

Guido Carmassi

FOTOVOLTAICO PROGETTAZIONE E VALUTAZIONE ECONOMICA IN CONTO ENERGIA

**DALLA STIMA DELLA PRODUCIBILITÀ E DEL DIMENSIONAMENTO
ALLA VALUTAZIONE ECONOMICO FINANZIARIA**

APPENDICE CON AGGIORNAMENTI ALLA CEI 0-21



SOFTWARE INCLUSO

PER LA PROGETTAZIONE E LA VALUTAZIONE ECONOMICA DELL'INVESTIMENTO



GRAFILL

Guido Carmassi

FOTOVOLTAICO

PROGETTAZIONE E VALUTAZIONE ECONOMICA IN CONTO ENERGIA

ISBN 13 978-88-8207-469-2

EAN 9 788882 074692

Manuali, 120

Prima edizione, novembre 2012

Guido, Carmassi <1982->

Fotovoltaico: progettazione e valutazione economica in conto energia /
Guido Carmassi. – Palermo : Grafill, 2012.

(Manuali ; 120)

ISBN 978-88-8207-469-2

1. Impianti solari.

621.31244 CDD-22

SBN Pal0242198

CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

© **GRAFILL S.r.l.**

Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo

Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313

Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail grafill@grafill.it

Finito di stampare nel mese di novembre 2012

presso **Officine Tipografiche Aiello & Provenzano S.r.l.** Via del Cavaliere, 93 – 90011 Bagheria (PA)

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge.

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

SOMMARIO

PREFAZIONE	p.	7
-------------------------	----	---

PARTE I PROGETTAZIONE DI SISTEMI FOTOVOLTAICI

1. INTRODUZIONE	"	11
1.1. Effetto fotovoltaico	"	11
1.2. Cenni storici	"	12
2. LA SFIDA ENERGETICA	"	14
2.1. Il problema energetico mondiale	"	14
3. IMPIANTI FOTOVOLTAICI	"	16
3.1. Moduli fotovoltaici e tecnologie	"	16
3.2. Tipologie di realizzazione	"	21
3.3. Architettura impianto fotovoltaico	"	23
3.4. Radiazione solare	"	26
3.5. Metodo di calcolo della radiazione solare	"	30
3.6. Alternative per la determinazione della Radiazione Solare (PVGIS, ENEA, mappe isoradiative)	"	33
3.7. Analisi della producibilità	"	35
3.8. Ausili informatici per l'analisi degli impianti FV	"	37
3.9. Convertitori statici	"	43
3.10. Dati caratteristici moduli fotovoltaici ed inverter	"	46
3.11. Esempio di accoppiamento moduli FV / inverter	"	49
3.11.1. Considerazioni generali	"	52
3.11.2. Analisi dei parametri elettrici ad irraggiamento diverso	"	52
3.12. Criteri di allacciamento alla rete elettrica	"	53
3.12.1. Note generali per connessioni in BT	"	55
3.12.2. Note generali per connessioni in MT	"	57
3.13. Prescrizioni generali di protezione e sicurezza	"	63
3.13.1. Protezioni contro i sovraccarichi lato AC	"	63
3.13.2. Protezioni contro i cortocircuiti	"	63
3.13.3. Protezioni lato corrente continua (FV)	"	64
3.13.4. Dimensionamento dei conduttori	"	65
3.13.5. Protezioni contro i contatti diretti	"	66
3.13.6. Protezioni contro i contatti indiretti	"	66

3.13.7. Prescrizioni particolari componenti classe II e classe I (FV).....	p.	66
3.13.8. Protezioni dalle sovratensioni	"	67
3.13.9. Il sistema elettrico del generatore fotovoltaico	"	68

PARTE II

LA VALUTAZIONE ECONOMICA DELL'INVESTIMENTO FOTOVOLTAICO NEL QUINTO CONTO ENERGIA

4. IL QUARTO CONTO ENERGIA	"	73
4.1. La Direttiva europea 2009/28/ce ed il piano nazionale per le energie rinnovabili	"	73
4.2. Il decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28	"	78
4.2.1. Limiti al fotovoltaico in aree agricole	"	78
4.2.2. La fine del Terzo Conto Energia ed i criteri generali dei nuovi regimi di sostegno	"	79
4.2.3. Criteri specifici dei nuovi regimi di sostegno	"	80
4.3. Il Quarto Conto Energia – Finalità e definizioni generali.....	"	80
4.3.1. Obiettivi di potenza e costi	"	81
4.3.2. Tempi dell'incentivazione.....	"	81
4.3.3. Tipologie di impianti incentivate	"	81
4.3.4. Cumulabilità degli incentivi.....	"	83
4.3.5. Soggetti ed impianti beneficiari del Quarto Conto Energia	"	84
4.4. Il Quarto Conto Energia – il regime degli incentivi dal 1° giugno 2011 al 31 dicembre 2012	"	85
4.4.1. Limiti di incentivazione	"	85
4.4.2. Accesso agli incentivi per i “piccoli impianti”	"	86
4.4.3. Accesso agli incentivi per i “grandi impianti”	"	86
4.4.4. Le tariffe nel periodo 1° giugno 2011-31 dicembre 2012	"	87
4.5. Il Quarto Conto Energia – Il regime degli incentivi dal 1° gennaio 2013 al 31 dicembre 2016.....	"	90
4.5.1. Limiti di incentivazione	"	91
4.5.2. Le tariffe nel periodo 1° gennaio 2013-31 dicembre 2016	"	92
4.6. Il Quarto Conto Energia – Maggiorazioni delle tariffe.....	"	94
4.6.1. Premio per impianti fotovoltaici abbinati ad un uso efficiente dell'energia	"	94
4.6.2. Premio per utilizzo di componenti prodotti nell'Unione Europea	"	96
4.6.3. Premio per impianti realizzati su zone specifiche	"	96
4.6.4. Premio per impianti realizzati da piccoli comuni.....	"	96
4.6.5. Premio per sostituzione di coperture in eternit.....	"	96
5. IL QUINTO CONTO ENERGIA	"	97
5.1. Lo scenario al luglio 2012	"	97
5.2. Il Quinto Conto Energia: finalità e campo d'applicazione	"	98
5.2.1. Data di entrata in vigore	"	98
5.3. Durata del Quinto Conto Energia e procedure di ammissione	"	99

