

Vincenzo Scimeca

IMPIANTI FOTOVOLTAICI

DAL SOPRALLUOGO ALLA REALIZZAZIONE

SECONDA EDIZIONE

AGGIORNATA AL D.M. 6 AGOSTO 2010 (TERZO CONTO ENERGIA)

CD-ROM INCLUSO

3 progetti di impianti fotovoltaici: 4,8 kWp, 52,8 kWp, 93,38 kWp; Schemi elettrici in CAD;
Modulistica; Schede di raccolta dati; Normativa di riferimento; Documenti fotografici




GRAFILL

Vincenzo Scimeca

IMPIANTI FOTOVOLTAICI – DAL SOPRALLUOGO ALLA REALIZZAZIONE

ISBN 13 978-88-8207-420-3

EAN 9 788882 074203

Formulari & Guide, 25

Seconda edizione, febbraio 2011

Scimeca, Vincenzo <1976->

Impianti fotovoltaici : dal sopralluogo alla realizzazione / Vincenzo Scimeca.

– 2. ed. – Palermo : Grafill, 2011.

(Formulari & guide)

ISBN 978-88-8207-420-3

1. Impianti solari – Progettazione.

621.47 CDD-22

SBN Pal0232637

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 febbraio 2011

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.

Indice

BIBLIOGRAFIA	"	6
PRESENTAZIONE	"	7
INTRODUZIONE	"	9
1. FONDAMENTI GENERALI		
E PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO	"	11
1.1. La radiazione solare	"	11
1.2. Il principio fotovoltaico	"	12
1.3. Il processo produttivo	"	15
1.4. Tecnologia: silicio monocristallino, policristallino, amorfo.....	"	16
1.5. Modulo fotovoltaico	"	18
1.6. Inverter	"	23
1.7. Impianto fotovoltaico isolato "stand alone"	"	27
1.8. Impianto fotovoltaico connesso alla rete "grid connected"	"	32
2. PROGETTAZIONE E DIMENSIONAMENTO	"	34
2.1. Il sopralluogo	"	34
2.2. Dimensionamento di un sistema fotovoltaico	"	38
2.3. Componenti di un sistema fotovoltaico	"	41
2.4. Messa a terra	"	47
2.5. Protezione dai fulmini	"	48
2.6. Le fasi progettuali	"	50
2.7. Autorizzazioni e permessi	"	54
2.8. Dimensionamento mediante software: i configuratori	"	55
3. MONTAGGIO E MESSA IN SERVIZIO		
DI UN IMPIANTO DA 4,8 KWP: CASO PRATICO	"	57
3.1. Premessa	"	57
3.2. Montaggio delle strutture di supporto	"	58

3.3.	Montaggio dei moduli.....	p.	60
3.4.	Lavorare in sicurezza sulle coperture.....	"	62
3.5.	Posa dei cavi in corrente continua	"	63
3.6.	Quadri elettrici: cablaggio e posa in opera	"	65
3.7.	Montaggio e collegamento dell'inverter	"	67
3.8.	Allaccio alla rete elettrica e attivazione dell'impianto	"	70
3.9.	Collaudo, gestione e manutenzione	"	72
4.	MONTAGGIO E MESSA IN SERVIZIO		
	DI UN IMPIANTO DA 52,8 KWP: CASO PRATICO	"	75
4.1.	Premessa.....	"	75
4.2.	Montaggio delle strutture di supporto	"	76
4.3.	Montaggio dei moduli.....	"	78
4.4.	Quadri elettrici: cablaggio e posa in opera	"	80
4.5.	Collaudo	"	82
5.	MONTAGGIO E MESSA IN SERVIZIO		
	DI UN IMPIANTO DA 93,38 KWP: CASO PRATICO	"	84
5.1.	Premessa.....	"	84
5.2.	Montaggio delle strutture di supporto	"	84
5.3.	Montaggio dei moduli.....	"	85
5.4.	Quadri elettrici: cablaggio e posa in opera	"	87
5.5.	Sistemi di allarme	"	88
6.	CONSIDERAZIONI ECONOMICHE:		
	PROGRAMMI DI INCENTIVAZIONE E FINANZIAMENTI	"	90
6.1.	Considerazioni economiche ed ambientali	"	90
6.2.	Perché promuovere il fotovoltaico	"	90
6.3.	Il mercato fotovoltaico in Italia: opportunità e sviluppo	"	91
6.4.	Il sistema di incentivazione: il "Terzo Conto Energia"	"	92
6.5.	I costi di un impianto fotovoltaico ed il ritorno economico dell'investimento	"	98
6.6.	L'assicurazione dell'impianto: polizze assicurative "all risk"	"	102
6.7.	Contratto di manutenzione e gestione	"	102
6.8.	Finanziamenti per gli impianti fotovoltaici	"	103
6.9.	Aspetti fiscali	"	103
7.	COME PREDISPORRE UNA PRATICA:		
	ITER REALIZZATIVO	"	109
7.1.	Principali norme	"	109
7.2.	Iter di realizzazione di un impianto fotovoltaico	"	111
7.3.	Le autorizzazioni	"	112

