

ITI "Alessandro Volta" - Sassuolo
Anno Scolastico 2010 - 2011

IL FOTOVOLTAICO

Un investimento alla luce del sole

Progetto
SCU - TER
(Scuola - Territorio)

In collaborazione con:

SYSTEM S.p.A. - Sassuolo
Regione Emilia Romagna
Fondazione Aldini-Valeriani Bologna

Introduzione generale
Prof. Giuliano Ferrari

Fonti di produzione dell'energia elettrica

- La produzione di energia elettrica viene fatta ricorrendo a due tipi di fonti energetiche:
 - **Fonti esauribili:**
Come dice il nome stesso sono fonti la cui disponibilità risulta limitata; in questa categoria rientrano il carbone, il gas naturale, il petrolio e le sostanze radioattive; come tutti sappiamo il loro utilizzo presenta costi elevati e problemi di inquinamento ambientali che si fanno via via più pesanti a seguito di un sempre crescente fabbisogno energetico;
 - **Fonti rinnovabili:**
Sono a disposizione in quantità illimitata ed in genere il loro utilizzo è gratuito: il sole, il vento, l'acqua, il calore della Terra e le biomasse permettono di produrre energia elettrica con problemi di inquinamento e impatto ambientale molto ridotti.

La produzione di energia elettrica in Italia (dati anno 2008)

Bilancio dell'energia elettrica in Italia (GWh)	Giga Watt h	Peso
Produzione termica lorda	247.652	82%
Produzione da fonti rinnovabili lorda	55.669	18%
Totale produzione lorda	303.321	100%
Consumi destinati ai servizi ausiliari e pompaggi	-23.599	
Totale produzione netta	279.722	
Fabbisogno totale netto	325.357	
Importazioni	45.635	

La produzione di energia elettrica dalle principali fonti rinnovabili



FOTOVOLTAICO

Il fotovoltaico permette di trasformare direttamente in energia elettrica la luce associata alla radiazione solare, sfruttando le proprietà dei materiali semiconduttori come il silicio che, opportunamente trattati, generano energia elettrica quando sono colpiti dalla radiazione solare.



EOLICO

L'energia cinetica del vento viene convertita, attraverso apposite pale (pale eoliche), in energia meccanica mediante la quale vengono azionati gli alternatori che producono l'energia elettrica



IDROELETTRICO

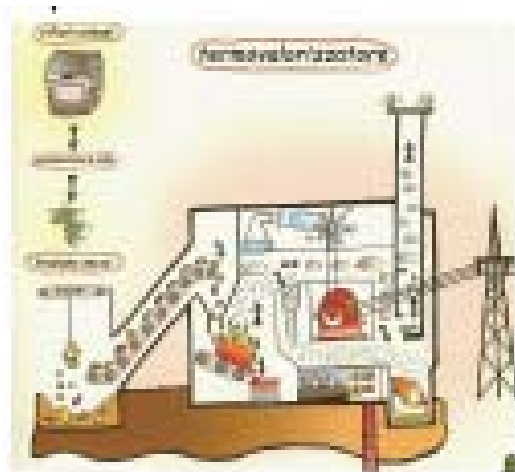
E' sicuramente la modalità di produzione dell'energia elettrica da fonti rinnovabili più conosciuta: l'acqua, raccolta a monte in grandi invasi, viene fatta defluire in una condotta forzata, al termine della quale è posta una turbina che mette in rotazione un alternatore.

La produzione di energia elettrica dalle principali fonti rinnovabili



GEOTERMICO

La geotermia sfrutta il calore che giunge dal centro della terra: il calore “immagazzinato” all'interno della crosta terrestre fluisce in alcune zone verso l'esterno attraverso fluidi “vettori” come l'acqua e/o il vapore, che vengono sfruttati dalle centrali geotermiche per la produzione di energia elettrica e/o riscaldamento domestico.



TERMOVALORIZZATORI

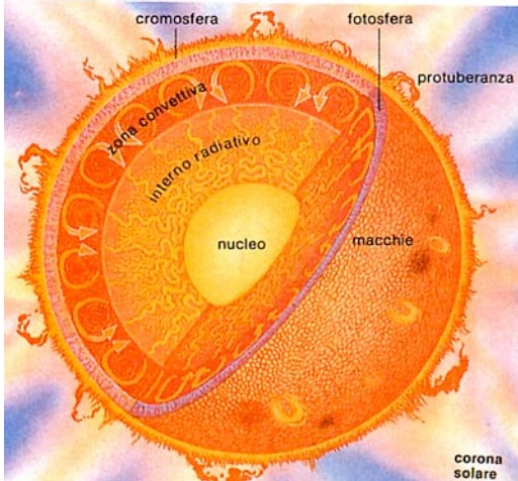
Con una produzione media pro capite di circa 500 Kg/anno i rifiuti sono diventati un vero problema per il genere umano; un modo razionale di smaltire i rifiuti che non possono essere riciclati e/o recuperati è quello di utilizzarli come combustibili, dopo averli opportunamente preselezionati e trattati.

In un termovalorizzatore si bruciano i rifiuti per produrre calore con il quale, attraverso l'uso di turbine a vapore, si genera energia elettrica; talvolta il calore generato viene impiegato anche in impianti di teleriscaldamento (impianti di cogenerazione da rifiuti)

La produzione di energia elettrica con il fotovoltaico



Il Sole e la radiazione solare



Il Sole, stella centrale del sistema planetario del quale fa parte la Terra, emana luce e calore da circa 4,55 miliardi di anni, a seguito delle reazioni termonucleari che avvengono al suo interno, dovute delle elevatissime temperature (circa 15.000.000 °C) e pressioni presenti nel suo nucleo.

La radiazione solare, dopo un viaggio di circa 150.000.000 di chilometri, raggiunge la Terra sottoforma di luce e calore con una potenza pari a **1.365KW/m²** ("**costante solare**").

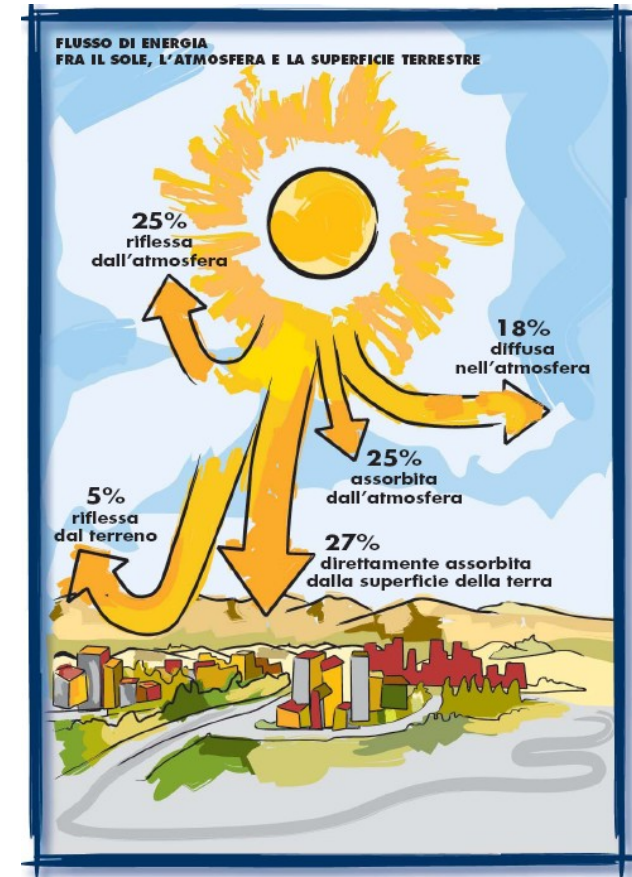
L'energia solare non raggiunge la superficie terrestre in modo costante: la sua quantità varia infatti dal giorno alla notte, da stagione a stagione; dipende inoltre dall'angolo di incidenza e dalle proprietà di riflessione delle superfici interessate.

- **Radiazione globale**

E' la radiazione ricevuta da 1m² di superficie orizzontale e comprende sia la **radiazione diretta** che giunge direttamente dal Sole e che è presente solo quando esso è visibile, che la **radiazione diffusa**, riflessa dal cielo, dalle nuvole e da eventuali superfici riflettenti presenti (vedi figura a fianco).

- **Intensità della radiazione globale**

Viene misurata con uno strumento chiamato **solarimetro** ed è riferita all'**unità di superficie**: l'unità di misura è il **W/m²** o il **KW/m²**.