5.3.1.	Accesso diretto.....	p.	99
5.3.2.	Accesso tramite iscrizione al registro	"	99
5.3.3.	Tempi dell'incentivazione.....	"	100
5.4.	Tipologie di impianti incentivate.....	"	100
5.4.1.	Cumulabilità degli incentivi.....	"	100
5.4.2.	Soggetti ed impianti beneficiari del Quinto Conto Energia	"	101
5.5.	Il Quinto Conto Energia: il regime degli incentivi	"	103
5.5.1.	Accesso agli incentivi e criteri di graduatoria	"	103
5.5.2.	Procedura per gli impianti a registro	"	104
5.6.	Costi di gestione del sistema incentivante	"	105
5.7.	Il Quinto Conto Energia: maggiorazioni delle tariffe	"	106
5.7.1.	Premio per sostituzione di coperture in eternit.....	"	106
5.7.2.	Premio per utilizzo di componenti prodotti nell'unione europea.....	"	106
5.8.	Il Quinto Conto Energia: le tariffe incentivanti per gli impianti fotovoltaici di cui all'articolo 7 (ex Titolo II del Quarto Conto Energia).....	"	107
5.9.	Il Quinto Conto Energia: le tariffe incentivanti per gli impianti fotovoltaici con caratteristiche innovative di cui all'articolo 8 (ex Titolo III del Quarto Conto Energia).....	"	109
5.10.	Il Quinto Conto Energia: le tariffe incentivanti per gli impianti fotovoltaici a concentrazione di cui all'articolo 9 (ex Titolo IV del Quarto Conto Energia)	"	111
6.	SCAMBIO SUL POSTO E RITIRO DEDICATO	"	113
6.1.	Gli incentivi del Quinto Conto Energia	"	113
6.2.	Lo scambio sul posto.....	"	113
6.2.1.	Il contributo in conto scambio (Cs).....	"	114
6.2.2.	I costi dello scambio sul posto.....	"	120
6.3.	Il ritiro dedicato	"	120
6.3.1.	Corrispettivi passivi	"	121
6.3.2.	Corrispettivi attivi e ricavi di vendita	"	121
6.4.	Conclusioni	"	122
7.	ANALISI ECONOMICA FINANZIARIA IMPIANTI FOTOVOLTAICI.....	"	123
7.1.	Strumenti di valutazione dell'investimento.....	"	123
7.2.	Analisi costi-benefici: generalità.....	"	123
7.2.1.	Investimento iniziale	"	124
7.2.2.	Flussi di cassa	"	125
7.2.3.	Anni di valutazione dell'investimento.....	"	125
7.2.4.	Tasso di attualizzazione	"	126
7.3.	Indici di valutazione degli investimenti	"	132
7.3.1.	Valore attuale netto (VAN)	"	132
7.3.2.	Valore attuale netto modificato (VAM)	"	133
7.3.3.	Payback time	"	136
7.3.4.	Tasso interno di rendimento (TIR)	"	137
7.4.	Analisi economica	"	138

7.4.1.	Conto economico	p.	138
7.4.2.	Analisi dei costi, oneri finanziari ed imposte	"	138
7.4.3.	Analisi dei ricavi di un impianto fotovoltaico (ricavi della produzione)	"	142
7.5.	Promemoria	"	144
7.6.	Il calcolo dei flussi di cassa: esempi pratici	"	145
7.6.1.	1° esempio: AUTO_288_FIS	"	147
7.6.2.	2° esempio: FIN_288_FIS	"	152
7.6.3.	3° esempio: AUTO_288_GIU	"	155
7.6.4.	4° esempio: FIN_288_GIU	"	160
7.6.5.	Analisi incrociata	"	163
8.	INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE PHOTOSIMPIANTI	"	165
8.1.	Introduzione al software allegato	"	165
8.2.	Requisiti minimi hardware e software	"	165
8.3.	Download del software e richiesta della password di attivazione	"	165
8.4.	Procedura per l'installazione e l'attivazione del software	"	165
9.	GUIDA AL SOFTWARE PHOTOSIMPIANTI	"	167
9.1.	Convenzioni utilizzate nella guida	"	168
9.2.	Dimensionamento tecnico dell'impianto	"	168
9.3.	Configurazione pannelli fotovoltaici	"	171
9.4.	Configurazione dell'impianto	"	175
9.5.	Perdite d'impianto e verifiche	"	178
9.6.	Tools di dimensionamento	"	180
9.7.	Dati di output dell'impianto	"	181
9.8.	Esportazione dati in Word	"	183
9.9.	Salvataggio dimensionamento tecnico	"	183
9.10.	Valutazione economica dell'impianto (Business Plan) nel Quinto Conto Energia	"	183
9.11.	Scambio sul posto	"	186
9.12.	Vendita energia (ritiro dedicato)	"	189
9.13.	Business plan	"	191
9.14.	Esportazione dati in Word	"	193
9.15.	Salvataggio businnes plan	"	193
ALLEGATI			
10.	TARIFFE E NORMATIVA	"	197
10.1.	Le tariffe D2 e D3 per la clientela domestica	"	197
10.2.	Il D.M. 5 luglio 2012	"	201
10.3.	Il D.M. 5 maggio 2011	"	228
10.4.	Appendice CEI-021	"	256
BIBLIOGRAFIA		"	260

PREFAZIONE

Il testo è stato redatto con taglio prettamente pratico ed impiantistico ed ha lo scopo di fornire, a tutti coloro lo desiderino, uno spunto di riflessione, aggiornamento ed approfondimento su quella che ormai rappresenta e viene definita la “*new economy*”.