7.4.	Connessione alla rete elettrica	p.	114
7.5.	Misura dell'energia elettrica e contratti.....	"	115
7.6.	Officina elettrica	"	117
7.7.	Richiesta incentivo in conto energia.....	"	117
APPENDICE LEGISLATIVA			" 123
Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico 10 settembre 2010....			" 123
<i>Linee guida per l'autorizzazione</i>			
<i>degli impianti alimentati da fonti rinnovabili.</i>			" 123
Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico 6 agosto 2010			" 153
<i>Incentivazione della produzione di energia elettrica</i>			
<i>mediante conversione fotovoltaica della fonte solare.</i>			" 153
Regole tecniche per il riconoscimento delle tariffe incentivanti previste dal D.M. 6 agosto 2010 (Terzo Conto Energia) – Dicembre 2010.....			" 172
Guida alle applicazioni innovative finalizzate all'integrazione architettonica del fotovoltaico (Terzo Conto Energia) – Dicembre 2010.			" 191
GUIDA ALL'INSTALLAZIONE E ALL'USO DEL SOFTWARE			" 205
Introduzione.....			" 205
Requisiti minimi hardware e software			" 205
Richiesta della "password utente"			" 205
Procedura per l'installazione del software			" 205
Procedura per la registrazione del software			" 206
Procedura per l'uso del software			" 206

Bibliografia

Angioni R., Crovetto D., *La sicurezza nelle coperture*, Grafill, ottobre 2009.

Bordolli G., Di Nicola M., *Impianti fotovoltaici e nuovo conto energia nei condomini*, Maggioli Editore, dicembre 2007.

Caffarelli A., De Simone G., Stizza M., D'Amato A., *Sistemi solari fotovoltaici: progettazione e valutazione economica in conto energia*, Maggioli Editore, marzo 2009.

CEI – Comitato Elettrotecnico Italiano, *Guida alla realizzazione dei sistemi di generazione fotovoltaica collegati alle reti elettriche di media e bassa tensione*, Edizione 2007.

Falk A., Durschner C., Remmers K.H., *Il fotovoltaico per professionisti. Vendita, progettazione e montaggio di impianti fotovoltaici*, DEI Tipografia del Genio Civile.

Monteleone G., *Edilizia privata in Sicilia*, VI edizione, Dario Flaccovio Editore.

TNE – Tuttonormel in collaborazione con GSE, *Guida blu n. 15 Fotovoltaico*, Edizioni TNE, febbraio 2008.

Carrescia V., Scarioni V., *Quadri bassa tensione*, Edizioni TNE, giugno 2010.

Presentazione

Questa seconda edizione è stata aggiornata al decreto ministeriale del 6 agosto 2010 *“Incentivazione della produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare”*, che regolerà il meccanismo delle tariffe incentivanti concesse dal GSE (Gestore dei Servizi Energetici) per il prossimo triennio (2011-2013).

Al fine di mantenere il taglio pratico della prima edizione, il testo è stato arricchito di due nuovi casi pratici. Il capitolo 3 illustra le fasi di realizzazione di un impianto fotovoltaico da 4,8 kWp, già presentato nella precedente edizione. Il capitolo 4 illustra le fasi di realizzazione di un impianto fotovoltaico da 52,8 kWp al servizio di un'azienda che produce olio di oliva, dove l'energia prodotta dall'impianto viene ceduta interamente alla rete elettrica in regime di ritiro dedicato. Il capitolo 5 invece illustra le fasi di realizzazione di un impianto fotovoltaico da 93,38 kWp al servizio di un'azienda agricola. Quest'ultimo nella fattispecie, per la presenza di più edifici non adiacenti tra loro e con diverso orientamento e inclinazione, ha richiesto un più complesso lavoro di progettazione e di installazione.

Gli impianti presentati si trovano nel comune di Caccamo (PA), sono già connessi alla rete elettrica di Enel e le realizzazioni sono state interamente eseguite da Enersystems S.r.l., azienda siciliana che dal 2007 opera attivamente nel settore occupandosi della progettazione, installazione, collaudo e manutenzione di impianti fotovoltaici, sia per il settore privato che per quello aziendale.

Il testo è stato suddiviso in 7 capitoli, dai principi di funzionamento alla predisposizione completa di una pratica, trattando anche gli aspetti economici e i recenti riferimenti normativi in ambito alle autorizzazioni per la costruzione e l'esercizio degli impianti.