Il fotovoltaico

- Il termine **fotovoltaico** deriva dall'unione di due parole:
 - **Foto**, dal greco *photon* che significa *luce*;
 - **Volt**, dal nome di *Alessandro Volta*, insigne scienziato inventore della pila e pioniere della moderna elettrotecnica.
- Il fotovoltaico è dunque la tecnologia che permette di produrre energia elettrica mediante la conversione diretta della luce del sole, senza l'uso di combustibili o parti meccaniche in movimento;
- La moderna tecnologia ci offre strumenti efficaci per ottenere energia elettrica dalla luce solare, tuttavia il fotovoltaico non può sostituire totalmente i metodi "tradizionali" in quanto la fonte di energia che lo alimenta non è disponibile 24 ore su 24 in modo continuo;
- L'uso del fotovoltaico può comunque limitare l'impiego di fonti esauribili quali il carbone, il petrolio e il gas naturale, contribuendo così alla salvaguardia dell'ambiente ed al risparmio energetico.



Celle fotovoltaiche



Fig. 1



Fig. 2

- La cella fotovoltaica rappresenta la più piccola unità in grado di trasformare la luce del sole in energia elettrica;
- La materia prima più utilizzata per la produzione delle celle fotovoltaiche è il silicio: tale materiale è presente in natura in grandissime quantità sottoforma di ossido di silicio, non utilizzabile direttamente per la produzione di celle fotovoltaiche;
- Attraverso tecniche di lavorazione alquanto complesse si ottengono due tipologie di silicio dal quale ricavare successivamente le celle fotovoltaiche:
 - Silicio monocristallino:
E' costituito da un cristallo singolo di silicio, con reticolo cristallino molto regolare e continuo; attraverso un processo di lavorazione denominato processo Czochralski si ottengono cristalli cilindrici lunghi circa 2m e di diametro pari a 45cm (figura 1)
 - Silicio policristallino (polisilicio):
E' costituito da cristalli di silicio disposti in modo casuale ("disallineati"), e può essere ottenuto mediante tecniche di produzione che prevedono il "riciclo" di componenti elettronici scartati mediante la loro fusione all'interno di un crogiolo e successivo raffreddamento per ottenere una composizione cristallina compatta (figura 2).
- I lingotti di silicio ottenuti in entrambi i casi vengono successivamente tagliati in fette molto sottili ("wafer") le cui facce vengono drogate in modo da ottenere una giunzione P-N che costituirà la cella fotovoltaica (figure 3 e 4).



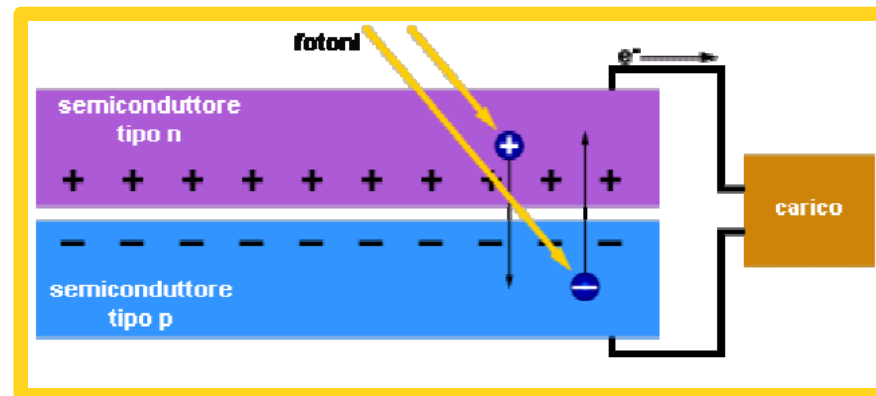
Fig. 3



Fig. 4

Principio di funzionamento di una cella fotovoltaica

- L'effetto fotovoltaico fu osservato per la prima volta dal fisico francese Edmund Becquerel: egli notò infatti che, se due elettrodi identici immersi in una soluzione debolmente conduttrice venivano illuminati, si generava una piccola corrente tra essi;
- La prima cella fotovoltaica al silicio è stata costruita nel 1954 negli Stati Uniti presso i Bell Laboratories;
- In sintesi il funzionamento di una cella fotovoltaica può essere descritto nel modo seguente:
 - Come si è accennato in precedenza la cella fotovoltaica è in pratica un diodo a giunzione PN;
 - Quando la giunzione viene illuminata si generano coppie elettrone – lacuna sia nella zona P che in quella N, in quanto i fotoni hanno energia sufficiente per spezzare i legami covalenti che tengono gli elettroni vincolati agli atomi di silicio che costituiscono il reticolo cristallino del wafer;
 - Il campo elettrico presente nella giunzione per effetto del drogaggio “separa” gli elettroni dalle lacune “spingendoli” in direzioni opposte;
 - Se si connette la giunzione P-N ad un carico esterno si ottiene, fino a che permane l'illuminazione, un flusso costante di elettroni dalla zona N alla zona P (corrente fotovoltaica).



Principali tipologie di celle fotovoltaiche



- **SILICIO POLICRISTALLINO**

Il materiale fuso ottenuto dalla lavorazione viene versato in crogioli di forma quadrata: dopo il raffreddamento i lingotti vengono tagliati in wafer di spessore tra i 230 e i 350 μm : i caratteristici riflessi cangianti che presenta la superficie sono dovuti alla disposizione casuale dei cristalli di silicio nel materiale.



- **SILICIO MONOCRISTALLINO**

I lingotti cilindrici ottenuti dal processo di lavorazione vengono sezionati in wafer di spessore compreso fra i 200 e i 300 μm di colore argento lucido; ai wafer vengono date forme più o meno squadrate in modo da diminuire gli spazi inutilizzati nei moduli nei quali vengono successivamente montate.

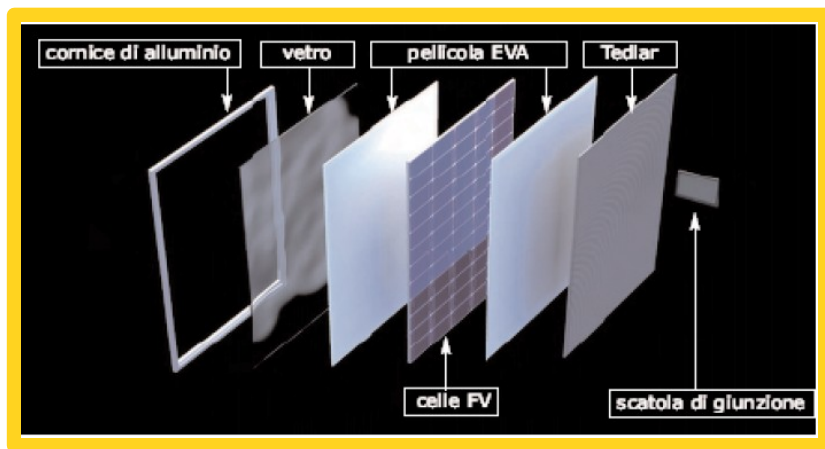
- **FILM SOTTILE**

Le celle a film sottile vengono ottenute vaporizzando il silicio e depositandolo su lastre di vetro o lamine di altro materiale; lo strato di silicio utilizzato ha uno spessore di circa 2 μm .

Le celle a film sottile hanno minore efficienza delle altre, ma sono meno sensibili alle variazioni di temperatura e producono energia anche in situazioni di scarsa illuminazione (alba – tramonto); con la tecnologia a film sottile si possono inoltre realizzare moduli fotovoltaici “flessibili”, facilmente adattabili alle superfici sulle quali andranno installati.



Il modulo fotovoltaico



- Il modulo è il componente di base di un generatore fotovoltaico;
- Esso è formato da più celle, collegate fra loro in modo da ottenere i valori di tensione e corrente più adatti ai normali impieghi;
- Le celle fotovoltaiche vengono ricoperte da un doppio strato di EVA (Etilene Vinyl Acetate), che ha lo scopo di proteggerle e ritardarne il processo di ingiallimento dovuto ai raggi UV;
- La parte anteriore del modulo viene ricoperta con una lastra di vetro temperato ad elevate caratteristiche ottiche, che ha lo scopo di proteggere le celle dalle intemperie e ridurre il più possibile gli effetti di riflessione della luce, mentre la parte posteriore viene protetta con uno strato plastificato impermeabile all'aria e all'acqua;
- Un telaio di alluminio tiene assieme tutte le varie parti, conferendo al modulo le necessarie caratteristiche di compattezza e solidità per il montaggio dello stesso negli impianti fotovoltaici.

Parametri caratteristici di un modulo fotovoltaico

DESCRIZIONE		SIMBOLO
Tipo celle	Mono/Poly	
Numero di celle	nr	
Dimensioni cella	mm	
Potenza massima di picco	Watt	Wp
Tensione a circuito Aperto	Volt	Voc
Corrente di corto circuito	Ampere	Isc
Tensione alla massima potenza	Volt	Vpm
Corrente alla massima potenza	Ampere	Ipm
Efficienza della cella	η_c	%
Efficienza del modulo	η_m	%
Altezza	mm	
Larghezza	mm	
Profondità	mm	
Peso	Kg	
Tolleranza	%	

Caratteristiche principali di un pannello fotovoltaico

- **Numero di celle presenti in un modulo**

Il numero massimo di celle presenti è limitato soprattutto dalla necessità di avere moduli facilmente installabili anche in condizioni operative difficili: si cerca quindi di ridurre al massimo le dimensioni ed il peso dei singoli moduli cercando di salvaguardare il più possibile l'efficienza degli stessi.

