con la riduzione dei costi per le malattie.
- Lo sviluppo e la divulgazione delle celle solari porta a posti di lavoro e a un circolo monetario.

## ***Sviluppi futuri***

Nel futuro prossimo il fotovoltaico diventerà parte integrante dei progetti edilizi. E' probabile che nel prossimo futuro molte agenzie produrranno prodotti edili fotovoltaici (esempio: "tegole fotovoltaiche", di davanzali per i balconi o di pareti in vetro esterne in grado di generare energia elettrica). In pratica, i pannelli fotovoltaici del futuro scompariranno dagli occhi ma saranno presenti ovunque.

Nello prossimo futuro diventerà necessario la ricerca e l'utilizzo di nuove fonti di energia! La domanda del caro petrolio è sempre in aumento, e presto i fornitori non saranno più in grado di fornircene nella stessa misura! L'inquinamento ha provocato ingenti danni al pianeta! Perciò l'uomo sarà presto chiamato a rispondere alle sua azione e trovare una soluzione alternativa e pulita delle energetiche che utilizza.

## **Procedura di progettazione, di realizzazione e di mantenimento di un impianto fotovoltaico.**

### **Da tenere presente prima della nascita di un impianto fotovoltaico**

La procedura di progettazione e realizzazione

- Definire il luogo per la posa dei moduli, scegliere possibilmente un'esposizione compresa tra sud-est e sud-ovest, evitare le ombre.
- Scegliere le dimensioni dell'impianto a seconda dei desideri (e del budget), ev. coinvolgere un consulente energetico.
- Informarsi sulle possibilità di ricevere sostegno finanziario (aiuti, deduzioni fiscali, ecc.).
- Informarsi sull'eventuale necessità di inoltrare una domanda/notifica di costruzione.
- Richiedere le offerte per la realizzazione, visitare impianti di referenza.
- Confrontare le offerte e i concetti, in caso di necessità chiedere delucidazioni.
- Chiarire gli aspetti del coordinamento dei lavori e della garanzia, ev. richiedere un impianto "chiavi in mano".
- Scegliere il fornitore e far realizzare l'impianto.
- Eseguire (o far eseguire) il collaudo finale, verificare le pre-stazioni secondo l'offerta (a partire da 3.3 kW<sub>p</sub>, l'impianto sottostà all'obbligo di collaudo da parte dell'Ispettorato federale a corrente forte).



### **Consigli sull'esercizio del vostro impianto fotovoltaico**

- Normalmente, il vostro impianto funziona senza necessità di manutenzione. Tuttavia, un controllo regolare impedisce che un eventuale arresto non notato abbia ripercussioni importanti sulla produzione di energia. Il montaggio di un contatore per misurare l'energia prodotta è consigliabile, soprattutto per impianti di media e grande potenza.
- Un impianto fotovoltaico non contiene parti in movimento ed ha quindi una lunga durata di vita. Le celle non si logorano in modo visibile. La maggior parte dei fornitori garantisce le prestazioni dei propri moduli per un lungo periodo (p.es. al minimo 80% della potenza nominale dopo 20 anni). Solo eventuali danni meccanici possono quindi creare problemi di funzionamento. Si può perciò calcolare una durata di 20 – 30 anni.
- I convertitori, come qualsiasi altro apparecchio elettronico, possono essere soggetti a guasti. I moderni convertitori sono tuttavia di lunga durata. A volte può succedere che, per ragioni di sicurezza, il convertitore si spenga a causa di un disturbo sulla rete. Il riinserimento è completamente automatico, ma di tanto in tanto è consigliabile accertarsi del buon funzionamento dell'impianto.

## ***Alcune definizioni***

### ***STC*** (Standard Test Conditions)

G incidente = 1.000 W/mq

T moduli = 25°C

Spettro = 1,5 AM

Vento = 0 m/s

### ***NOCT*** (Nominal Operating Cell Temperature)

G incidente = 800 W/mq

T aria = 20°C

Vento = 1 m/s

NOCT tipico = 45 - 50°C

### ***Energia grigia***

E' la quantità di energia necessaria al ciclo completo di fabbricazione di un modulo (estrazione materie prime, trasporto, lavorazione).

### ***Tempo di recupero energetico***

E' il tempo necessario al modulo per produrre una quantità di energia uguale alla propria energia grigia.

### ***Fattore di rimborso energetico***

E' il rapporto tra la durata di vita di un modulo e il suo tempo di recupero energetico (oppure tra  $E_{tot}$  ed  $E_{grigia}$ ).

## ***BOS***

Per BOS (Balance of System) si intende l'insieme dei dispositivi e dei componenti elettrici necessari per trasferire l'energia prodotta dai moduli fotovoltaici fino alla rete elettrica o a un dispositivo di accumulo.

**Fonti:**

[www.energie-schweiz.ch](http://www.energie-schweiz.ch)

Ufficio federale Svizzero dell'energia. Per controllare eventuali sussidi da parte del proprio cantone.

[www.ecoage.com](http://www.ecoage.com)

Sito italiano di ambiente sviluppo e risorse rinnovabili su Ecoage the Official Site.

[www.epia.org](http://www.epia.org)

Associazione europea delle industrie fotovoltaiche.

[www.romaenergia.org](http://www.romaenergia.org)

L'Agenzia per il Risparmio Energetico di Roma.

[www.proprietaticasa.org](http://www.proprietaticasa.org)

Sito con consigli utili di proprietari di case.

[www.vivoscuola.it](http://www.vivoscuola.it)

Materiale informativo per studenti sulle fonti energetiche alternative.

[www.minambiente.it](http://www.minambiente.it)

Sito del ministero dell'ambiente e della tutela del territorio.

[www.swissolar.ch](http://www.swissolar.ch)

Sito svizzero su informazioni neutrali riguardante elettricità, calore e sole.

[www.energoclub.it](http://www.energoclub.it)

Movimento d'opinione e di ricerca per promuovere la riconversione del sistema energetico.

Impianti solari fotovoltaici a norme CEI, FranceGroppi – Carlo Zuccaro, Editoriale delphino, ISBN 88-7933-246-5

Il sole fonte di energia, E2000 Programma Energia 2000, Editore Ufficio federale dell'energia di Berna (CH)