



scienza attiva®

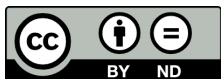
EDIZIONE 2015/2016
AGRICOLTURA, ALIMENTAZIONE E SOSTENIBILITA'

Energia solare fotovoltaica

Filippo Spertino

Politecnico di Torino

Documento di livello: A



Un progetto di


agorà scienza
centro interuniversitario



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TORINO


scienza attiva®

Tecnologie e prospettive di fotovoltaico in Italia

Gli impianti **fotovoltaici** convertono la luce (visibile e non) direttamente in energia elettrica con efficienze del 5-18%, **non** trasformano il calore in energia elettrica (temperature di solo 40-70 °C) contribuendo al "global warming", **né** richiedono acqua per il raffreddamento come le centrali termiche convenzionali (a olio, carbone e gas) e nucleari.

Tecnologia	Rendimento
Monocristallino	14 - 18 %
Policristallino	12 - 15 %
a - Si	5 - 7 %
CIS	10 - 11 %
CdTe	8 - 9 %

Tecnologie e prospettive di fotovoltaico in Italia

La parola chiave fotovoltaico è composta da:

- "Foto" in greco antico $\varphi\omega\sigma\text{-}\varphi\omicron\tau\omicron\sigma$ che significa "luce" ;
- "voltaico" da A. Volta inventore della pila elettrica oppure "volt" come unità di misura della tensione o differenza di potenziale elettrico.

Si sfruttano i materiali semiconduttori che, secondo la "meccanica quantistica", sono in grado di produrre contemporaneamente corrente elettrica (se la luce ha l'energia sufficiente a far passare l'elettrone dalla banda di valenza alla banda di conduzione) e tensione che insieme danno la potenza elettrica.

A proposito della luce (onde elettromagnetiche) si parla di:

radiazione visibile (dal violetto al rosso) in un certo intervallo di lunghezza d'onda e di frequenza (il loro prodotto definisce la velocità della luce);

-radiazione ultra-violetta (bassa lunghezza d'onda e alta frequenza);

-radiazione infrarossa (alta lunghezza d'onda e bassa frequenza).

Conversione "diretta" significa "senza passare attraverso l'energia meccanica delle turbine" (motori che azionano i generatori elettrici), come accade in tutte le centrali elettriche termiche ed idrauliche.

Efficienza e rendimento sono sinonimi ed esprimono il rapporto tra l'energia utile e l'energia impiegata. L'energia è il prodotto della potenza per il tempo che convenzionalmente può essere quello di un giorno, di un mese o dell'anno. La potenza impiegata è, come convenzione internazionale, quella del sole a mezzogiorno con cielo sereno, a livello del mare, nel periodo primavera/estate, alle nostre latitudini, con angoli di 40-45° rispetto all'orizzontale. Tale potenza solare è di 1000 W/m² oppure 1 kW/m² a cui corrisponde la cosiddetta potenza di picco kWp (oppure nominale o di targa) che è la potenza utile prodotta dai moduli FV.

La potenza di targa è quella che si trova scritta su qualsiasi elettrodomestico (per es. lampadina, lavatrice, asciugacapelli, radio-sveglia, televisore, PC, ecc.) che, in questo caso, viene consumata.

Le tecnologie del silicio cristallino prevedono spessori della lamina fotovoltaica (cella solare) di 0,2-0,3 mm.

I film sottili di silicio amorfo (a-Si), rame/indio/selenio (CIS) e cadmio/tellurio (CdTe) prevedono spessori di 0,001-0,002 mm.

Tecnologie e prospettive di fotovoltaico in Italia

Altri ***vantaggi*** dei moduli (o pannelli) fotovoltaici sono:

- elevata affidabilità e lunga vita (>25 anni con EPBT < 4 anni);
- ridotto costo di manutenzione (pulizia del vetro);
- assenza di rumore e di inquinamento atmosferico;
- Produzione vicino al consumo;
- smaltimento privo di scorie a fine vita.

Gli ***svantaggi*** consistono in:

- fluttuazione della produzione energetica;
- necessità di componenti aggiuntivi;
- alto costo di installazione (5000-7000 €/kW_p).

EPBT significa Energy Pay Back Time (tempo di ritorno energetico) e cioè dopo quanto tempo il modulo fotovoltaico, esposto al sole, restituisce l'energia elettrica consumata nella sua produzione. Infatti si usano particolari forni elettrici per portare allo stato liquido il silicio (sopra i 1000 °C), prima della successiva solidificazione con processi di raffreddamento controllato in modo che cristallizzi nella forma di singolo cristallo o multi-cristallo.

Alcuni moduli FV a bordo di satelliti hanno più di 30 anni di vita.

L'elevata affidabilità è data dalla mancanza di parti in movimento che si usurano.