- **Potenza di picco (Wp)**

E' forse il parametro più significativo da prendere in considerazione in fase di progetto di un impianto fotovoltaico: esso esprime la potenza elettrica in Watt generata dal modulo fotovoltaico in presenza di un irraggiamento solare pari a 1000W/m² ed a una temperatura delle celle di 25°C

- **Efficienza di conversione**

E' il rapporto, espresso in percentuale, tra l'energia solare raccolta dalla superficie del modulo e la potenza di picco Wp prodotta dallo stesso:

$$\text{Efficienza} = \frac{\text{Potenza di picco [Wp]}}{\text{Area Modulo [m}^2\text{]}} \cdot 100$$

Dal valore dell'efficienza di conversione è possibile ricavare la superficie necessaria a generare la potenza richiesta dall'impianto; in genere per ottenere 1KWp sono necessari circa 9 m² di superficie con pannelli in silicio monocristallino.

- **Condizioni ambientali di funzionamento**

Oltre alle caratteristiche elettriche è importante conoscere anche i parametri relativi alle condizioni ambientali: normalmente i pannelli operano tra -40 e +90°C con tassi di umidità fino al 90%. La temperatura delle celle influenza notevolmente le loro prestazioni: i costruttori forniscono in proposito coefficienti di variazione in % relativi alle caratteristiche elettriche del pannello.

Caratteristiche tecniche di moduli fotovoltaici commerciali



FVG 36
POLICRISTALLINO
MONOCRISTALLINO



FVG 36

Moduli Fotovoltaici in silicio Monocristallino o Policristallino Potenza di picco da 10W a 50W

DESCRIZIONE GENERALE

I moduli fotovoltaici FVG 36 sono indicati per sistemi stand alone, illuminazione pubblica e privata, sistemi di rilevamento e trasmissione dati, segnaletica stradale, telecomunicazioni, ecc. FVG ENERGY S.p.A. utilizza materiali di prima qualità per garantire che i moduli fotovoltaici siano affidabili e produttivi nel lungo periodo. L'impiego di materie prime di Classe "A" permette di ottenere moduli ad alta efficienza e con minime tolleranze. Sono prodotti in conformità agli standard IEC 61215.

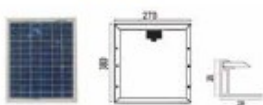
CARATTERISTICHE

- I moduli fotovoltaici FVG 36 sono costruiti con 36 celle in silicio monocristallino o policristallino.
- La protezione delle celle verso l'esterno è resa possibile grazie ad un vetro prismatico temperato ad altissima trasparenza e ad un foglio di Tedlar, il tutto incapsulato sottovuoto ad un'elevata temperatura tra due fogli EVA (Ethylene Vinyl Acetate).
- Una robusta cornice in alluminio anodizzato rende i moduli estremamente resistenti.
- Il processo di produzione assicura alle celle fotovoltaiche la massima protezione anche se sottoposte alle più gravose condizioni di lavoro ed alle più difficili condizioni ambientali.
- Sono realizzati da personale altamente specializzato utilizzando tecnologie e macchinari all'avanguardia.

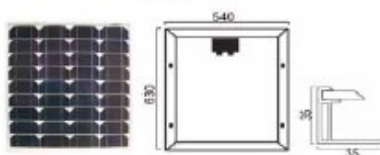


DIMENSIONI E INGOMBRI

FVG 10P



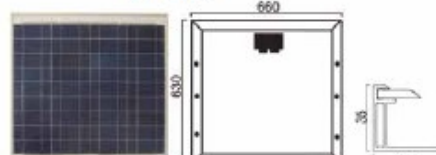
FVG 40M



FVG 25M



FVG 50P



CARATTERISTICHE ELETTRICHE

Modello	FVG 36	10P	25M	40M	50P
Potenza massima	Pm (W)	10	25	40	50
Tensione alla massima potenza	Vm (V)	17,5	17,1	17,3	17,5
Corrente alla massima potenza	Im (A)	0,57	1,46	2,32	2,90
Tensione a circuito aperto	Voc (V)	21	21,8	21,9	22
Corrente di corto circuito	Isc (A)	0,66	1,76	2,56	3,20
Tensione massima di sistema	(VDC)	600			
Tolleranza parametri elettrici	(%)	±5			
Dimensione della cella	(mm)	75 x 25	125 x 42	125 x 62,5	156 x 64
Configurazione delle celle		36 celle in serie - silicio monocristallino o policristallino			
Massima corrente fusibili in serie	(A)	5			
Pm Variazione potenza con la temperatura	(% / °C)	-0,45			
Voc Variazione tensione con la temperatura	(% / °C)	-0,35			
Isc Variazione corrente con la temperatura	(% / °C)	0,05			
NOCT - Temperatura nominale celle	(°C)	47 ± 2			
Temp. di funz. / Condizioni di conservazione	(°C)	- 40 ~ + 85			
Isolamento elettrico	(VDC)	1800			
Condizioni di test standard	(STC)	1000 W/m ² ; 1,5 AM e 25 °C temperatura delle celle			
Codice	MEM / MFP	50102	50107	50110	50116

SCATOLE DI GIUNZIONE

FVG 10W



- Senza cavi
- Contatti positivo e negativo
- Pressacavo unico per cavo fino a 6 mm

FVG 25-40-50W



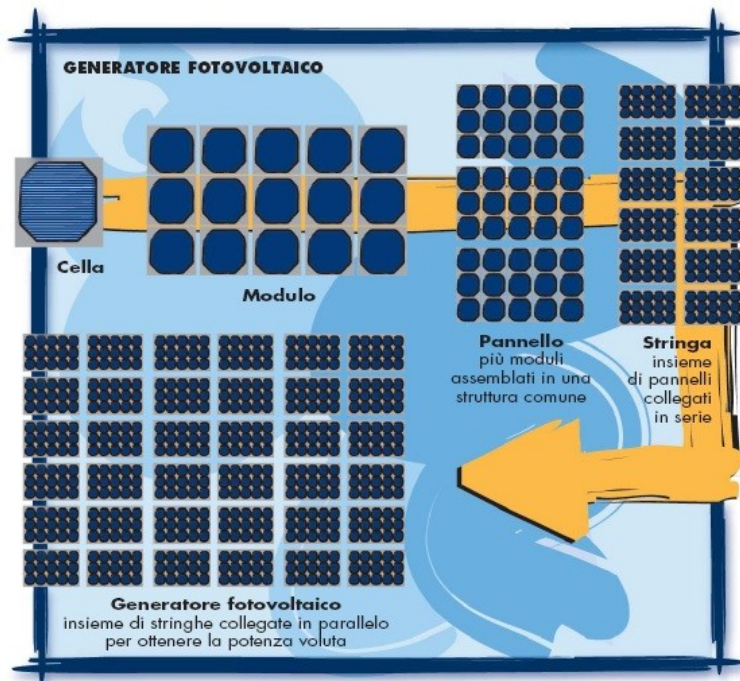
- Senza cavi
- Contatti positivo e negativo
- 2 pressacavi con diametro massimo per cavo da 6 mm

CONDIZIONI DI GARANZIA:

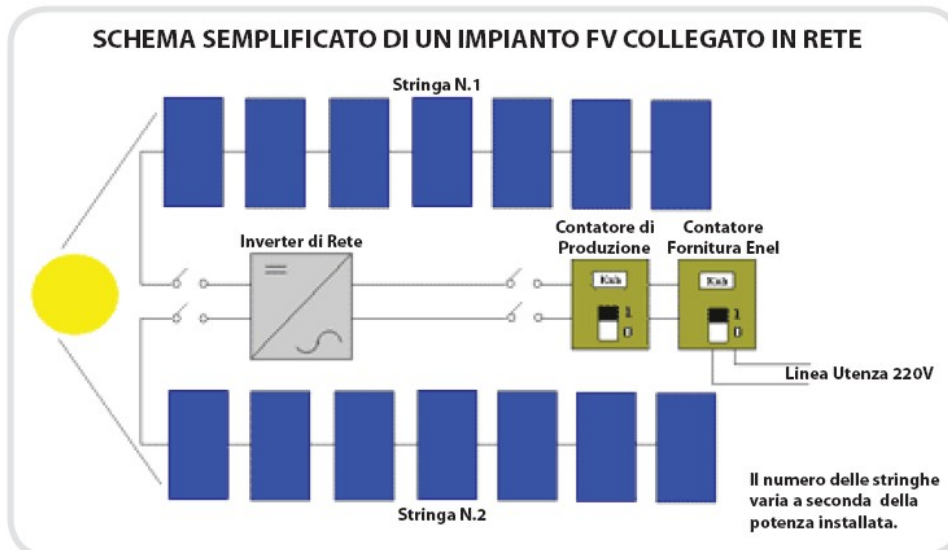
- GARANZIA COMMERCIALE DI 3 ANNI SUI MATERIALI E SUI DIFETTI DI FABBRICAZIONE
- I valori di potenza d'uscita sono quelli stabiliti dalle seguenti condizioni di misurazione standard di FVG ENERGY S.p.A.:
- spettro luminoso di 1,5 AM;
- irradiazione di 1.000 W per m²;
- temperatura delle celle di 25 °C.



