**Modulo fotovoltaico**

**http://plent.altervista.org/pannelli\_fotovoltaici.htm**

Un **modulo fotovoltaico** Ã¨ un dispositivo in grado di convertire l'energia solare direttamente in energia elettrica mediante effetto fotovoltaico ed Ã¨ usato per generare elettricitÃ  a partire dalla luce del sole.  
PuÃ² essere meccanicamente preassemblato a formare un **pannello fotovoltaico** ed Ã¨ simile esteticamente ad un pannello solare termico, ma ha scopo e funzionamento profondamente differenti.

L'effetto fotovoltaico fu scoperto nel 1839 dal francese Alexandre Edmond BÃ©cquerel che notÃ² una corrente elettrica generarsi durante alcune reazioni chimiche indotte dalla luce".  
Nel 1883 L'inventore statunitense Charles Fritz produce una cella solare di circa 30 centimetri quadrati a base di selenio con un'efficienza di conversione dell'1-2 per cento.  
Nel 1905 Albert Einstein pubblica la sua teoria sull' effetto fotoelettrico che gli porterÃ  il premio Nobel.  
Nel 1963 La giapponese Sharp produce i primi moduli fotovoltaici commerciali.

**Tecnologie a confronto**

Tra i materiali impiegabili per la costruzione dei moduli fotovoltaici, il silicio Ã¨ in assoluto il piÃ¹ utilizzato. Se ci si limita all'analisi dei soli prodotti commerciali, i moduli fotovoltaici si dividono in:

**Moduli cristallini**

* *Il Silicio monocristallino*, in cui ogni cella Ã¨ realizzata a partire da un blocco la cui struttura cristallina Ã¨ omogenea (monocristallo), opportunamente drogato in modo da realizzare una giunzione p-n;
* *Il Silicio policristallino*, in cui blocco non Ã¨ strutturalmente omogeneo ma organizzato in grani localmente ordinati (policristallo);

**Moduli a film sottile**

 Silicio microsferico montato su modulo flessibile

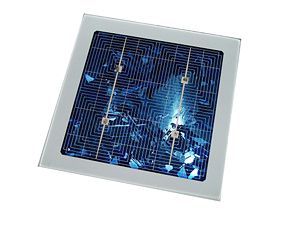
* Silicio amorfo, in cui gli atomi silicei vengono deposti chimicamente in forma amorfa, ovvero strutturalmente disorganizzata, sulla superficie di sostegno. Questa tecnologia impiega quantitÃ  molto esigue di silicio (spessori dell'ordine del micron). I moduli in silicio amorfo dimostrano in genere di una efficienza meno costante delle altre tecnologie rispetto ai valori nominali, pur avendo garanzie in linea con il mercato. Il dato piÃ¹ interessante riguarda l'EROEI, che fornisce valori molto alti (in alcuni casi arrivano anche a 9), il che attesta l'economicitÃ  di questa tecnologia.
* Telloruro di cadmio (CdTe)
* Solfuro di cadmio (CdS) microcristallino, che presenta costi di produzione molto bassi in quanto la tecnologia impiegata per la sua produzione non richiede il raggiungimento delle temperature elevatissime necessarie invece alla fusione e purificazione del silicio. Esso viene applicato ad un supporto metallico per spray-coating, cioÃ¨ viene letteralmente spruzzato come una vernice. Tra gli svantaggi legati alla produzione di questo genere di celle fotovoltaiche vi Ã¨ la tossicitÃ  del cadmio ed il basso rendimento del dispositivo.
* Arseniuro di gallio (GaAs), una lega binaria con proprietÃ  semiconduttive, in grado di assicurare rendimenti elevatissimi, dovuti alla proprietÃ  di avere un gap diretto (a differenza del silicio). Viene impiegata soprattutto per applicazioni militari o scientifiche avanzate (come missioni automatizzate di esplorazione planetaria o fotorivelatori particolarmente sensibili). Tuttavia il costo proibitivo del materiale monocristallino, a partire dal quale sono realizzate le celle, lo ha destinato ad un impiego di nicchia.
* Rame indio selenio (CIS), con opacitÃ  variabile dal 100% al 70% ottenuta mediante fori ricavati direttamente nel film.

**Composizione**

I moduli in silicio mono o policristallini rappresentano a loro volta la maggior parte del mercato. Entrambe queste tecnologie sono costruttivamente simili, e prevedono che ogni cella fotovoltaica sia cablata in superficie con una griglia di materiale conduttore che ne canalizzi gli elettroni. Ogni singola cella viene connessa alle altre mediante *ribbon* metallici, in modo da formare opportune serie e paralleli elettrici.