Il volume è nato successivamente alla programmazione ed all’ideazione del software **PhotosImpianti** e si pone l’obiettivo di portare l’utente ad una progettazione consapevole del proprio sistema fotovoltaico.

In quest’ottica il testo si compone di due parti: una tecnico impiantistica ed una economica nella prima, partendo dall’effetto fotovoltaico si arriva pian piano a trattare l’architettura dei moderni impianti fotovoltaici, le tipologie, le tecnologie nonché le metodologie di connessione secondo le normative vigenti. È stata posta particolare attenzione poi al dimensionamento ed all’interfacciamento dei moduli fotovoltaici con il convertitore statico, attraverso un esempio pratico di dimensionamento.

Nella seconda parte viene affrontato il tema riguardante il Quarto ed il Quinto Conto Energia, le convenzioni di scambio sul posto e di ritiro dedicato. Il Quarto ed il Quinto Conto Energia sono analizzati approfonditamente, evidenziandone le diverse strutture fino al 2012 e post 2012 e descrivendo le diverse tipologie di impianti, nonché le procedure di accesso alle tariffe incentivanti ed i bonus ad esse collegati. Un capitolo a parte è dedicato allo Scambio sul Posto (SSP) e al Ritiro Dedicato (RID), definendone la struttura, il campo di applicazione, i costi ed i ricavi. Le tariffe del Quinto Conto Energia e i calcoli dei contributi dell’SSP e del RID sono implementati nella parte economica del software **PhotosImpianti**.

Abbiamo inteso dedicare un intero capitolo alla definizione delle procedure ed ai concetti necessari per condurre un’analisi economico-finanziaria dell’investimento in un impianto fotovoltaico. Con cenni alle teorie della finanza aziendale del CAPM (Capital Asset Pricing Model), si affronta la definizione del rischio legato ad un investimento e vengono spiegati gli indici che ci consentono di valutare la convenienza di un investimento (VAN, VAM, TIR, PBT) oltre che definiti i diversi costi/ricavi e flussi di cassa legati ad un impianto fotovoltaico. La lettura è coadiuvata da dettagliati esempi, tratti dal software **PhotosImpianti**, per condurre una vera e propria analisi di convenienza economico-finanziaria per un investimento su un impianto fotovoltaico. Nell’analisi, convergono i risultati del dimensionamento tecnico, i ricavi dalle tariffe del Quinto Conto Energia ed il calcolo degli eventuali ricavi per SSP o RID, oltre che i costi operativi, i costi finanziari, le imposte, gli ammortamenti. Il risultato è un Business Plan che ci dà il quadro economico-finanziario del nostro investimento, che il software PhotosImpianti consente di esportare in dettagliate stampe Microsoft Word.

In tutti e due i macrotemi sono riportati esempi pratici di calcolo, schemi di collegamento ed immagini in modo da rendere la lettura gradevole ed efficace al contempo.

Al volume è stato allegato il nuovo **PhotosImpianti**, software per piattaforma Windows (9x/Xp/Vista/7), utile al dimensionamento ed alla stima di un impianto fotovoltaico connesso alla rete,

che dopo migliaia di righe di codice e di miglioramenti consecutivi in base ai feed-back da parte dei numerosissimi utenti, raggiunge un notevole grado di automazione e funzioni.

Il software permette inoltre la stima economica e l'analisi finanziaria attraverso un modulo indipendente denominato "Business Plan", grazie al quale è possibile valutare la resa economica di un impianto fotovoltaico connesso alla rete, nel Quinto Conto Energia.

Per ulteriori approfondimenti ed aggiornamenti, Vi invitiamo a consultare il sito web www.photosimpianti.it.

Ringraziamenti

La realizzazione del volume è stata possibile grazie alla collaborazione di altri due colleghi: l'Ing. Gianluca Milani e l'Ing. Paolo Landi, che oltre ad aver preso parte alla stesura del libro hanno contribuito in maniera preziosa e professionale alla progettazione del software PhotosImpianti. Il loro contributo è stato essenziale per poter portare a termine un progetto nato per passione e divenuto ben presto una sfida.

PARTE I
PROGETTAZIONE DI SISTEMI FOTOVOLTAICI

INTRODUZIONE

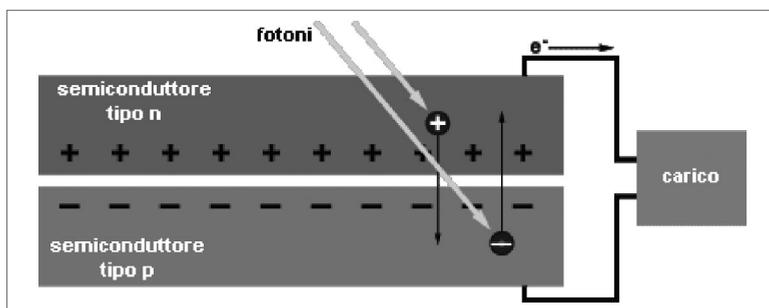
▼ 1.1. Effetto fotovoltaico

Il termine fotovoltaico è composto dalla parola “photo” derivante dal greco “phos” = luce e “Volt” in onore dell’inventore della pila, Alessandro Volta.