Il generatore fotovoltaico

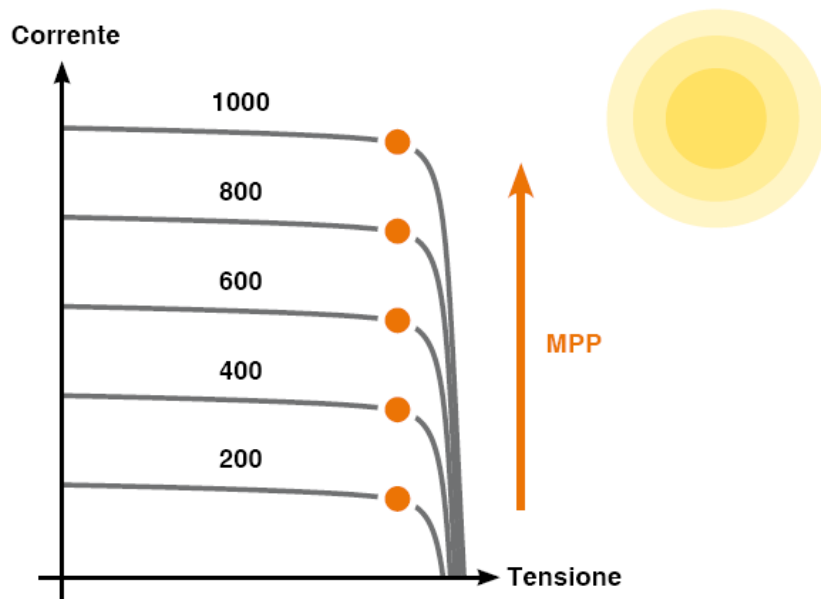


- Un generatore fotovoltaico è costituito da un insieme di moduli ed apparecchiature connessi tra loro in modo da fornire l'energia richiesta ai diversi utilizzatori ad esso collegati.
- Dapprima i moduli fotovoltaici vengono collegati in serie tra loro per ottenere la tensione richiesta; il collegamento in serie di più moduli prende il nome di stringa. La corrente di stringa sarà quella fornita da ogni singolo modulo, mentre la tensione di stringa sarà data dalla somma delle tensioni dei diversi moduli presenti.
- In seguito le diverse stringhe vengono collegate in parallelo e connesse ad un inverter, dal quale viene prelevata la tensione alternata a 220V – 50Hz per gli usi domestici e per l'immissione in rete nazionale.
- Tra le apparecchiature di controllo è presente un doppio contatore che ha il compito di misurare sia l'energia utilizzata localmente che quella venduta alla rete nazionale ("Conto Energia").



L'inverter per impianti fotovoltaici

- Come si è già accennato in precedenza il compito principale dell'inverter è quello di trasformare la tensione continua prodotta dai pannelli solari in tensione alternata (generalmente 220V – 50Hz) adatta agli usi domestici;
- Gli inverter per impianti fotovoltaici hanno tuttavia al loro interno, rispetto a quelli “tradizionali”, particolari sistemi di controllo in grado di estrarre dai pannelli solari la massima potenza disponibile in qualsiasi condizione meteorologica: questa funzione, molto importante, prende il nome di Maximum Power Point Tracker (MPPT).



- I moduli fotovoltaici hanno infatti una curva caratteristica tensione – corrente nella quale è possibile individuare un punto di lavoro ottimale, detto Maximum Power Point (MPP), nel quale si ha il massimo della potenza disponibile;
- Questo punto della caratteristica varia continuamente in funzione del livello di radiazione solare: talvolta, in giornate con nuvolosità variabile, è comune rilevare sbalzi di radiazione solare da 100W/m² a 1000 – 1200 W/m² in meno di 2 secondi: è quindi importante che l'MPPT sia “rapido” nell'inseguimento dell'MPP;
- La funzione che viene svolta dal dispositivo MPPT è appunto quella di mantenere l'inverter “agganciato” al MPP con un tempo di assestamento il più rapido possibile: con tempi di assestamento minori di 5 secondi si riesce a produrre fino al 15-20% di energia in più rispetto ad inverter più “lenti” in questo tipo di prestazione.

Principali tipologie di inverter per impianti fotovoltaici

- **Inverter “Grid Connected”**

Vengono utilizzati in impianti che prevedono il collegamento alla rete nazionale, permettendo così la vendita dell'energia prodotta (“Conto Energia”); le loro caratteristiche costruttive debbono sottostare a norme e/o prescrizioni stabilite dal gestore della rete stessa.



- **Inverter “Stand Alone”**

Vengono utilizzati in impianti che non prevedono il collegamento alla rete nazionale (p.es. quelli realizzati in baite e/o rifugi di montagna); spesso sono connessi a batterie di accumulatori e dispongono di un apposito regolatore di carica per la gestione ottimale di questi ultimi.



Aspetti progettuali e realizzativi di un impianto fotovoltaico

- **Componenti di un impianto fotovoltaico**

I principali componenti di un impianto fotovoltaico sono:

- Moduli fotovoltaici;
- Inverter;
- Quadri elettrici e/o scatole di derivazione, cavi di collegamento;
- Contatore energia prodotta (semplice o doppio a seconda che sia previsto o meno il collegamento alla rete nazionale);
- Telai e strutture di sostegno dei pannelli fotovoltaici.

- **Aspetti progettuali**

Nella fase di progettazione e realizzazione di un impianto fotovoltaico occorre:

- Verificare la quantità di energia richiesta dall'utente;
- Rilevare i valori relativi all'irradiazione solare e alle variazioni di temperatura della zona di installazione;
- Ricercare la soluzione ottimale in termini di produttività, configurando l'impianto in base alle caratteristiche del sito nel quale verrà installato (tetto di un edificio, parete, terreno ecc.).

- **Costi indicativi**

Indicativamente il costo “chiavi in mano” di un impianto fotovoltaico da 1KWp si aggira intorno ai 7000€ + IVA: l'acquisto dei pannelli fotovoltaici copre circa il 60 – 65% di tale cifra.

E' ovvio che una valutazione corretta del costo può essere fatta solamente dietro sopralluogo di personale esperto, in grado di valutare accuratamente tutte le caratteristiche del sito di installazione dell'impianto.

Installazione dei moduli fotovoltaici

- **Superficie totale di pannelli da installare**

La superficie di pannelli fotovoltaici che deve essere messa in opera dipende ovviamente dalla potenza che si vuole ottenere dall'impianto; facendo riferimento a 1KWp si possono dare i seguenti valori approssimativi per le superfici da installare:

Materiale utilizzato	Superficie per 1KWp
Silicio monocristallino	7 – 9 m ²
Silicio policristallino	8 – 11 m ²
Film sottile	11 – 13 m ²