Il CD-ROM allegato oltre ai riferimenti normativi aggiornati, alle schede di raccolta dati, alla modulistica ed alla documentazione fotografica, è stato integrato con gli schemi elettrici e i progetti preliminari relativi ai due nuovi casi pratici. La documentazione è in formato adatto ad essere prontamente utilizzata da quanti, tecnici e progettisti del settore, ricercano informazioni pratiche, utili alla progettazione e alla messa in opera dei sistemi fotovoltaici, che derivano dall'esperienza diretta nel settore.

Ing. Vincenzo Scimeca
Amministratore Unico ENERSYSTEMS S.r.l.

Introduzione

Il programma di incentivi per il settore fotovoltaico, avviato in Italia nel 2005 e nel 2006 e in maniera incisiva nel 2007 con il decreto ministeriale 19 febbraio 2007, ha fatto registrare una crescita esponenziale e permesso il raggiungimento di un traguardo ambizioso. A dicembre 2010 risultavano in esercizio 144.832 impianti fotovoltaici, per una potenza complessiva che sfiora i 3.000 MW (fonte www.gse.it). Il 90% della potenza totale è costituita da impianti fotovoltaici di piccola taglia (1-20 kW), è chiaro quindi che il meccanismo di incentivazione è stato utilizzato soprattutto dalle famiglie e dalle aziende che hanno come principale scopo quello di abbattere i propri consumi energetici.

Una fotografia della situazione in Sicilia vede un totale di 7.635 impianti fotovoltaici di cui: 3.211 impianti nella classe 1-3 kW, 4.104 impianti nella fascia 3-20 kW, 257 impianti nella fascia 20-200 kW, 50 impianti nella fascia 200-1000 kW e solamente 13 impianti nella fascia maggiore di 1.000 kW. Questi sono dati ufficiali del GSE (Gestore dei Servizi Energetici) al 31 dicembre del 2010 e denotano chiaramente in quale direzione sta andando il mercato fotovoltaico. Per il 95,8% si tratta di impianti fotovoltaici residenziali e aziendali di piccola taglia (1-20 kW), il 4% circa sono impianti aziendali di media e grande taglia. Gli impianti oltre il megawatt sono invece una percentuale trascurabile, anche perché sistemi di tale taglia richiedono un iter burocratico molto articolato e complesso e quindi tempi di realizzazione che possono richiedere anni.

Ci si augura che in futuro possa crescere la quota di mercato degli impianti aziendali di media e grande taglia e che le aziende maggiormente “energivore” possano beneficiare degli incentivi statali del “conto energia”, soprattutto nelle zone industriali dove generalmente non ricorrono i problemi di connessione alla rete elettrica.

Il futuro sviluppo del mercato fotovoltaico vedrà infatti protagonista anche lo sviluppo ed il potenziamento della rete elettrica nazionale. Sarà necessario integrare gli impianti fotovoltaici alla rete di trasmissione e distribuzione, trasformando le reti esistenti in sistemi “intelligenti” (Smart Grid) in grado di accogliere l’energia non programmabile, conciliando i sistemi tradizionali di generazione centralizzati con quelli distribuiti, tipici delle fonti rinnovabili. Il concetto di Smart Grid prevede una rete elettrica globale in cui opereranno insieme sistemi di generazione centralizzati e distribuiti, in cui le reti elettriche saranno trasformate in un sistema articolato ed interconnesso le cui caratteristiche principali sono: flessibilità, sicurezza, efficienza, ottimizzazione, economicità, bi direzionalità.

Allo stato attuale sono già in corso degli interventi sulla rete elettrica italiana per il trasposto dell'energia da fonte rinnovabile. Lo scorso 18 giugno del 2010, a Milano, in un convegno organizzato dal GIFI (Gruppo Imprese Fotovoltaiche Italiane), Terna ha presentato alcuni dei progetti in corso e illustrato il piano di sviluppo della rete elettrica, che prevede le interconnessioni con l'estero (Montenegro e Tunisia). Ha inoltre presentato anche l'ambizioso progetto DESERTEC, ovvero l'interconnessione delle reti elettriche europee con quelle del Nord Africa e dei Balcani.

In ambito alle Smart Grid emerge che saranno necessarie ingenti somme per la ricerca e lo sviluppo e che la strada da percorrere probabilmente è ancora lunga, ma ciò rappresenta una delle sfide tecnologiche per il futuro energetico mondiale.

Il programma di incentivi per il fotovoltaico vedrà comunque una terza fase, a partire dal 2011, grazie al decreto ministeriale 6 agosto 2010 *"Incentivazione della produzione di energia elettrica mediante conversione fotovoltaica della fonte solare"*, che permetterà una ulteriore crescita economica e sociale e prospettive promettenti per il futuro del settore.