L’effetto fotovoltaico consiste nella conversione dell’energia solare in elettricità.

Quando una radiazione elettromagnetica investe un materiale può, in certe condizioni, cedere energia agli elettroni più esterni degli atomi del materiale e, se questa è sufficiente, l’elettrone risulta libero di allontanarsi dall’atomo di origine. L’assenza dell’elettrone viene chiamata in questo caso lacuna. L’energia minima (Energy Gap), necessaria all’elettrone per allontanarsi dall’atomo (passare quindi dalla banda di valenza che corrisponde allo stato legato più esterno, alla banda di conduzione ove non è più legato) deve essere superiore alla banda proibita del materiale.

Quando esponiamo quindi una cella in silicio, opportunamente drogata in modo da formare una giunzione p-n, alla radiazione solare, i fotoni che compongono quest’ultima possono venire riflessi, assorbiti o trasmessi attraverso di essa, in relazione alla frequenza e lunghezza d’onda della radiazione stessa.



Effetto fotovoltaico – giunzione pn

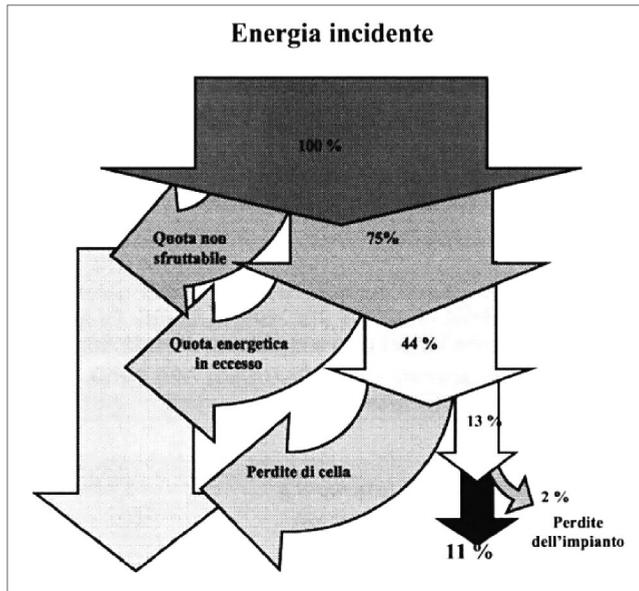
La conversione della radiazione solare ad energia elettrica si ha quando, parte di questi fotoni corrispondenti ad una data frequenza e lunghezza d’onda della radiazione stessa superano l’*Energy Gap* della giunzione, permettendo la creazione di coppie elettrone-lacuna che influenzate dal campo elettrico della giunzione stessa danno origine ad un flusso elettronico unidirezionale.

In teoria la percentuale di energia solare che sarebbe possibile convertire in energia elettrica secondo questo “meccanismo” sfiorerebbe il 44% con il restante 56% sotto forma di calore.

In realtà le percentuali, dei *migliori pannelli fotovoltaici*, attualmente in commercio si stanno ora avvicinando al 20%, con eccezioni per alcuni prototipi sviluppati nel settore della ricerca che grazie all’impiego di nuovi materiali e film-sottili ha varcato la soglia del 30%.

Le cause che concorrono in questo abbassamento della conversione energetica sono molteplici, e qui se ne indicano alcune:

1. non tutti i fotoni incidenti sulla cella fotovoltaica vengono intercettati dall'elettrodo frontale;
2. alcune coppie elettrone-lacuna non vengono influenzate dal campo elettrico interno alla giunzione ma si ricombinano con cariche di segno opposto;
3. non tutti i fotoni hanno energia adeguata e sufficiente per rompere il legame elettrone-nucleo permettendo la creazione di coppie elettrone-lacuna;
4. resistenze parassite prodotte dai contatti metallici e dalla stessa cella in silicio.



Distribuzione perdite-diagramma ad albero

▼ 1.2. Cenni storici

I primi studi sulla conversione della luce in energia elettrica furono fatti dal fisico francese Alexandre Edmund Becquerel nel 1839 attraverso una sua trattazione denominata "Memoria sugli effetti elettrici prodotti sotto l'influenza dei raggi solari".

Becquerel scoprì, a diciannove anni, che la corrente prodotta da una pila formata da due elettrodi di platino Pt, immersi in una soluzione di Nitrato di Piombo $Pb(NO_3)_2$, se esposta alla luce del sole, aumentava.

L'invenzione, però, della prima cella fotovoltaica così com'è intesa modernamente, si ebbe grazie agli studi di Smith, Adams e Day nel 1876.

I tre scienziati britannici, realizzarono un dispositivo allo stato solido, per mezzo di una giunzione tra selenio ed alcuni ossidi metallici.

L'efficienza di conversione ottenuta, intesa come il rapporto tra corrente generata e radiazione luminosa incidente sfiorava appena l'1%.

Successivamente:

- nel 1883: Fritts descrive il funzionamento di una cella fotovoltaica nel tentativo di simulare l'occhio umano;
- nel 1904: Hallwachs scopre l'effetto fotovoltaico in un dispositivo a base di rame;
- nel 1905 fu pubblicata da Albert Einstein la teoria fisica che spiega l'effetto fotoelettrico, del quale l'effetto fotovoltaico ne rappresenta una sottocategoria;
- nel 1914: Il rendimento delle celle al selenio si aggira intorno all'1%;
- nel 1917: Kennard e Dieterich usano il concetto di barriera di potenziale per spiegare l'effetto fotoelettrico.

La vera svolta avvenne però, nella primavera del 1953, quando Gerald Pearson, fisico presso i laboratori Bell, mentre studiava le proprietà del silicio, costruì involontariamente una cella solare sei volte più efficiente di quella a selenio.