- **Numero di moduli necessari per generare la potenza richiesta**

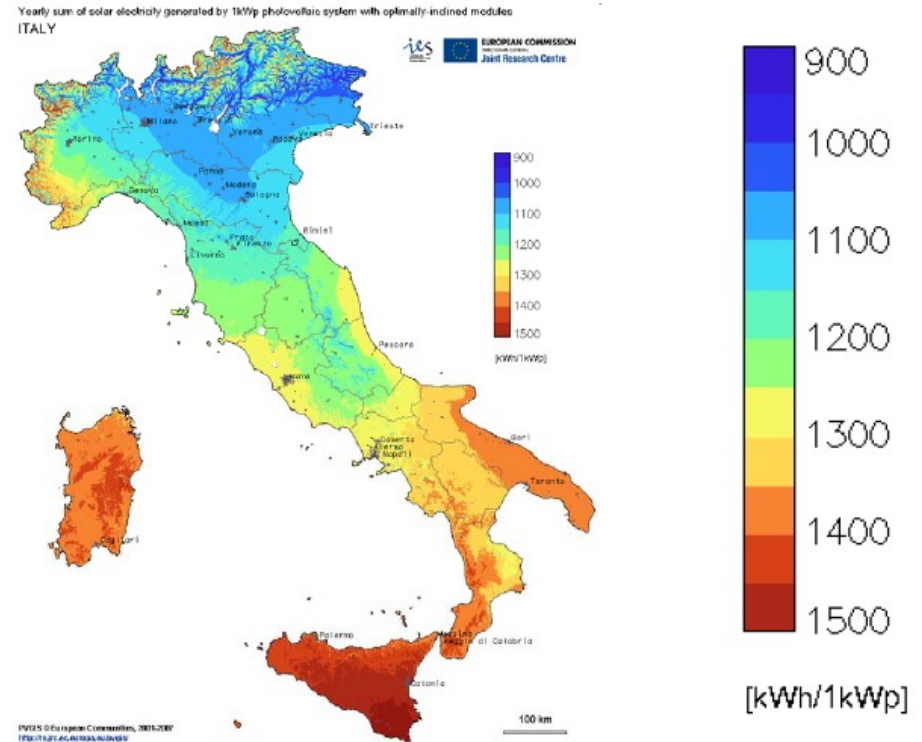
Il numero di moduli necessari a generare la potenza richiesta va calcolato prendendo in esame le caratteristiche tecniche dei diversi modelli presenti sul mercato, tra le quali è indicata la potenza di picco (Wp) erogata: il numero di moduli necessari si ottiene dividendo la potenza richiesta per quella erogata da ogni singolo modulo prescelto.

- **Spazi necessari all'installazione**

Dipendono sostanzialmente dal tipo di installazione adottata: i moduli vanno collegati tra loro a formare le stringhe e, se non sono integrati nel tetto e/o in facciata occorre tener conto degli ulteriori ingombri dovuti alle cornici ed ai supporti di sostegno.

Energia prodotta da un impianto fotovoltaico in Italia

- In Italia, paese del sole per antonomasia, si trova una situazione estremamente favorevole riguardo alla produzione di energia elettrica con il fotovoltaico;
- La cartina inserita a fianco riporta l'energia media prodotta annualmente, nelle varie zone geografiche, da un impianto da 1kWp esposto a Sud ed in condizioni ottimali di orientamento ed illuminazione;
- I valori riportati si basano su osservazioni statistiche di lungo periodo: gli impianti in genere producono circa i $\frac{3}{4}$ della resa annuale durante la primavera – estate e il rimanente $\frac{1}{4}$ in autunno - inverno.



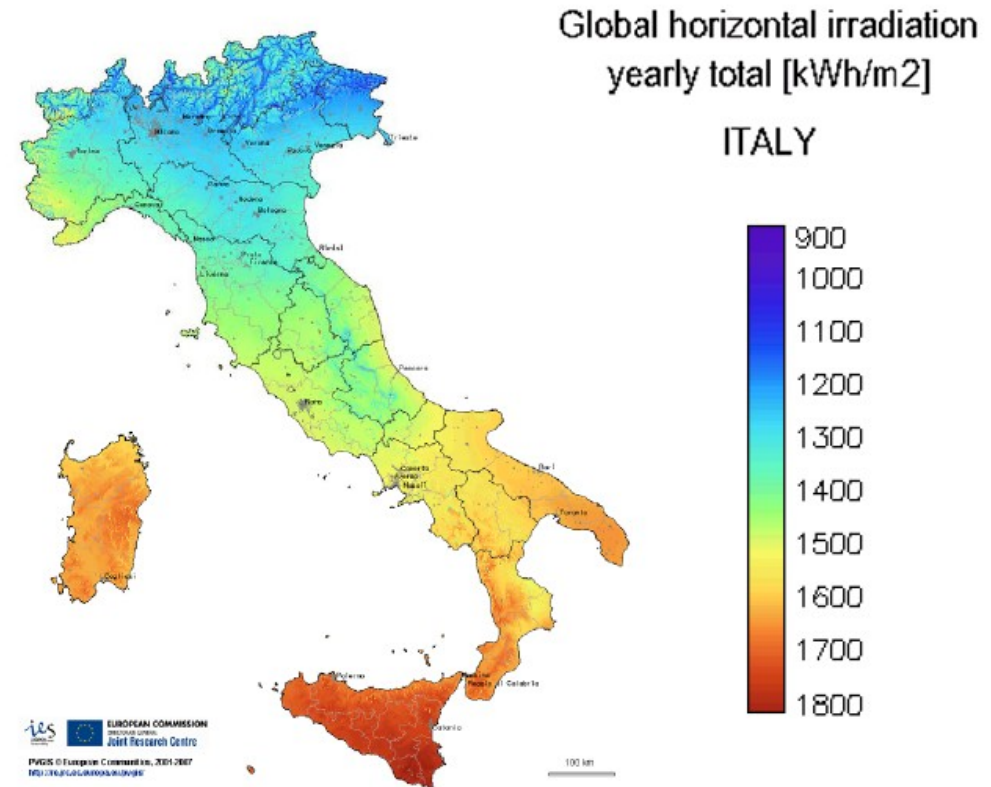
Fattori che influenzano la produzione di energia con il fotovoltaico

Irraggiamento solare e posizione geografica dell'impianto

- **IRRAGGIAMENTO SOLARE**

E' la quantità di energia solare incidente su una superficie di 1m^2 in 1 giorno [$\text{Kwh}/\text{m}^2/\text{giorno}$];

- L'irraggiamento è influenzato dalle condizioni climatiche locali e dipende sostanzialmente dalla latitudine del luogo;
- L'irraggiamento solare medio annuale in Italia è riportato nella cartina a fianco.



Fattori che influenzano la produzione di energia con il fotovoltaico

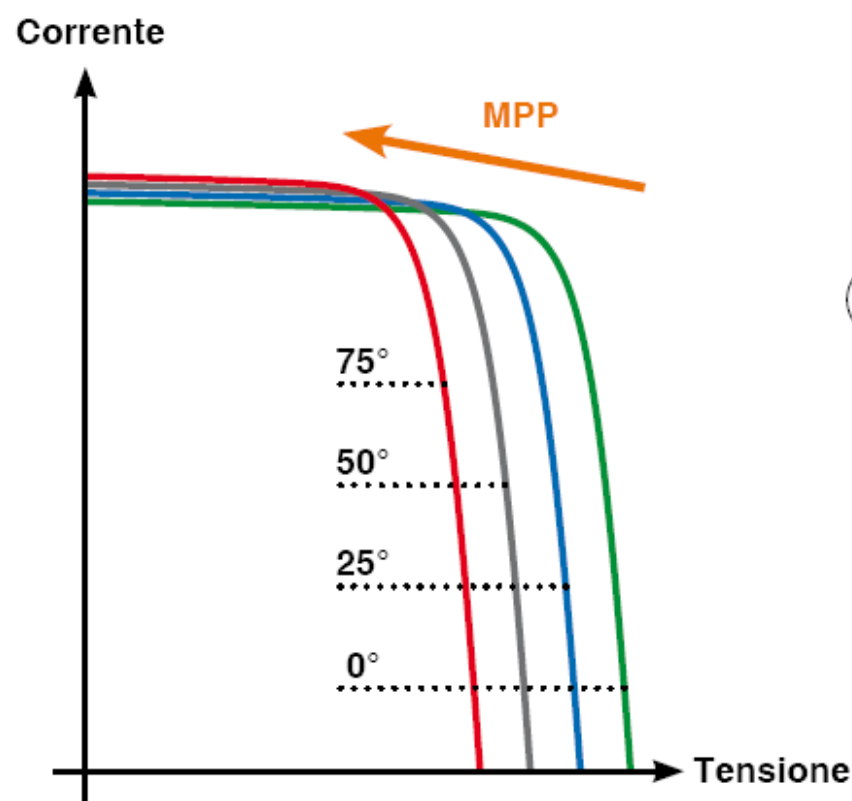
Temperature di esercizio dell'impianto

- **TEMPERATURA DEL PANNELLO**

Le variazioni di temperatura alla quale operano le celle di un pannello fotovoltaico influiscono sia sulla corrente che sulla tensione prodotte dallo stesso;

- Come si può osservare dalla figura a fianco un aumento di temperatura provoca una riduzione sia del valore di tensione che di quello di corrente;

- Per moduli in silicio cristallino si può stimare un calo di potenza di circa lo 0.5% per ogni °C di aumento della temperatura rispetto al valore di riferimento di 25°C.