Sopra una superficie posteriore di supporto, in genere realizzata in un materiale isolante con scarsa dilatazione termica, come il vetro temperato o uno come il tedlar, vengono appoggiati un sottile strato di acetato di vinile (spesso indicato con la sigla *EVA*), la matrice di moduli preconnessi mediante i giÃ  citati *ribbon*, un secondo strato di acetato e un materiale trasparente che funge da protezione meccanica anteriore per le celle fotovoltaiche, in genere vetro temperato. Dopo il procedimento di pressofusione, che trasforma l'EVA in mero collante inerte, le terminazioni elettriche dei *ribbon* vengono chiuse in una morsettiera stagna generalmente fissata alla superficie di sostegno posteriore, e il "sandwich" ottenuto viene fissato ad una cornice in alluminio, che sarÃ  utile al fissaggio del pannello alle strutture di sostegno atte a sostenerlo e orientarlo opportunamente verso il sole.

**Cella fotovoltaica**

 Una comune cella fotovoltaica in silicio policristallino

La **cella fotovoltaica** Ã¨ l'elemento base nella costruzione di un modulo fotovoltaico, ma puÃ² venire anche impiegata singolarmente in usi specifici.  
La versione piÃ¹ diffusa di cella fotovoltaica, quella in materiale cristallino, Ã¨ costituita da una lamina di materiale semiconduttore, il piÃ¹ diffuso dei quali Ã¨ il silicio, e si presenta in genere di colore nero o blu e con dimensioni variabili dai 4 ai 6 pollici.  
Piccoli esemplari di celle fotovoltaiche in materiale amorfo sono in grado di alimentare autonomamente dispositivi elettronici di consumo, quali calcolatrici, orologi e simili.  
Analogamente al modulo, il rendimento della cella fotovoltaica si ottiene valutando il rapporto tra l'energia prodotta dalla cella e l'energia luminosa che investe l'intera sua superficie. Valori tipici per gli esemplari in silicio cristallino comunemente disponibili sul mercato si attestano attorno al 15%.

**Prestazioni e rendimenti**

 Cella solare di silicio monocristallino

Le prestazioni dei moduli fotovoltaici sono suscettibili di variazioni anche sostanziose in base:

* al rendimento dei materiali;
* alla tolleranza di fabbricazione percentuale rispetto ai valori di targa;
* all'irraggiamento a cui le sue celle sono esposte;
* all'angolazione con cui questa giunge rispetto alla sua superficie;
* alla temperatura di esercizio dei materiali, che tendono ad "affaticarsi" in ambienti caldi;
* alla composizione dello spettro di luce.

Per motivi costruttivi, il rendimento dei moduli fotovoltaici Ã¨ in genere inferiore o uguale al rendimento della loro peggior cella.   
Con *rendimento* si intende la percentuale di energia captata e trasformata rispetto a quella totale giunta sulla superficie del modulo, e puÃ² essere considerato un indice di correlazione tra watt erogati e superficie occupata, ferme restando tutte le altre condizioni.

Se nei pannelli ad uso aerospaziale i rendimenti raggiungono anche il 40%, valori tipicamente riscontrabili nei prodotti commerciali a base silicea si attestano intorno al:

* 16% nei moduli in eterogiunzione;
* 14% nei moduli in silicio monocristallino;
* 13% nei moduli in silicio policristallino;
* 10% nei moduli in silicio microsferico;
* 6% nei moduli in silicio amorfo.

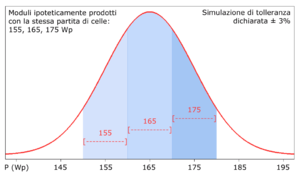
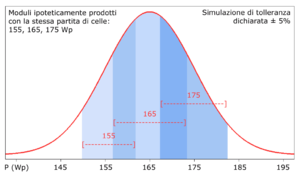
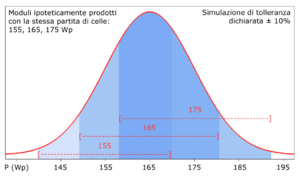
Ne consegue che ad esempio a paritÃ  di produzione elettrica richiesta, la superficie occupata da un campo fotovoltaico amorfo sarÃ  piÃ¹ che doppia rispetto ad un equivalente campo fotovoltaico cristallino.

A causa del naturale affaticamento dei materiali, le prestazioni di un pannello fotovoltaico comune diminuiscono di circa un punto percentuale su base annua. Per garantire la qualitÃ  dei materiali impiegati, Ã¨ prassi comune che i produttori coprano con un'opportuna garanzia oltre ai difetti di fabbricazione anche il calo di rendimento del pannello nel tempo. La garanzia oggi piÃ¹ comune Ã¨ del 90% sul nominale per 10 anni e dell'80% sul nominale per 20 anni.

I moduli fotovoltaici odierni hanno una vita stimata di 50 anni circa, anche se Ã¨ plausibile ipotizzare che vengano dismessi dopo un ciclo di vita di 20-25 anni, a causa dell'obsolescenza della loro tecnologia.

**Dati tecnici dichiarati**

**Tolleranza**

 Una simulazione con tolleranza Â±3%. Non sono presenti aree di sovrapposizione.  Una simulazione con tolleranza Â±5%. Sono presenti evidenti aree di sovrapposizione tra moduli diversi.  Una simulazione con tolleranza Â±10%. Sovrapposizione quasi totale delle aree di tolleranza, probabile indice di scarsa qualitÃ .