Da quel momento in poi la ricerca e la produzione industriale delle celle fotovoltaiche, portò a tutta una gamma di nuovi materiali (CIS, CdTe, InP, Zn₃P₂, Cu₂Se, WSe₂, GaAs, ZnSiAs) e ad un miglioramento delle tecniche costruttive che ancora oggi vengono utilizzate.

In Italia la storia è più recente: è solo nell'agosto del '61, che in occasione della prima Conferenza Internazionale delle Nazioni Unite sulle Fonti di Energia Nuove e Rinnovabili, svoltasi a Roma, si comincia a parlare delle prospettive del fotovoltaico.

Per avere la prima cella solare dobbiamo aspettare il 1973 anno nel quale dopo la crisi petrolifera, il CNR ne cominciò lo sviluppo.

Nello stesso periodo vennero fondate la Solare S.p.a e la Helios Technology, inizialmente nota come Secies.

Nel 1979, al Passo della Mandriola, nella comunità dell'appennino Cesenate, venne installato il primo impianto fotovoltaico italiano da 1 kW, frutto di una collaborazione tra l'istituto LAMEL del CNR, l'ENEL, la Riva Calzoni e la Helios Technology.

Negli anni '90 l'Italia era al primo posto in Europa per la potenza installata in impianti fotovoltaici (circa 25 MW), e nel 1993 nacque il Piano Fotovoltaico Nazionale, al quale parteciparono, tra gli altri, l'ENEA, l'ENI Eurosolare e l'Helios Technology.

LA SFIDA ENERGETICA

▼ 2.1. Il problema energetico mondiale

La sfida più importante da affrontare per il nostro pianeta è, e sarà, quella di poter garantire e reperire risorse energetiche per lo sviluppo socio-economico globale, contenendo i processi di cambiamento climatico in atto.

Secondo, infatti, una stima delle Nazioni Unite dagli attuali 6 miliardi di popolazione, nel 2050 passeremo a più di 9 miliardi.

Un incremento della popolazione mondiale che porterebbe ad un aumento della domanda energetica prossima al 100% con il 37% solo per i paesi Europei.

In uno scenario del genere le risorse energetiche rivestono uno dei problemi più seri da dover affrontare. Nel 2005 il consumo mondiale d'energia primaria è derivato: per il 35% dal petrolio, il 25% dal carbone, il 21% dal gas naturale, il 9% dal nucleare e idroelettrico, il 10% dalle biomasse e meno dello 0,1%, da fonte solare e geotermica.

I combustibili fossili e lo stesso uranio, tuttavia, sono risorse esauribili e la maggioranza di esse contribuisce al degrado irreversibile dell'ambiente, aumentando le emissioni di CO₂ (anidride carbonica), principale causa dell'effetto serra.

Le emissioni di CO₂ oggi prodotte resteranno nell'atmosfera per circa 100 anni.

Alcuni effetti dei cambiamenti climatici attribuibili all'effetto serra, sono già visibili e riguardano l'aumento della temperatura media del pianeta; l'incremento della frequenza di eventi estremi; l'accelerazione della crescita del livello del mare per lo scioglimento dei ghiacci per finire con la desertificazione e tutte le conseguenze del caso.

Secondo un importante esperto commissionato dal governo Britannico Nicholas Stern, nel futuro; dal 5 al 20% del prodotto interno lordo mondiale dovrà essere impiegato annualmente per riparare i danni provocati dai nuovi e catastrofici assestamenti climatici.

È facilmente intuibile quindi, che diventa fondamentale, trovare nuove risorse energetiche in grado di rispondere alla crescita della domanda non impattando sull'ambiente ed in grado di diminuire le emissioni inquinanti.

Il Protocollo di Kyoto, elaborato nel 1997 ed entrato in vigore il 16 febbraio 2005, introduce ed indica ai soli Paesi industrializzati gli obiettivi e le metodologie per concorrere ad uno sviluppo sostenibile.

Il primo traguardo era quello di ridurre le emissioni inquinanti globali del 5,2% per il periodo 2008-2012 rispetto all'anno base del 1990. Attualmente la riduzione globale è stimata al 3,3% con fortissime differenze geopolitiche nelle quali figurano anche gli Stati Uniti che non hanno ratificato il trattato.

Il target fissato dal PK all'Italia per il 2012, nella diminuzione dei gas clima-alteranti, era fissato al 6,5% ed è salito al 20% perché in riferimento all'anno 2004 le emissioni nazionali dei gas serra sono aumentate del 12,2%, rispetto al 1990.

Il 10 gennaio 2007 la Commissione Europea ha presentato una serie di importanti concetti ribadendo tre punti fondamentali della politica energetica europea: la lotta ai cambiamenti climatici, la necessità di ridurre la vulnerabilità verso l'esterno in materia di importazione di idrocarburi e il bisogno di promuovere la crescita economica e l'occupazione.