Fattori che influenzano la produzione di energia con il fotovoltaico

Modalità di irraggiamento dei pannelli e loro inclinazione - 1

- **Componenti della radiazione solare**

La radiazione solare che raggiunge un pannello viene normalmente distinta in 3 componenti (vedi figura):

- **Diretta**

Colpisce il pannello con un ben determinato angolo di incidenza dipendente sostanzialmente dalla latitudine del luogo;

- **Diffusa**

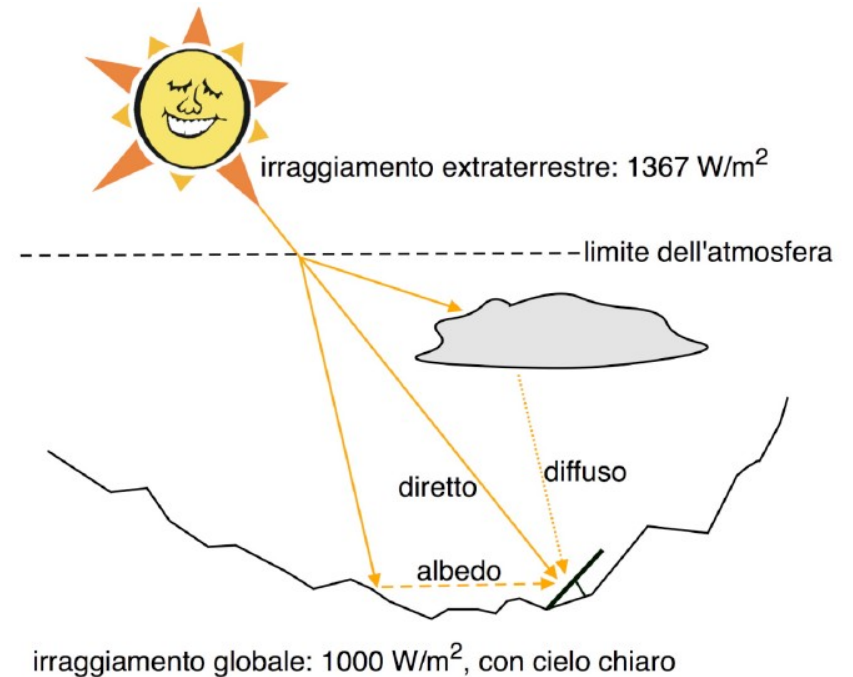
Colpisce il pannello a seguito della diffusione della luce solare ad opera delle nuvole, delle nebbie presenti ecc;

- **Albedo**

Colpisce il pannello a seguito della riflessione della luce a opera della superficie terrestre stessa;

- **Tutte le componenti investono il pannello con una proporzione tra loro dipendente da:**

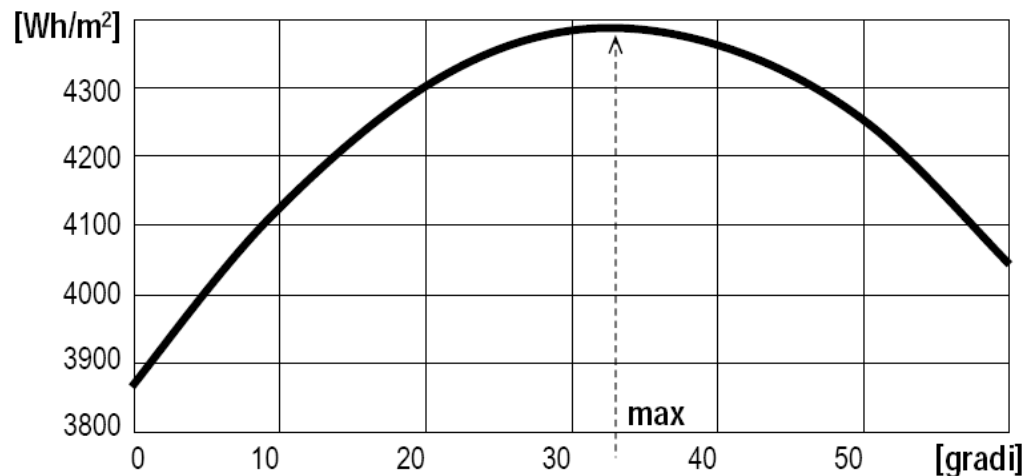
- Condizioni meteorologiche;
- Inclinazione ed orientamento della superficie del pannello;
- Presenza e tipologia di elementi riflettenti nelle vicinanze.



Fattori che influenzano la produzione di energia con il fotovoltaico

Modalità di irraggiamento dei pannelli e loro inclinazione - 2

- L'ottimo in termini di prestazioni si otterrebbe con il modulo posizionato perpendicolarmente ai raggi solari; in Italia normalmente i pannelli vengono esposti a SUD con un'inclinazione (TILT DEL PANNELLO) variabile tra i 30 e i 40° rispetto all'orizzontale;
- Per inclinazioni e orientamenti diversi, dati di volta in volta dalle necessità relative all'installazione dell'impianto, si ricorre ad apposite tabelle e/o strumenti software di calcolo messi a disposizione da vari organismi (Servizio Meteorologico Nazionale, ENEA ecc);
- Nel grafico inserito a fianco, ad esempio, viene riportato l'andamento medio su base annua della radiazione solare giornaliera a Firenze (latitudine 43,7° Nord) con esposizione a SUD in funzione dell'angolo di inclinazione: si nota il massimo in corrispondenza di circa 30 - 35°.



Fattori che influenzano la produzione di energia con il fotovoltaico

Ombreggiamenti

- E' evidente che occorre evitare il più possibile di collocare i moduli nelle vicinanze di oggetti, alberi o costruzioni che possono creare zone d'ombra sugli stessi;
- Le ombre causate da installazioni fisse si muovono seguendo il movimento del sole e quindi la loro posizione può essere calcolata in modo molto preciso: nell'immagine animata riportata a fianco (fonte: <http://www.energethics.it/>) viene riportata una rappresentazione “a farfalla” delle ombre proiettate nel sito di installazione di un impianto;
- Accurati interventi di manutenzione e/o pulizia provvederanno ad eliminare gli ombreggiamenti “occasionalì” dovuti a polvere, innevamenti, escrementi di uccelli ecc.



Resa di un impianto fotovoltaico

- **PERDITE**

- Nel calcolo dell'energia prodotta da un impianto fotovoltaico occorre tenere conto di alcune perdite che possono essere così quantificate:

- Riscaldamento delle celle fotovoltaiche: 7 - 10%;
- Tolleranze relative alle prestazioni dei moduli installati: 3%;
- Ombreggiamenti: 2%;
- Riflessioni della radiazione solare: 2%;
- Effetto Joule: 1%;
- Rendimento inverter: 6%;

- *Il totale delle perdite varia quindi dal 18 al 24%: è uso comune assumere un valore di riferimento pari al 20% per un impianto installato a regola d'arte.*

Tabelle per il calcolo dell'energia prodotta da un impianto

Resa media giornaliera e annuale (KWh) per un impianto da 1KWp su piano orizzontale

TABELLA 1

LABFoto
voltaico



Resa media giornaliera (su base mensile) e **resa complessiva annuale in kWh per 1 kWp** installato sul piano **orizzontale**, **in forma tabellare** per le maggiori località italiane

Località	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media Annuale
Agrigento	2,44	3,47	4,69	6,17	7,47	8,19	8,22	7,50	5,81	4,06	2,81	2,28	1923
Alessandria	1,31	2,08	3,22	4,39	5,14	5,69	6,28	5,00	3,72	2,36	1,50	1,17	1276
Ancona	1,19	2,11	3,36	5,08	6,42	6,69	7,22	6,11	4,44	2,92	1,53	1,14	1471
Cagliari	2,03	2,72	4,00	5,14	6,25	6,94	7,58	6,64	4,89	3,39	2,25	1,78	1635
Nuoro	1,92	2,67	3,94	5,25	6,56	7,28	7,78	6,64	5,03	3,42	2,14	1,67	1655
Oristano	1,94	2,75	3,97	5,22	6,47	7,14	7,67	6,67	5,06	3,50	2,17	1,69	1654
Sassari	1,89	2,72	3,94	5,28	6,69	7,39	7,81	6,67	5,17	3,50	2,08	1,61	1669



SARDEGNA
RICERCHE

Seminario tecnico sugli impianti fotovoltaici per amministrazioni ed enti pubblici
Ing. Alessandro PISANO. Cagliari, 19 settembre 2008. Sala Anfiteatro, via Roma 253

Tablelle per il calcolo della produzione di un impianto

Fattori correttivi di resa in base all'orientamento e all'inclinazione (tilt) dei pannelli