La tolleranza di fabbricazione Ã¨ un dato percentuale (generalmente variabile dal Â±3% al Â±10%) che ogni produttore dichiara in relazione ai propri standard qualitativi di produzione. Tanto minore Ã¨ la tolleranza dichiarata, tanto piÃ¹ stabili e predicibili saranno le prestazioni elettriche del modulo, a pari condizioni di utilizzo.

Nella maggior parte dei casi, i produttori realizzano piÃ¹ versioni dello stesso modulo, distinte in base alla potenza nominale, pur realizzandoli con le medesime celle, che vengono preventivamente raggruppate in famiglie prestazionalmente simili. L'obiettivo dell'operazione Ã¨ gestire in modo piÃ¹ accorto possibile le celle elettricamente peggiori, che potrebbero inficiare le prestazioni dell'intero modulo.

In quest'ottica quindi, tanto piÃ¹ numerose sono le famiglie di celle uniformi, tanto minore *potrebbe* essere la tolleranza di fabbricazione garantita. Nella realtÃ  di mercato, tuttavia, data la curva di Gauss che descrive la distribuzione statistica della qualitÃ  di tutte le celle fotovoltaiche di una data partita produttiva, le linee di separazione tra gruppi di moduli simili si ampliano a volte fino a costituire fasce piuttosto ampie.

I moduli fotovoltaici qualitativamente migliori sono da ricercarsi tra quelli che combinano:

* una tolleranza negativa stretta (quella positiva puÃ² considerarsi trascurabile);
* una nulla o limitata area di sovrapposizione tra le fasce di tolleranza delle varie potenze dello stesso modulo.

L'artifizio della tolleranza piÃ¹ ampia del necessario Ã¨ una tecnica impiegata solo da produttori minori, a causa della sua facile individuazione (basta una brochure con la lista dei prodotti trattati e una calcolatrice) e del sospetto che inevitabilmente farebbe sorgere nei confronti del produttore.

**Tensione**

Generalmente l'energia prodotta dai pannelli fotovoltaici Ã¨ a differenza di potenziale quasi costante, e le *tensioni di batteria* maggiormente utilizzate sul mercato sono 24 e 12 V. La differenza di potenziale prodotta effettivamente dal modulo fotovoltaico Ã¨ solitamente almeno 4 V superiore a questi valori, per permettere il caricamento di un'eventuale batteria di accumulo a questo collegata mediante un opportuno *regolatore di carica*.

**I prodotti in commercio**

 Un comune modulo fotovoltaico in silicio monocristallino

I moduli fotovoltaici in silicio cristallino piÃ¹ comuni hanno dimensioni variabili da 0,5 mÂ² a 1,5 mÂ², con punte di 2,5 mÂ² in esemplari per grandi impianti. Non vi Ã¨ comunque particolare interesse a costruire moduli di grandi dimensioni, a causa delle grosse perdite di prestazioni che l'intero modulo subisce all'ombreggiamento (o malfunzionamento) di una sua singola cella.

La potenza piÃ¹ comune si aggira intorno ai 150 Wp a 24 V, raggiunti in genere impiegando 72 celle fotovoltaiche. La superficie occupata dai modelli commerciali si aggira in genere intorno ai 7,5 mÂ²/kWp, ovvero sono necessari circa 7,5 metri quadrati di superficie per ospitare pannelli per un totale nominale di 1.000 Wp. Un esempio di corrente che produce un modulo di 50 Watt 12Volt a mezzogiorno d'estate= 3,5 A

I costi al cliente finale variano da 4,00 a 6,00 â‚¬ Wp (a gennaio 2006), con aumenti che si attestano intorno 10% su base annua. La causa di questa instabilitÃ  di prezzo Ã¨ da ricercarsi nel profondo squilibrio tra domanda e offerta, che al momento di scrivere sono in rapporto di quasi 10:1. In altre parole, dal 2004 ad oggi la tecnologia e le economie di scala dei produttori hanno dovuto fare i conti con una domanda di mercato improvvisamente esplosa a livello planetario, a causa sia dell'insicurezza sulle sorti degli altri mercati energetici, sia delle politiche di incentivazione delle fonti rinnovabili da parte di moltissimi governi. A fronte di un incremento della domanda mondiale del 200% da giugno2004 a giugno 2005, i produttori di silicio hanno risposto con un incremento della produzione di "solo" il 60%. Il rimanente squilibrio ha spinto verso l'alto le quotazioni del mercato.

**Innovazioni**

L'universitÃ  di Toronto ha inventato un materiale plastico che sfruttando nanotecnologie converte i raggi solari e infrarossi (quindi funziona anche con il tempo nuvoloso) in elettricitÃ . Si prevede che costruendo i futuri pannelli fotovoltaici con questo materiale se ne aumenteranno le prestazioni di cinque volte. PuÃ² essere inoltre usato come generatore portatile e quindi essere spruzzato su superfici di altri materiali (ad esempio vestiti o su una batteria di auto a idrogeno)

Si pensa che basterebbe ricoprire lo 0,1% della Terra di questa nuova tipologia di pannelli per sostituire tutte le centrali elettriche (per lo piÃ¹ ubicate nel primo mondo).