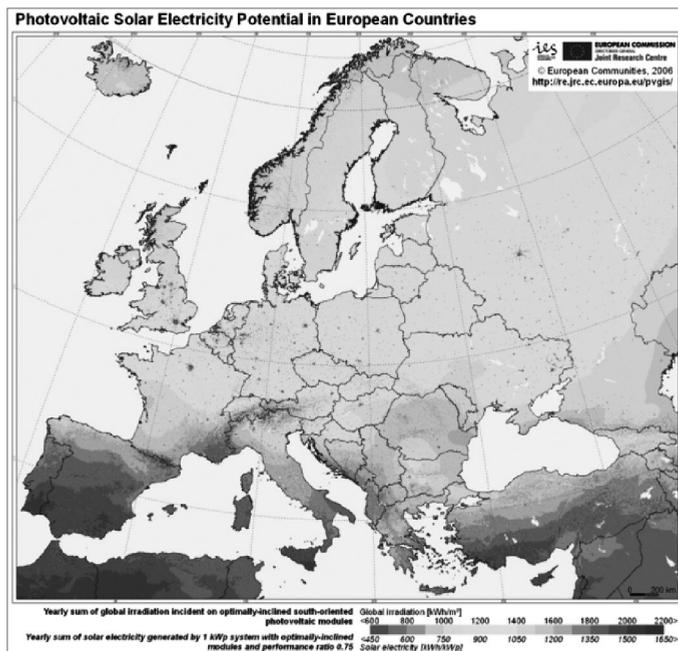
Gli obiettivi che si è prefissata l'Europa sono perfino più severi del PK:

- ridurre i gas a effetto serra per i paesi industrializzati del 30% rispetto ai livelli del 1990 entro il 2020 per arrivare nel 2050 con una riduzione globale del 50%;
- l'UE si impegna a raggiungere una riduzione delle emissioni inquinanti, almeno del 20%, rispetto al 1990.

Questo porta di fatto l'Italia a dover rincorrere, attuando da subito delle metodologie e delle politiche adeguate per rispettare gli impegni presi. Le tecnologie per contrastare il degrado climatico e da oggi disponibili, sono per lo più fonti rinnovabili di energia come: eolico, solare fotovoltaico, il solare termico e a concentrazione nonché l'uso energetico delle biomasse.

Queste fonti energetiche rinnovabili unite ad una migliore efficienza energetica nella produzione, nella trasformazione, nel risparmio e nell'uso finale dell'energia può consentire l'avvicinamento all'obiettivo indicato dal Protocollo di Kyoto per il 2012 e del 2020 dalla Commissione Europea.

Il solare fotovoltaico rappresenta, attualmente una delle fonti energetiche chiave con un potenziale di espansione di 100 TWh.



Potenziale fotovoltaico in Europa

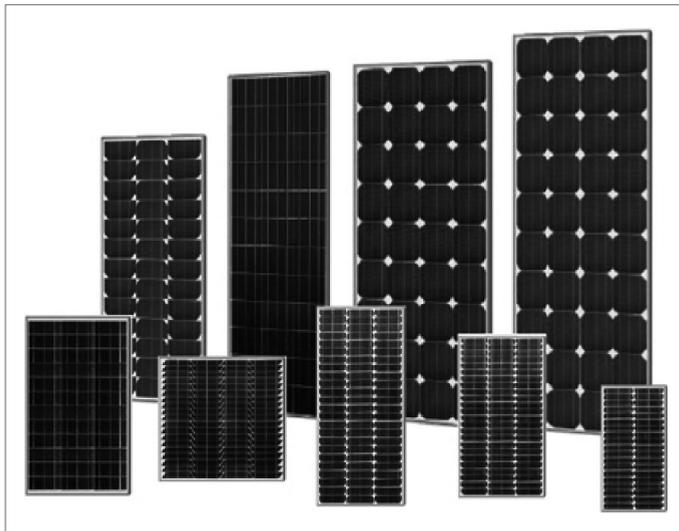
Questa tecnologia permette un abbattimento delle emissioni in atmosfera dei gas a effetto serra pari a 0,531 kg di CO₂ per kWh prodotto, inoltre l'energia prodotta nei 20-30 anni di vita utile dell'impianto supera di 4-10 volte, a seconda del tipo di pannello, quella richiesta per la sua costruzione.

IMPIANTI FOTOVOLTAICI

▼ 3.1. Moduli fotovoltaici e tecnologie

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

- al rendimento ed al tipo dei materiali utilizzati; nonché la purezza;
- all’irraggiamento a cui vengono esposte le celle;
- all’angolazione con cui la radiazione solare colpisce il modulo rispetto alla superficie;
- alla temperatura di esercizio dei materiali, che tendono ad “affaticarsi” per temperature elevate;
- alla composizione dello spettro di luce.



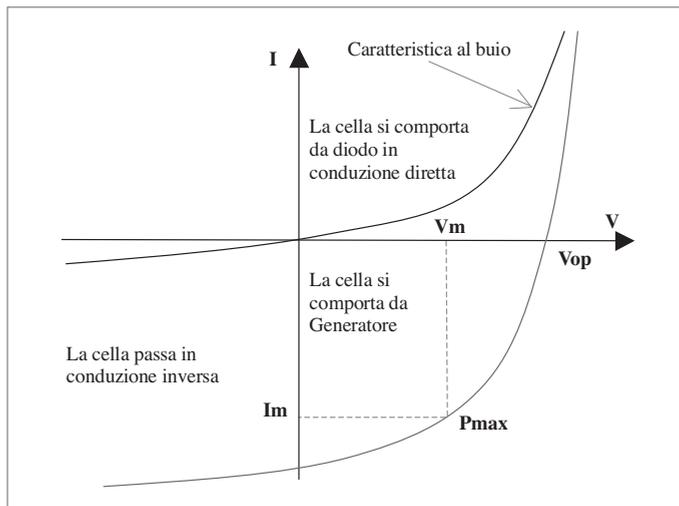
Con rendimento si intende la *percentuale di energia captata e trasformata rispetto a quella totale giunta sulla superficie del modulo*, e può essere considerato un indice di correlazione tra Watt erogati e superficie occupata, a parità di tutte le altre condizioni.

A causa del naturale decadimento dei materiali, il rendimento di un pannello fotovoltaico diminuisce di circa un punto percentuale su base annua, ed è ormai consuetudine che i produttori offrano un’opportuna garanzia che oltre ai difetti di fabbricazione copra questo decremento prestazionale nel tempo.