Come detto, la produzione avviene in modo statico, quindi senza rumore e nessuna emissione di CO₂ o di altri gas inquinanti (SOX, NOX, ...).

Molto spesso l'impianto fotovoltaico è collocato sulla struttura edilizia in cui avviene anche il consumo elettrico dell'utente. Quest'ultimo, perciò, ha un risparmio diretto sulla bolletta elettrica che comprende non solo il costo di produzione ma anche il costo di trasporto dell'elettricità (globalmente 16-20 c€/kWh).

Di conseguenza, è concettualmente sbagliato confrontare il costo dell'energia fotovoltaica con quelli dell'energia nucleare o da combustibile fossile perché in questi non è compreso il costo di trasporto.

Su un impianto FV con più di 20 anni di vita in Germania si è già effettuato il recupero del silicio con la fabbricazione di nuove celle solari di maggiore efficienza; anche gli altri materiali dei moduli, come il vetro, l'alluminio e i materiali plastici di incapsulamento, sono stati riciclati.

Fluttuazione dovuta alle ciclicità notte/giorno, estate/inverno, cielo sereno/coperto.

I componenti aggiuntivi servono per:

trasformare l'energia prodotta dai moduli sotto forma di tensione/corrente continua in tensione/corrente alternata (inverter) per le nostre prese di corrente;

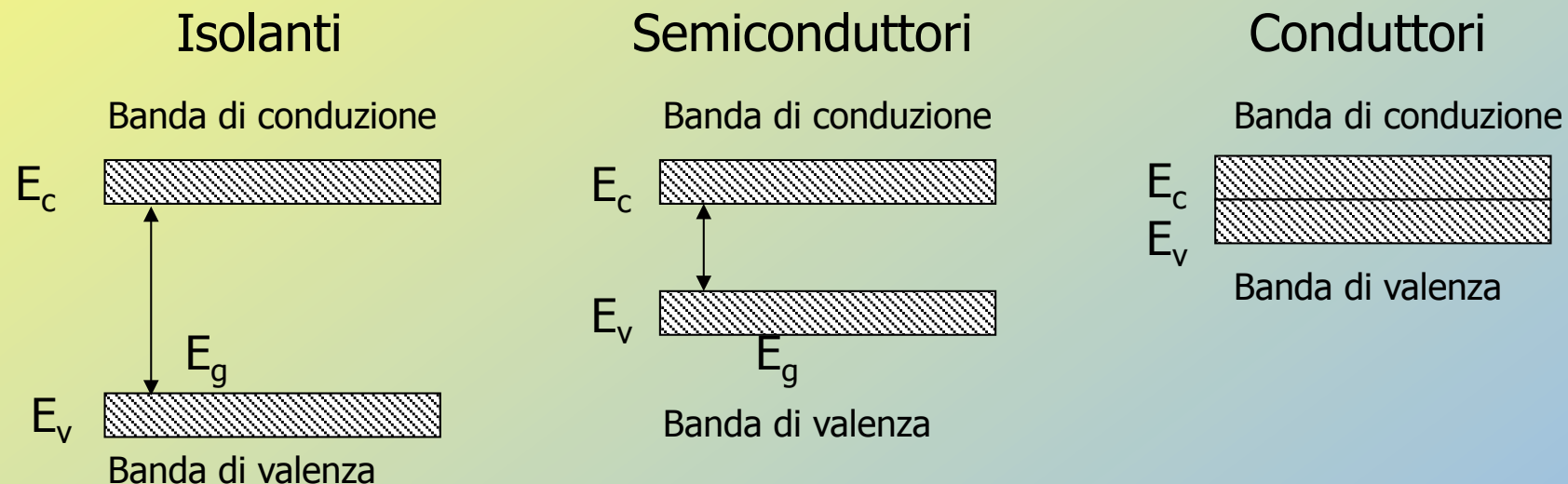
accumulare l'energia in eccesso rispetto al consumo con batterie (al piombo, nickel-cadmio, ioni di litio), con pompaggio di acqua (impianti idro-elettrici reversibili), con produzione di aria compressa o idrogeno;

protezioni per i componenti (interruttori di potenza) e per le persone (salvavita).

Naturalmente, i costi di installazione sono inversamente proporzionali alla potenza (kWp) e cioè un "impianto domestico da 2 kWp" costa $7000 \times 2 = 14.000$ euro, mentre un impianto industriale da 200 kWp costa $5000 \times 200 = 1.000.000$ euro. L'incentivo serve ad ottenere un ritorno economico dell'investimento in tempi ragionevoli di 8-12 anni.

Tecnologie e prospettive del fotovoltaico in Italia

La meccanica quantistica distingue i materiali in base al valore del 'salto energetico' che gli elettroni devono compiere per passare dalla banda di valenza a quella di conduzione (vedi nota).