TABELLA 2

nord Italia

orientamento	tilt 0°	tilt 10°	tilt 15°	tilt 20°	tilt 30°	tilt 40°	tilt 60°	tilt 90°
0° SUD	1,00	1,07	1,09	1,11	1,13	1,12	1,03	0,74
± 15°	1,00	1,06	1,09	1,10	1,12	1,11	0,99	0,74
± 30°	1,00	1,06	1,07	1,09	1,10	1,09	0,96	0,73
± 45°	1,00	1,04	1,06	1,07	1,07	1,05	0,93	0,72
± 90° EST-OVEST	1,00	0,99	0,98	0,96	0,93	0,89	0,77	0,57

sud Italia

orientamento	tilt 0°	tilt 10°	tilt 15°	tilt 20°	tilt 30°	tilt 40°	tilt 60°	tilt 90°
0° SUD	1,00	1,06	1,08	1,10	1,11	1,10	0,99	0,68
± 15°	1,00	1,06	1,08	1,09	1,10	1,09	0,99	0,68
± 30°	1,00	1,05	1,07	1,08	1,08	1,07	0,96	0,68
± 45°	1,00	1,04	1,05	1,06	1,06	1,03	0,93	0,67
± 90° EST-OVEST	1,00	0,99	0,97	0,96	0,92	0,87	0,75	0,55

Esempio di calcolo dell'energia prodotta annualmente da un impianto fotovoltaico

- Impianto da 2,94KWp installato a Cagliari

- Ipotizzando che i pannelli siano installati su un piano orizzontale, dalla TABELLA 1 si ottiene una resa media annua di 1635KWh per ogni KWp installato; si ha dunque

$$2,94[\text{KWp}] \times 1635[\text{KWh/KWp}] = 4,8[\text{MWh}]$$

- Supponendo che i pannelli siano inclinati (tilt) di 20° e con uno scostamento rispetto al SUD di ±15° (la direzione non ha in pratica importanza), la TABELLA 2 fornisce un fattore correttivo di 1,09; si ottiene quindi:

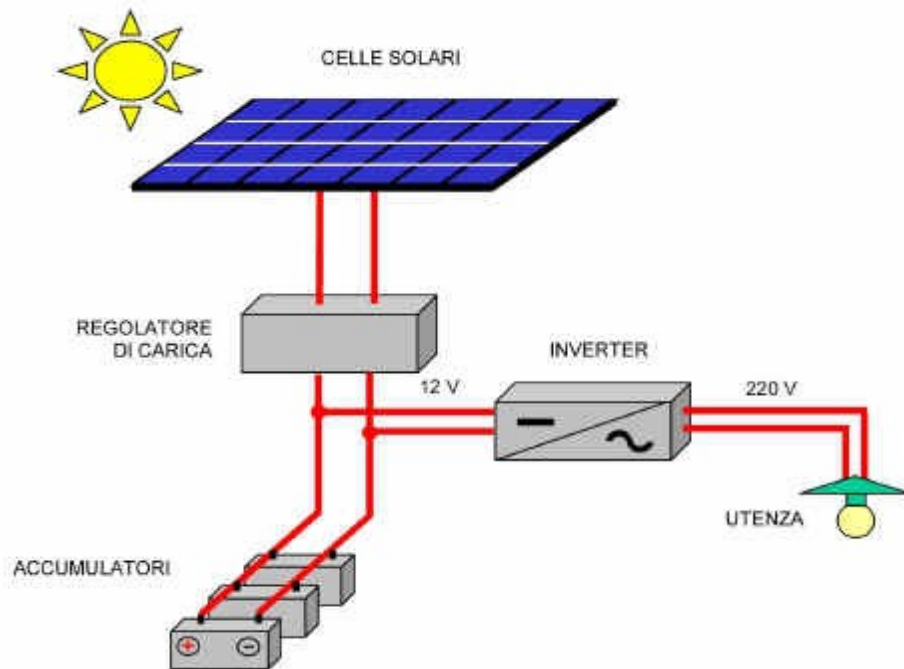
$$4,8[\text{MWh}] \times 1,09 = 5,23[\text{MWh}]$$

- Tenendo conto delle perdite, ipotizzate come detto in precedenza in ragione del 20% circa si ha infine:

$$5,23[\text{MWh}] \times 0,8 = 4,18[\text{MWh}]$$

Principali tipologie di impianti fotovoltaici

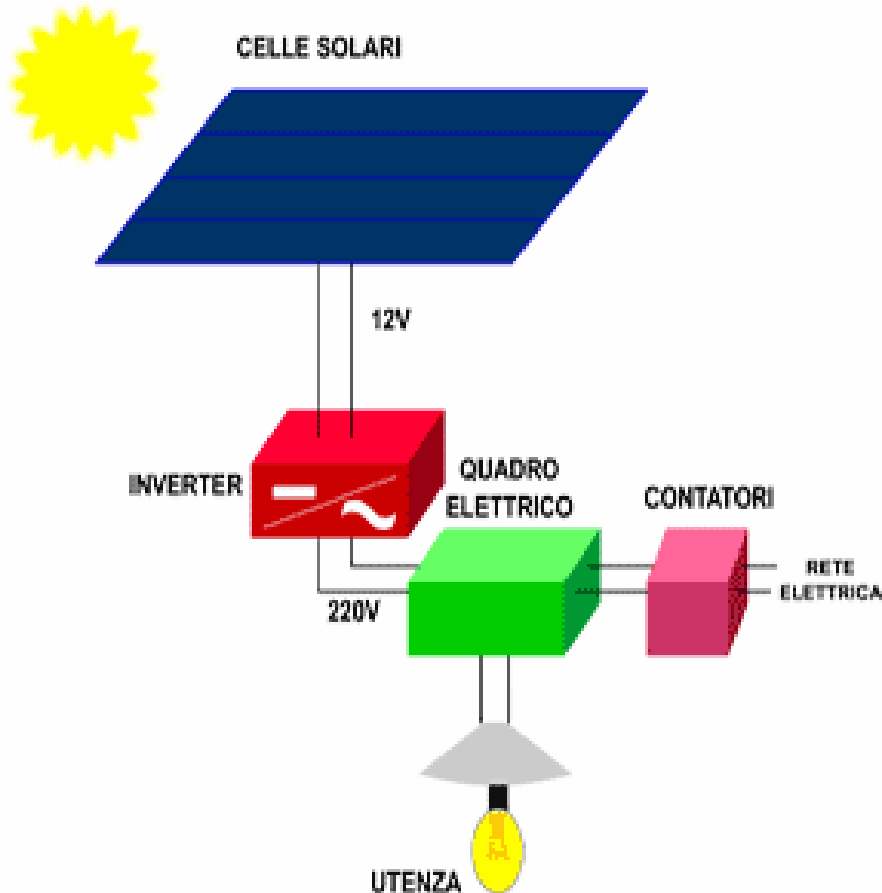
Impianto "Stand Alone"



- Sono impianti non connessi alla rete nazionale, nei quali l'energia prodotta viene consumata direttamente dell'utente;
- Vengono impiegati soprattutto in luoghi dove non arriva la rete elettrica o risulta molto costoso farla giungere;
- L'energia prodotta in eccedenza viene accumulata in apposite batterie ed utilizzata nelle ore nelle quali non c'è insolazione;
- Principali utilizzi:
 - Case isolate, rifugi e/o baite di montagna;
 - Imbarcazioni;
 - Pompaggio dell'acqua in agricoltura;
 - Alimentazione di ripetitori radio/TV;
 - Segnaletica e illuminazione stradale;
 - Giocattoli, orologi, telecamere di sorveglianza ecc.

Principali tipologie di impianti fotovoltaici

Impianto "Grid Connected"



- Sono impianti connessi alla rete nazionale, nei quali l'energia prodotta viene sia consumata direttamente dall'utente che immessa in rete;
- La presenza della rete elettrica garantisce l'energia anche in assenza di insolazione e permette di "ricevere" l'energia prodotta in eccedenza dall'impianto fotovoltaico, dando modo all'utente di avere un guadagno economico attraverso gli incentivi del cosiddetto "Conto Energia";
- La necessità di dover integrare i pannelli fotovoltaici con le strutture architettoniche ha dato origine a svariate tipologie di materiali per installazioni su coperture, facciate, elementi di rivestimento ecc.

Inseguitori solari

- In un pannello fotovoltaico la produzione di energia è tanto maggiore quanto più l'angolo con il quale i raggi solari lo colpiscono (angolo di incidenza) si avvicina alla verticale (90°);
- In generale i pannelli fotovoltaici vengono installati in modo fisso, con un orientamento ed un'inclinazione tali da ottenere, durante i diversi giorni dell'anno, il massimo angolo di incidenza possibile per i raggi solari;
- Gli inseguitori solari permettono di migliorare le prestazioni di un pannello fotovoltaico posizionandolo costantemente, nel corso della giornata, in modo ottimale rispetto al sole.



- Dal punto di vista del movimento previsto per i pannelli gli inseguitori solari si suddividono in:

- Monoassiali (inseguitori di AZIMUTH – movimento sull'asse verticale):

Il movimento viene pilotato da un sistema di tipo “astronomico”, ossia seguendo il movimento del sole da Est a Ovest nella giornata: alla fine della stessa il pannello viene riportato ad Est;

- Biassiali: (inseguitori di AZIMUTH e di TILT – movimento sull'asse orizzontale e verticale):

Il movimento viene pilotato sia sull'asse verticale, come descritto in precedenza, che su quello orizzontale, utilizzando fotocellule in grado di rilevare l'intensità luminosa più forte presente in ogni momento.