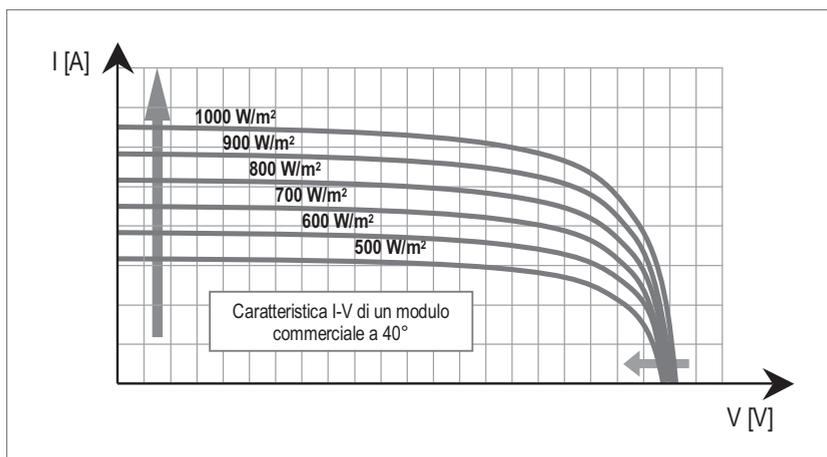
Attualmente i produttori garantiscono un rendimento del 90% per i primi 10 anni e dell’80% sul nominale per 20 anni. Si stima che i moduli fotovoltaici odierni abbiano una vita di 50 anni circa, anche se è plausibile ipotizzare la loro dismissione dopo 20-25 anni, a causa della evoluzione tecnologica. I diversi tipi di celle fotovoltaiche possono riassumersi principalmente in tre categorie:

1. *policristallino*, in cui il wafer di silicio non è strutturalmente omogeneo ma organizzato in grani localmente ordinati (policristallo);
2. *monocristallino*, in cui ogni cella è realizzata a partire da un wafer di silicio la cui struttura cristallina è omogenea (monocristallo);
3. *film sottile*, in cui ogni cella è formata per mezzo della deposizione di più substrati di una miscela di gas.

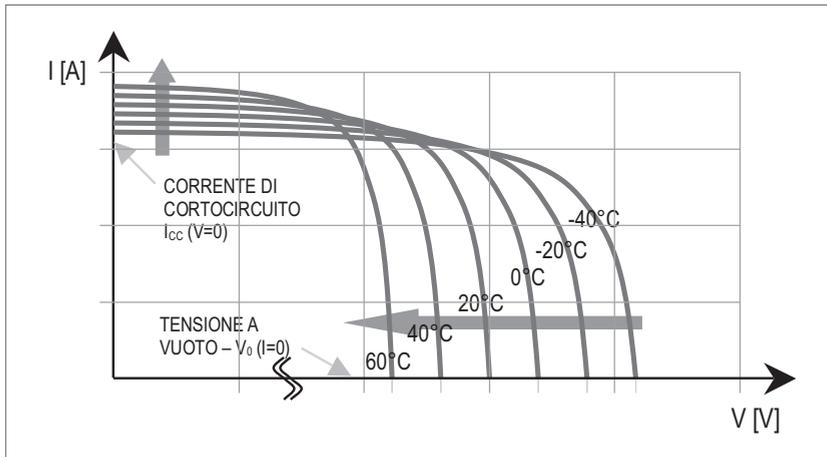
Queste le curve caratteristiche di un modulo commerciale:



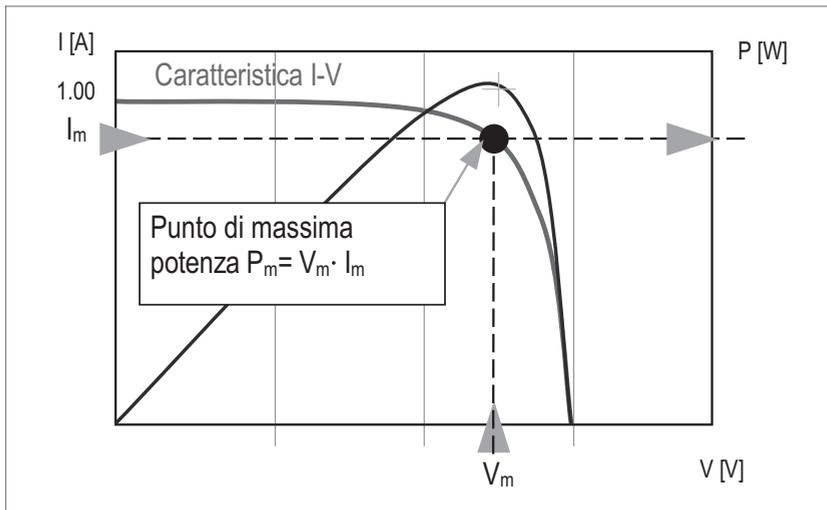
Curva caratteristica globale della cella solare



Caratteristica elettrica (I-V) in funzione della radiazione solare incidente



Caratteristica elettrica (I-V) in funzione della temperatura di un modulo fotovoltaico



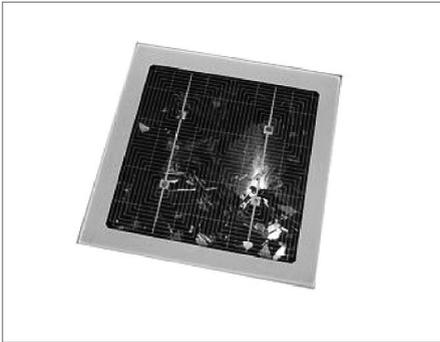
Caratteristica I-V di una cella solare ed andamento della potenza