Tensione teorica (V) di alcuni semiconduttori

Silicio cristallino (c-Si)	1,12
Silicio amorfo (a-Si)	1,75
Diseleniuro Indio Rame (CuInSe)	1,05
Tellururo di Cadmio (CdTe)	1,45

Con l'aiuto della meccanica quantistica, si separano i materiali in 3 categorie in base alla più (metalli) o meno (isolanti) spiccata capacità di condurre corrente elettrica. Questa proprietà si riferisce alla possibilità di assorbire energia per l'elettrone in modo da passare dalla banda energetica del legame chimico (valenza) alla banda superiore (conduzione). La tabella dà un'idea della capacità di produrre tensione, oltre alla corrente, da parte dei semiconduttori usati nel fotovoltaico: i valori reali di ciascuna lamina (cella solare) sono sempre minori di quelli scritti. Si nota che, quando la tensione è più alta, necessariamente la corrente sarà più bassa. Perciò si deve fare un compromesso tra tensione e corrente per ottenere la massima potenza. Il silicio mono-cristallino è quello dà il miglior compromesso (e quindi rendimento).

Tecnologie e prospettive di fotovoltaico in Italia

Esempi di impianti realizzati col programma italiano in conto installazione



20 kW_p a inseguimento solare (AMIAT)

20 kW_p a frangisole (AMIAT)

Nel 2001 il Ministero dell'Ambiente con le Regioni italiane ha dato inizio al programma "Tetti fotovoltaici" per la diffusione capillare di impianti FV nelle strutture edilizie.

Con questo programma (2001-2005) sono stati installati migliaia di impianti FV (potenze da 1 a 20 kWp) collegati alle reti di bassa tensione 230/400 V. L'incentivo consisteva in un contributo a fondo perduto pari al 75% del costo totale dell'investimento. Pertanto, col contributo statale l'impianto veniva a costare circa 2000 €/kWp e si poteva ripagare in 12-16 anni. Il difetto del meccanismo consisteva nello scarso stimolo a mantenere in perfetta efficienza l'impianto nel corso degli oltre 20 anni di vita.

Tecnologie e prospettive di fotovoltaico in Italia

Esempi di impianti realizzati col programma italiano in conto installazione

16 kW_p con tetto + frangisole
(Provincia di Torino)



16 kW_p a parete curva
(Environment Park)

Qui sono presentati esempi di impianti FV con integrazione architettonica, che, oltre a produrre energia elettrica, riducono il consumo di elettricità estivo per alimentare gli impianti di condizionamento dell'aria (perché fanno ombra all'interno degli uffici).

Tecnologie e prospettive di fotovoltaico in Italia

La transizione dal conto installazione al conto energia



20 kW_p su tetto piano (16 scuole del Comune di Torino con AEM)



50 kW_p con sun-tracking (privati a Saluzzo)

Dal 2006 il governo italiano rende operativo l'incentivo "in conto energia" che non dà contributi a fondo perduto per la spesa iniziale, ma paga l'energia fotovoltaica prodotta a un prezzo molto superiore a quello dell'elettricità convenzionale per 20 anni a partire dall'installazione dell'impianto.

Tecnologie e prospettive di fotovoltaico in Italia

Criticità riscontrate nei collaudi effettuati:

- mancato rispetto dei dati di targa dei moduli FV;
- ombratura estiva nel caso dei frangisole;
- anomalie di funzionamento degli inverter;
- errata installazione del locale inverter;
- scarsa affidabilità di componenti non necessari.

L'attività mia e del gruppo di ricerca al Politecnico di Torino ha riguardato soprattutto l'analisi, con prove sperimentali (misure elettriche di tensione, corrente, potenza ed energia), del funzionamento di vari impianti, alcuni dei quali sono stati presentati nelle fotografie delle diapositive precedenti.