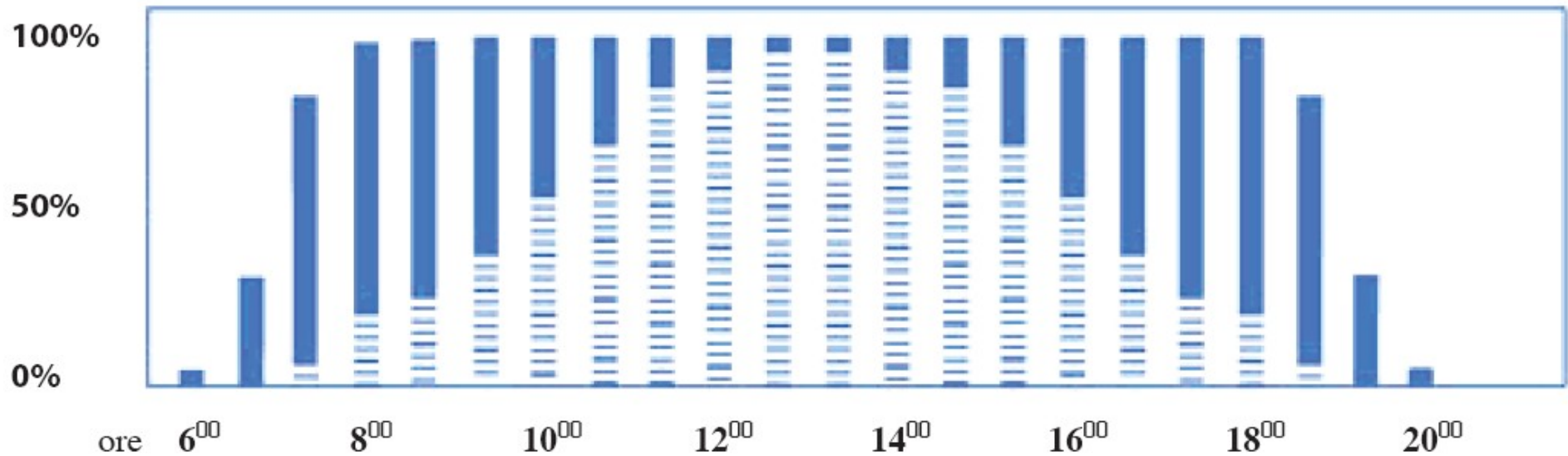
Inseguitori solari

Prestazioni di impianti con e senza inseguimento solare

Produzione elettrica di un impianto fotovoltaico nell'arco della giornata

Impianto
fisso

Con inseguimento
solare



Perché installare un impianto fotovoltaico?

- **VANTAGGI**

- La tecnologia del fotovoltaico è affidabile, poco affetta da guasti e richiede poca manutenzione;
- L'energia elettrica viene prodotta direttamente dove serve;
- Gli impianti sono modulari e quindi facilmente espandibili per future esigenze;
- La produzione dell'energia non utilizza parti in movimento, quindi non produce rumore e inquinamento acustico;
- Non vengono utilizzati combustibili: ciò consente di non immettere gas inquinanti nell'atmosfera e di risparmiare sulle fonti di energia non rinnovabili;
- Non viene disperso calore nell'atmosfera, quindi si contribuisce alla riduzione dell'effetto serra;
- Attraverso l'installazione di impianti fotovoltaici si possono migliorare le condizioni di vita di popolazioni non raggiunte da una rete di distribuzione “tradizionale” dell'energia elettrica;
- Gli incentivi del cosiddetto “Conto Energia” permettono di avere un ritorno economico sull'investimento fatto per l'impianto.

Situazione delle installazioni in Italia

Il fotovoltaico: risultati e previsioni

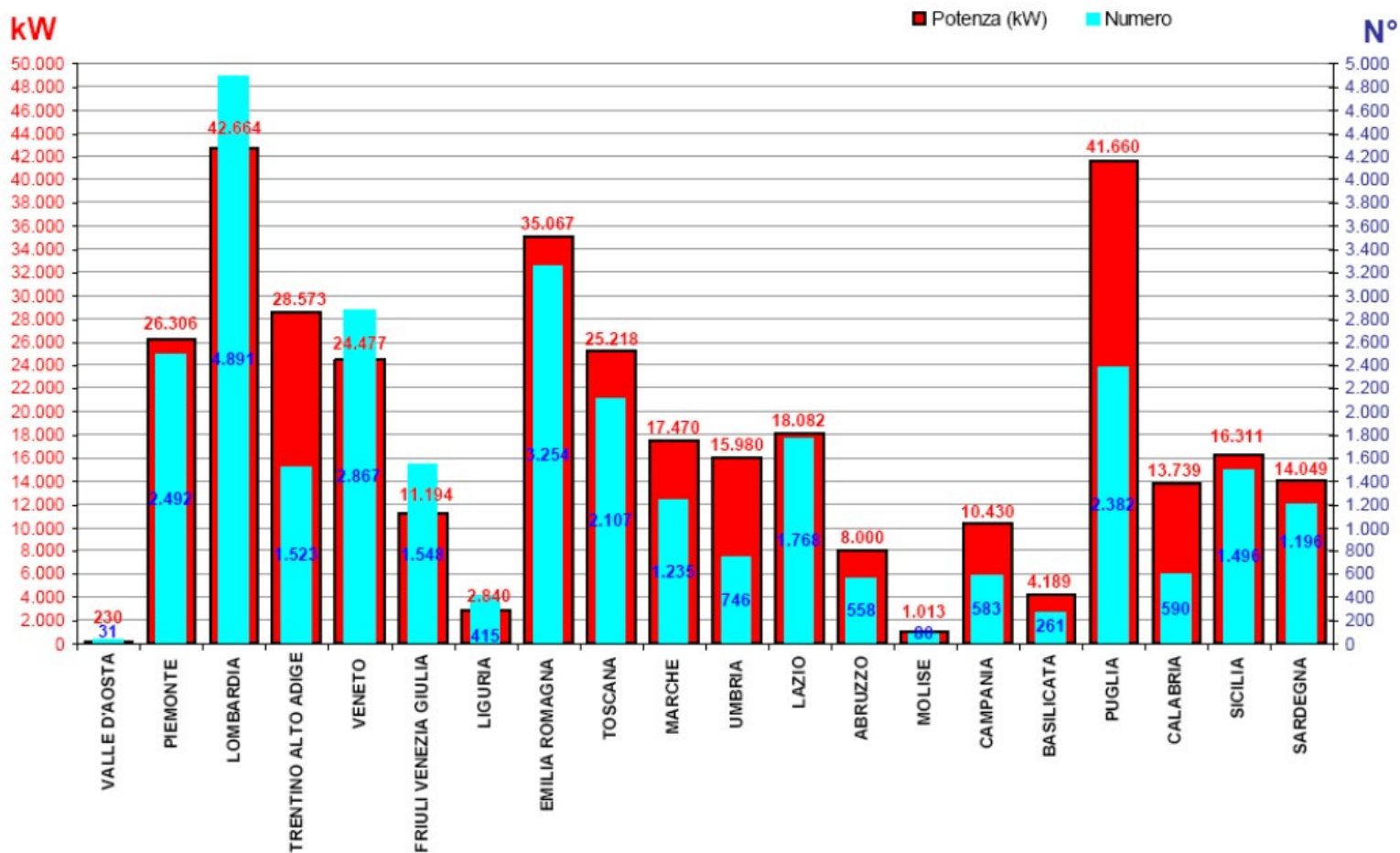


Distribuzione regionale degli impianti al 1° marzo 2009

Impianti N° 30.023

Potenza 357.489 kW

Taglia Media 11,9 kW



Alcuni riferimenti bibliografici e sitografici

- **FOTOVOLTAICO: un investimento alla luce del sole**
Opuscolo illustrativo
<http://www.energethics.it/>
- **Radiazione solare e procedure di calcolo**
Slides seminario tecnico su impianti fotovoltaici – Ing. Alessandro Pisano
Cagliari – 19 Settembre 2008
http://www.diee.unica.it/~pisano/13_143_20080930104402.pdf
- **L'energia fotovoltaica**
ENEA - Opuscolo informativo
<http://www.energie-rinnovabili.net/opuscolo-infomativo-dellenea-sullenergie-fotovoltaica>
- **Catalogo componenti fotovoltaici Schneider Electric**
<http://www.schneider-electric.it/>
- **Il fotovoltaico fa boom**
I dossier EXPOPAGE
<http://www.expopage.net>