Policristallino e monocristallino

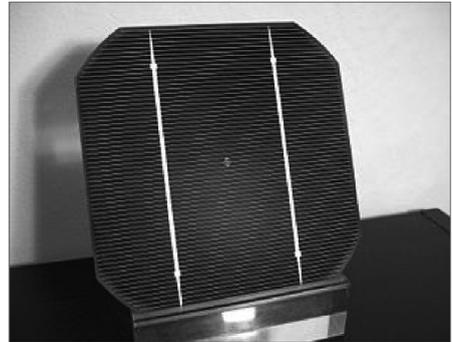
Il silicio monocristallino più pregiato ed industrialmente più costoso del policristallino, è ottenuto attraverso un processo denominato *melting*, a partire da cristalli di silicio di elevata purezza che, una volta fusi, vengono fatti solidificare a contatto con un seme di cristallo, ed opportunamente tagliati in wafers da 250-300 μm .

Per quanto riguarda invece il wafer multi cristallo, il processo è analogo e si ottiene dalla fusione e successiva ricristallizzazione del silicio di scarto dell'industria elettronica ("scraps" del si-

licio). Il costo dei pannelli realizzati in silicio policristallino è inferiore a quello dei pannelli in monocristallo, al prezzo però di un minor rendimento a parità di superficie.



Cella di silicio policristallino



Cella di silicio monocristallino

La connessione elettrica fra celle fotovoltaiche, è ottenuta per mezzo di due contatti metallici, uno sulla faccia esposta e l'altro no, per evaporazione sottovuoto dei metalli a bassissima resistenza elettrica. Questo tipo di celle fotovoltaiche, connesse in serie/parallelo e racchiuse tra un foglio di plastica e una lastra di vetro temperato, costituiscono la grande maggioranza dei moduli commerciali. Dalle dimensioni rettangolari e dal peso che oscilla tra i 6 e i 21 kg, sono solitamente incorniciati da un profilo di alluminio che ne conferisce un'ottima robustezza.

I rendimenti non sono altissimi, ma più stabili nel tempo, se confrontati con quelli a film sottile:

- 14%-15% nei moduli in silicio monocristallino;
- 12%-13% nei moduli in silicio policristallino.

Celle a film sottile

Questo tipo di moduli dallo spessore di qualche millimetro, sono composti da strati di materiale semiconduttore in cui non sempre è presente il silicio e depositati generalmente come miscela di gas su supporti a basso costo (vetro, polimeri, alluminio) che danno consistenza fisica alla miscela.



Silicio amorfo Uni-Solar

Di questa categoria fanno parte:

- *Silicio amorfo tradizionale* (a-Si), uno dei più commercializzati, in cui gli atomi silicei vengono depositi chimicamente in forma amorfa, ovvero strutturalmente disorganizzata, sulla superficie di sostegno.

Questa tecnologia impiega quantità molto esigue di silicio, non presentando i classici problemi di fragilità o di esposizione dei moduli cristallini, sono inoltre calpestabili, flessibili e dai costi contenuti. Unica pecca della tecnologia sono le efficienze che si aggirano intorno al 6-7%, con qualche eccezione tecnologica al 9% e la stabilità nel tempo rispetto ai policristallini e ai monocristallini.

- *Silicio amorfo (a-Si): H TANDEM & TRIPLE JUNCTION*, derivata dalla tecnologia precedente (a-Si:H tradizionale) questa tecnologia innovativa permette un maggior rendimento di funzionamento, il quale in alcuni casi arriva al 12% (triple junction).

In pratica vengono aggiunte ulteriori giunzioni, trattate in maniera differente, le quali hanno risposte diverse allo spettro della luce, aumentando quindi la banda di funzionamento nello spettro solare.

Ad esempio: un modulo FV costruito con questo tipo di tecnologia, paragonata al silicio cristallino C-Si, anche se di minor efficienza, a parità di potenza riesce a produrre in base annua un 20% in più di energia perché ha una migliore risposta alla radiazione solare diffusa.

La tecnologia Triple Junction Unisolar ad esempio, permette di costruire moduli fotovoltaici di tipo flessibile per svariati usi e inoltre permette di incollare le varie celle su substrati in acciaio (tetti in lamiera) e di altro materiale (guaina in PVC, ecc.). La tecnologia Unisolar tra l'altro è l'unica a dare 20 anni di garanzia nel settore film sottile.

- *Telloruro di cadmio (CdTe)*, in via di commercializzazione, questo materiale semiconduttore, permette di realizzare moduli fotovoltaici con peculiarità del tutto simili a quelle realizzate con il costoso arseniuro di gallio.

Le caratteristiche meccaniche sono ottime, con appena uno strato attivo di 5 micron si riescono a costruire celle con rendimenti superiori al 15%. Rimane tuttavia ancora non del tutto soddisfacente la produzione su larga scala ed il rendimento globale del modulo.

- *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, cioè viene letteralmente spruzzato come una vernice. Tra gli svantaggi legati alla produzione di questo genere di celle fotovoltaiche vi è la tossicità del cadmio ed il basso rendimento del dispositivo.

- *Arseniuro di gallio (GaAs)*, una lega binaria con proprietà semiconduttive, in grado di assicurare rendimenti elevatissimi, anche del 40%, dovuti alla proprietà di avere un gap diretto (a differenza del silicio).

Viene impiegata soprattutto per applicazioni militari, spaziali o scientifiche avanzate (come missioni automatizzate di esplorazione planetaria o fonorivelatori 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) e il CIGS (rame indio gallio selenio)*: dal punto di vista economico queste celle sono tra le più promettenti, in quanto utilizzano substrati a basso costo e processi altrimenti automatizzabili, con rendimenti vicini al 12%.