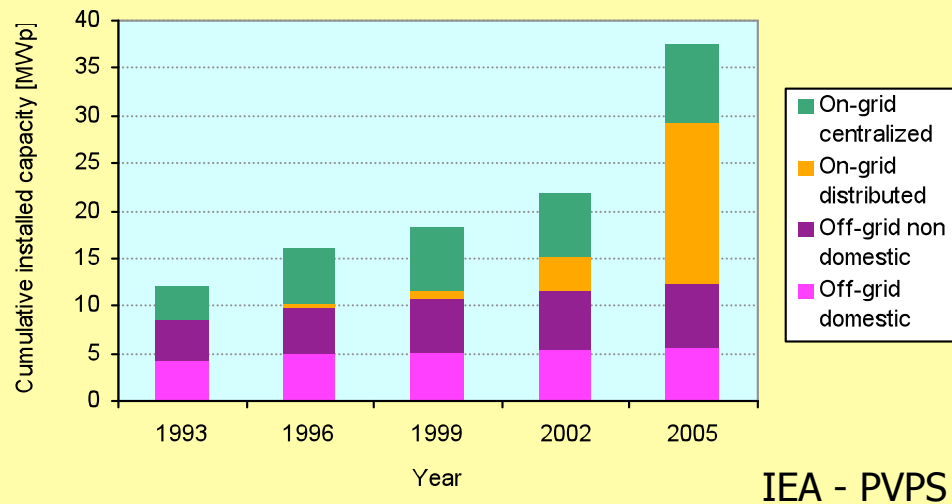
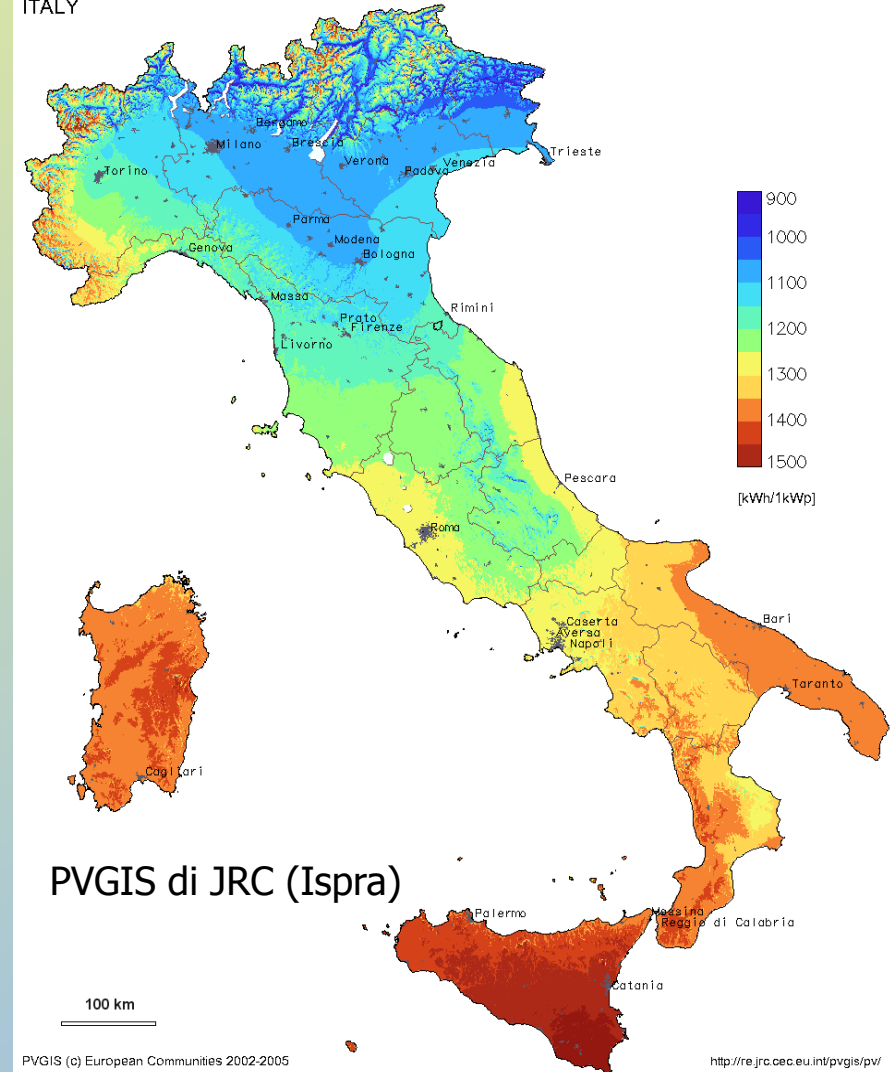
Tecnologie e prospettive di fotovoltaico in Italia

Relazione tipica per la stima della produzione energetica nell'ottica del conto energia:

$$\text{Energia} = P_n \cdot h_{eq} \cdot PR$$

(kW_p) 1300-1800 h/anno 0,7 - 0,8

Yearly sum of solar electricity generated by 1kWp photovoltaic system with optimally-inclined modules
ITALY



- Col conto energia, che paga una tariffa in funzione della produzione di elettricità fotovoltaica, diventa fondamentale sapere, con una certa precisione, quanta energia in kWh (potenza di 1 kW per il tempo di 1 h) può produrre l'impianto FV in un anno. Questa energia annuale si calcola come il prodotto della "potenza di picco" (o di targa) P_n (kWp) per il "numero di ore equivalenti solari", tipico di ogni possibile sito, per il coefficiente di perdita "Performance Ratio" (in italiano "indice di prestazione"), che dipende dalla tecnologia dei moduli e degli inverter, dal tipo di installazione per i moduli (integrata o meno negli edifici) e per gli inverter (luoghi caldi come il sottotetto in estate o freschi come la cantina).
- La tabella presenta le statistiche della IEA (Agenzia internazionale per l'energia) sulle installazioni FV in Italia fino al 2005.
- La cartina dell'Italia evidenzia che nella provincia di Cuneo si registrano i valori di produzione massimi del Nord con punte fino a 1300 kWh annui per la potenza di 1 kWp (colore giallo).
- In Sicilia si registrano i valori massimi assoluti con punte di 1500 kWh annui per la potenza di 1 kWp (colore rosso).

Tecnologie e prospettive di fotovoltaico in Italia

Fasce di potenza col conto energia (ritorni dell'investimento in 8-12 anni)

Potenza dell'impianto	Scambio sul posto (€/kWh)	Cessione in rete (€/kWh)
1 - 20 kW	0,462	0,477
20 - 50 kW	n.a.	0,477
50 - 1.000 kW	n.a.	Valore gara aggiornato

vecchio

Potenza dell'impianto	Non integrato (€/kWh)	Parzialmente integrato (€/kWh)	Integrato (€/kWh)
1-3 kW	0,40	0,44	0,49
3-20 kW	0,38	0,42	0,46
P > 20 kW	0,36	0,40	0,44

nuovo

Impianti, ammessi all'incentivazione ai sensi dei DM 28/07/2005 e DM 06/02/2006, per i quali i soggetti responsabili hanno comunicato la
ENTRATA IN ESERCIZIO
(aggiornamento al 31 DICEMBRE 2008)

REGIONE	CLASSE 1 : 1 kW ≤ P ≤ 20 kW		CLASSE 2: 20 kW < P ≤ 50 kW		CLASSE 3: 50 kW < P ≤ 1.000 kW		TOTALE	
	Numero	Potenza (kW)	Numero	Potenza (kW)	Numero	Potenza (kW)	Numero	Potenza (kW)
PIUGLIA	311	2.012	117	5.311	13	3.306	441	16.628
EMILIA ROMAGNA	467	2.654	175	7.154	5	2.403	647	12.221
TRENTINO ALTO ADIGE	165	1.014	125	5.630	9	3.776	299	10.420
MARCHE	225	1.425	73	3.148	7	3.723	305	8.297
TOSCANA	233	1.754	40	1.635	7	4.512	280	7.901
LOMBARDIA	602	3.353	85	3.572	4	332	691	7.296
SICILIA	222	1.272	37	1.782	7	3.717	266	6.770
LAZIO	274	1.743	50	2.368	3	2.460	327	6.570
PIEMONTE	206	1.438	66	2.657	4	2.134	276	6.230
CALABRIA	70	520	23	1.088	5	4.407	98	6.016
UMBRIA	159	1.281	81	3.481	2	560	242	5.321
SARDEGNA	91	535	10	451	4	3.987	105	4.973
CAMPANIA	105	940	43	1.954	2	1.993	150	4.897
VENETO	392	2.404	49	1.539	2	524	443	4.667
ABRUZZO	56	498	36	1.626	4	1.751	96	3.876
FRIULI VENEZIA GIULIA	208	1.146	7	324	2	707	217	2.177
BASILICATA	48	469	18	806	2	234	68	1.509
LIGURIA	90	432	9	351	1	51	100	833
MOLISE	11	80	3	109	1	301	15	490
VALLE D'AOSTA	-	-	1	46	-	-	1	46
Totale ITALIA	3.935	25.005	1.048	45.452	84	46.678	5.067	117.338

Impianti in esercizio ai sensi del DM 19/02/2007 (NUOVO CONTO ENERGIA)
(aggiornamento al 31 DICEMBRE 2008)

REGIONE	CLASSE 1 : 1 kW ≤ P ≤ 3 kW		CLASSE 2: 3 kW < P ≤ 20 kW		CLASSE 3: P > 20 kW		TOTALE	
	Numero	Potenza (kW)	Numero	Potenza (kW)	Numero	Potenza (kW)	Numero	Potenza (kW)
LOMBARDIA	1.883	4.843	1.274	9.958	109	3.364	3.266	24.164
EMILIA ROMAGNA	1.210	3.395	795	5.815	67	8.047	2.012	14.956
TRENTINO ALTO ADIGE	419	1.130	451	4.557	67	7.516	937	13.205
VENETO	1.031	2.670	721	5.233	45	4.525	1.797	12.429
PIEMONTE	927	2.390	625	4.727	60	5.055	1.612	12.172
PUGLIA	689	1.810	698	5.524	38	3.812	1.425	11.145
TOSCANA	825	2.096	570	4.476	23	2.580	1.418	9.152
UMBRIA	178	479	146	1.195	27	6.238	351	7.913
LAZIO	581	1.506	480	3.625	27	1.346	1.088	7.076
FRIULI VENEZIA GIULIA	444	1.195	473	3.001	21	1.632	938	5.827
MARCHE	400	1.038	262	2.133	20	1.796	682	4.967
SICILIA	507	1.362	415	2.790	6	539	928	4.691
SARDEGNA	559	1.538	205	1.336	5	1.440	769	4.313
CAMPANIA	158	426	148	1.120	14	1.051	320	2.597
CALABRIA	153	413	195	1.519	10	489	358	2.421
ABRUZZO	129	334	185	1.263	10	500	324	2.096
BASILICATA	56	157	63	495	8	1.084	127	1.736
LIGURIA	163	402	82	477	4	164	245	1.043
MOLISE	17	45	29	229	3	118	45	392
VALLE D'AOSTA	9	24	9	107	-	-	18	131
Totale ITALIA	10.338	26.962	7.766	59.578	564	55.896	18.668	142.426

Alcune statistiche valide per il primo (vecchio) e il secondo (nuovo), attualmente in vigore, meccanismo di incentivazione in conto energia.

Tecnologie e prospettive di fotovoltaico in Italia

Il software gratuito PVGIS del JRC dell'Unione Europea:

The screenshot displays the PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) web interface. The main map shows an aerial view of San Giorgio Canavese, Italy, with a red pin indicating the location. The interface includes a search bar, navigation controls, and a sidebar with various settings for PV estimation.

Performance of Grid-connected PV

NOTE: before using these calculations for anything serious, you should read the PVGIS manual.

PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 45°20'6" North, 7°47'52" East, Elevation: 284 m a.s.l., Nearest city: Rivarolo Canavese, Italy (6 km away)

Nominal power of the PV system: 1.0 kW (crystalline silicon)
 Estimated losses due to temperature: 8.7% (using local ambient temperature)
 Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.7%
 Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%
 Combined PV system losses: 23.5%

Fixed system: inclination=35°, orientation=0°

Month	E_g	E_m	H_g	H_m
Jan	2.16	67.0	2.60	80.5
Feb	2.45	68.5	3.01	84.2
Mar	3.45	107	4.39	136
Apr	3.61	108	4.72	142
May	3.68	114	4.93	153
Jun	4.15	124	5.65	170
Jul	4.39	136	6.05	187
Aug	4.18	129	5.74	178
Sep	3.71	111	4.96	149
Oct	2.82	87.5	3.64	113
Nov	2.10	63.1	2.61	78.2
Dec	1.82	56.3	2.19	68.0
Yearly average	3.21	97.8	4.21	128
Total for year		1170		1540

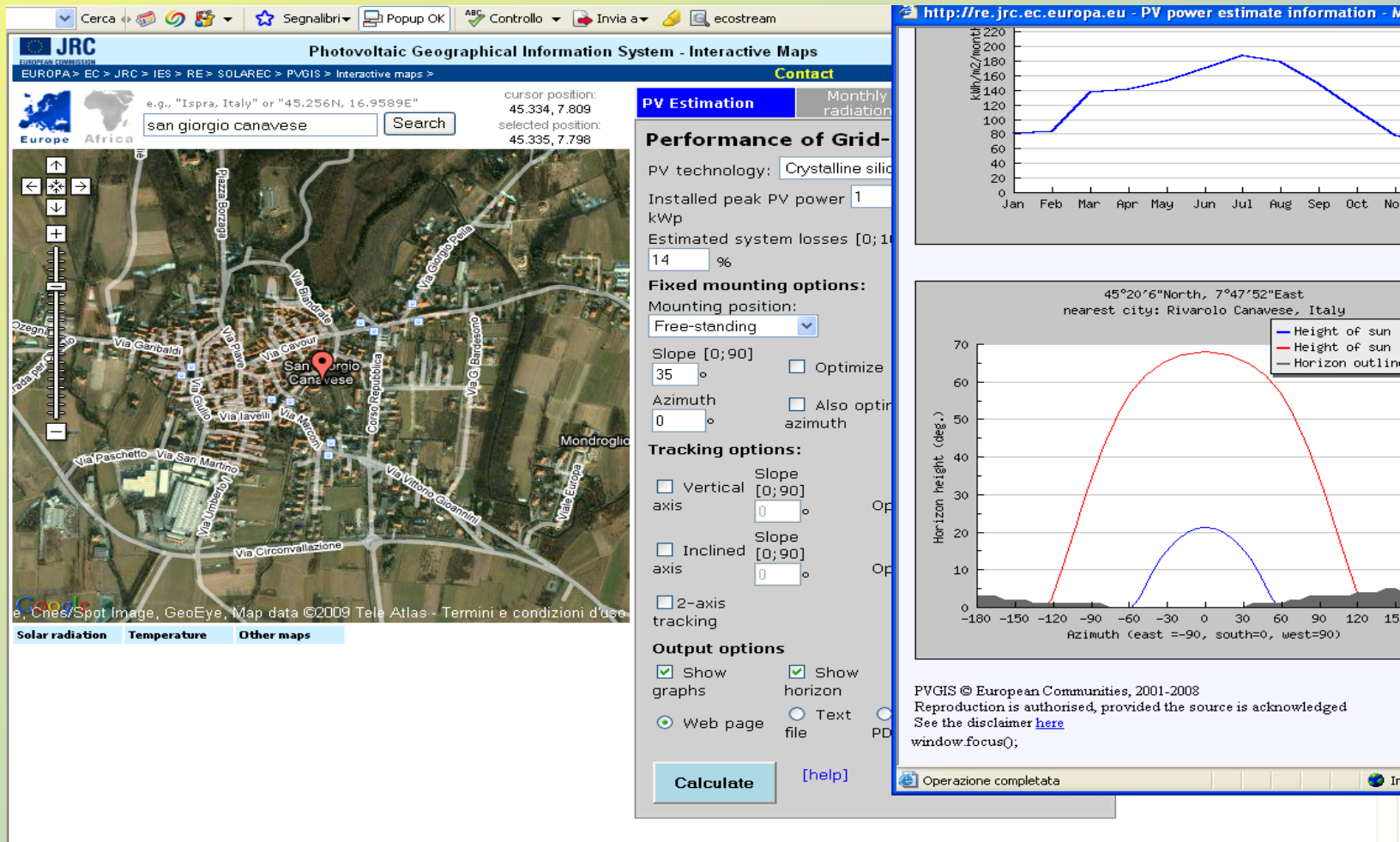
E_g : Average daily electricity production from the given system (kWh)
 E_m : Average monthly electricity production from the given system (kWh)
 H_g : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the PV system (kWh/m²)

Operazione completata

- Pagina web del sito PVGIS (facilmente trovabile con un qualsiasi motore di ricerca in Internet) messo a punto dal laboratorio di certificazione dei moduli fotovoltaici dell'Unione Europea. Questo laboratorio ESTI (European Solar Test Installation) si trova a Ispra (in provincia di Varese) e ha anche elaborato la home page SOLAREC con dati meteo on-line. In questo caso ci interessa la tabella a destra nell'immagine, in cui sono riportati i valori giornalieri (sinistra) e mensili (destra), per ogni mese dell'anno, dell'energia elettrica prodotta E_d (giorno) e E_m (mese) da un impianto fotovoltaico con la potenza di 1 kWp; inoltre, a destra delle due colonne precedenti, sono riportati il numero di ore equivalenti solari giornaliere (H_d a sinistra) e mensili (H_m a destra) per la località di San Giorgio Canavese (TO). L'energia elettrica producibile da un impianto FV con potenza diversa da 1 kWp si ottiene semplicemente moltiplicando il valore annuale di 1170 kWh (valido per 1 kWp) per la potenza dell'impianto.

Tecnologie e prospettive di fotovoltaico in Italia

Il software gratuito PVGIS del JRC dell'Unione Europea:



software PVGIS con il diagramma degli angoli del percorso solare: in ascissa si rappresentano i punti cardinali (angolo di azimuth con 0° direzione Sud, -90° direzione Est, +90° direzione Ovest) e in ordinata l'angolo di altezza del sole.

Si vede che a mezzogiorno la posizione del sole è verso Sud (azimuth 0°) e si distinguono due situazioni:

1. il solstizio estivo (curva rossa a destra) con una altezza sull'orizzonte di quasi 70°;
2. il solstizio invernale (curva blu a destra più in basso) con un'altezza di poco superiore a 20°.

Tecnologie e prospettive di fotovoltaico in Italia

Valore economico dell'energia FV (€/kWh), in assenza di incentivo, al variare del costo di installazione e del kWh/kW_p

		Final yield [kWh/kW _p]					
		1000	1100	1200	1300	1400	1500
Costo d'installazione [€/kW _p]	3000	0.166	0.151	0.139	0.128	0.119	0.111
	3500	0.194	0.176	0.162	0.149	0.139	0.129
	4000	0.222	0.201	0.185	0.170	0.158	0.148
	4500	0.249	0.227	0.208	0.192	0.178	0.166
	5000	0.277	0.252	0.231	0.213	0.198	0.185
	5500	0.305	0.277	0.254	0.234	0.218	0.203
	6000	0.332	0.302	0.277	0.256	0.237	0.222
	6500	0.360	0.327	0.300	0.277	0.257	0.240
	7000	0.388	0.353	0.323	0.298	0.277	0.259

Costo di funzionamento e manutenzione (O&M) = 1%*C_i* e tasso di interesse *i* = 1%

		Final yield [kWh/kW _p]					
		1000	1100	1200	1300	1400	1500
Costo d'installazione [€/kW _p]	3000	0.222	0.202	0.185	0.171	0.159	0.148
	3500	0.259	0.235	0.216	0.199	0.185	0.173
	4000	0.296	0.269	0.247	0.228	0.211	0.197
	4500	0.333	0.303	0.278	0.256	0.238	0.222
	5000	0.370	0.336	0.308	0.285	0.264	0.247
	5500	0.407	0.370	0.339	0.313	0.291	0.271
	6000	0.444	0.404	0.370	0.342	0.317	0.296
	6500	0.360	0.327	0.300	0.277	0.257	0.240
	7000	0.388	0.353	0.323	0.298	0.277	0.259

Costo O&M = 1%*C_i* e tasso di interesse *i* = 4%

- In questo caso, si vuole fare una previsione per il futuro sul costo dell'energia fotovoltaica, supponendo di annullare completamente l'incentivo in conto energia.
- Nelle due tabelle si riportano due casi che differiscono solo per il tasso di interesse usato nel calcolo economico del prezzo dell'energia fotovoltaica: nel 1° caso con tasso dell'1% e nel 2° caso con tasso del 4% che significa pretendere un maggior rendimento dell'investimento nella produzione di energia con il fotovoltaico.
- Il costo di manutenzione e funzionamento (per la pulizia dei moduli, la gestione dei contatori di energia, la riparazione degli inverter) è annuale ed ammonta all'1% del costo iniziale di installazione.
- Questo costo d'installazione viene fatto variare tra 3000 e 7000 euro/kWp e l'energia prodotta si considera variabile tra 1000 e 1500 kWh per 1 kWp di potenza installata (sono i valori possibili dal Nord al Sud dell'Italia).
- Con il codice colori dei semafori (verde significa OK, giallo quasi OK e rosso-arancione NO), si mostra in quali condizioni è più basso il prezzo dell'energia fotovoltaica rispetto all'energia tradizionale (assunto pari a 0,18 euro/kWh per il settore domestico).
- In particolare, nella tabella superiore si vede che con un costo di installazione di 3000 euro/kWp l'energia fotovoltaica è sempre vantaggiosa da Nord a Sud Italia.
- Nella tabella inferiore con un costo di 3000 euro/kWp l'energia fotovoltaica è vantaggiosa solo nel Sud Italia.
- Si prevede che questi costi di installazione saranno raggiunti nell'arco di un triennio.

Tecnologie e prospettive di fotovoltaico in Italia

Parametri tipici dei moduli fotovoltaici:

- tecnologia della cella;
- tolleranza sulla potenza nominale (-5%/+5% o -3%/+3%);
- dimensioni della cella (12,5×12,5 cm² o 15,6×15,6 cm²);
- coefficienti termici della potenza (-0,3 %/°C o -0,5 %/°C);
- temperatura di normale funzionamento NOCT (45-50 °C);
- peso;
- tensione di sistema (600-800-1000 V).

Qui si presentano alcuni parametri tipici di confronto dei prodotti commerciali:

- la tolleranza di fabbricazione è meglio che sia bassa;
- le dimensioni della cella è meglio che siano alte (per avere più corrente);
- I coefficienti termici è meglio che siano bassi per avere meno perdite di potenza (più è caldo il modulo meno potenza produce);
- la temperatura media di funzionamento al sole è meglio che sia bassa per il motivo precedente;
- peso basso per evidenti ragioni di installazione;
- tensioni alte per ridurre le sezioni dei cavi elettrici.

Tecnologie e prospettive di fotovoltaico in Italia

Prospettive nel fotovoltaico per il futuro prossimo :

- tecnologia innovativa per i moduli FV (alto rendimento con HIT e BSC oppure basso costo con i film sottili e nel silicio EFG, string ribbon);
- sistemi di inseguimento e concentrazione (per es. lenti di Fresnel) per celle con efficienze $> 25\%$ (ENEA, CESI, Università);
- incremento nella capacità installativa degli impianti (attualmente 100-200 MW_p/anno contro 1000 MW_p/anno in Germania).

Sono in fase di ricerca tecnologie particolari che migliorano il rendimento oltre il 20% (silicio monocristallino + silicio amorfo) oppure riducono il costo di fabbricazione sotto 2000 euro/kWp con rendimenti del 10% per i film sottili.

Altre tecniche prevedono di realizzare dei girasoli che puntano la direzione del sole, istante per istante, e concentrano la luce con fattori di concentrazione di 300-500 volte. Le celle solari sono a "multigiunzione" con materiali rari indio/gallio/fosforo/germanio/arsenico.

Lo svantaggio è la necessità di avere molte giornate serene nell'anno: questa è l'applicazione ideale nelle zone desertiche.

Attualmente il Paese n° 1 al mondo è la Germania per l'installazione di impianti fotovoltaici