Nel 2010 il mercato fotovoltaico italiano ha fatto registrare un fatturato di circa 3,5 miliardi di euro e, nonostante la tecnologia sia ancora costosa, lo stesso mercato ha contribuito a creare nuovi posti di lavoro (20.000 in soli 4 anni). Il settore inoltre contribuisce positivamente alla fiscalità nazionale e, non ultimo, risponde alle aspirazioni ed alle esigenze della maggioranza dei cittadini italiani.

Un impianto fotovoltaico installato sulla propria abitazione o al servizio della propria azienda consente infatti di risparmiare immediatamente sui costi sostenuti per la bolletta dell'energia elettrica, consentendo un bilancio positivo immediato e un guadagno nel lungo periodo, grazie alle tariffe incentivanti garantite per 20 anni.

Il tempo di ritorno economico dell'investimento in un impianto fotovoltaico viene valutato in funzione del costo dell'impianto e dei ricavi da esso derivanti, ovvero dalla tariffa incentivante e dal risparmio o dalla vendita dell'energia elettrica prodotta. Poiché i ricavi sono direttamente legati alla produzione elettrica annua che un impianto è in grado di sviluppare, è chiaro che il ritorno economico dell'investimento risulta più rapido nel caso di impianti installati nelle regioni meridionali.

Nelle regioni del sud infatti la radiazione solare è superiore rispetto alle regioni del centro-nord, prendendo infatti come riferimento un impianto da 1 kW di potenza nominale, con orientamento ed inclinazione ottimali ed in assenza di ombreggiamento, in Italia è possibile stimare le seguenti producibilità annue: regioni settentrionali 1.000-1.100 chilowattora all'anno (kWh/anno); regioni centrali 1.200-1.300 chilowattora all'anno; regioni meridionali 1.400-1.500 chilowattora all'anno.

La valutazione economica di un impianto fotovoltaico si può effettuare prendendo come riferimento il tempo di ritorno economico del capitale investito, oppure utilizzando il tasso interno di rendimento (TIR) come indice di riferimento più efficace per la valutazione dell'investimento, sapendo che quest'ultimo parametro nel caso del fotovoltaico è quasi sempre vicino al 15% ed è garantito per 20 anni. Questi indici finanziari rendono il fotovoltaico uno dei migliori investimenti offerti oggi dal mercato, sia in termini di convenienza che di certezza.

Capitolo 1

Fondamenti generali e principio di funzionamento

1.1. La radiazione solare

Il sole, come tutti i corpi caldi, emette una radiazione elettromagnetica chiamata radiazione solare, che scaturisce dai processi di fusione dell'idrogeno contenuto nello stesso. La radiazione solare costituisce il combustibile principale di tutti i processi vitali del pianeta terra.

La potenza della radiazione elettromagnetica incidente sull'unità di superficie prende il nome di *irraggiamento solare* che può essere misurato con appositi strumenti (piranometro o solarimetro).

L'irraggiamento solare all'esterno dell'atmosfera prende il nome di *costante solare* ed è pari a 1367 watt al metro quadro (W/m^2). Nell'attraversare l'atmosfera terrestre la radiazione solare si attenua venendo in parte dispersa ed in parte assorbita. La radiazione che giunge al suolo è quindi la risultante di una componente *diretta*, di una *diffusa* e di una *riflessa* (figura 1).

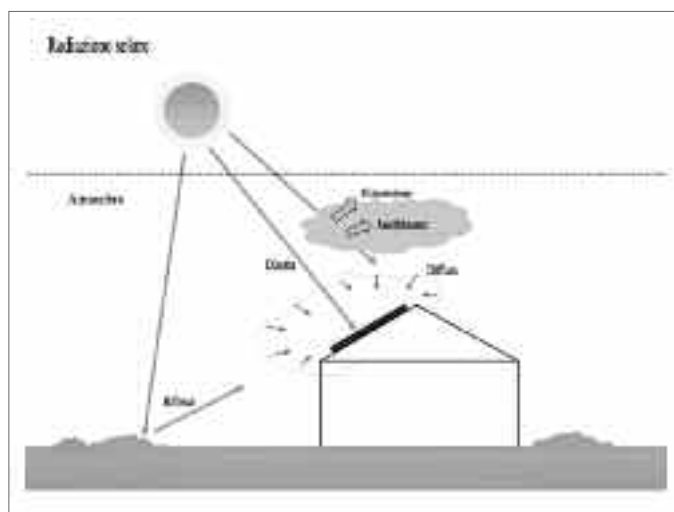


Figura 1. La radiazione solare

D'inverno la componente diffusa è molto maggiore di quella diretta e su base annua può arrivare a rappresentare circa il 50% della radiazione solare globale. La radiazione riflessa dipende dal coefficiente di albedo (coefficiente di riflessione), che è funzione dell'ambiente circostante (asfalto, erba, ecc.). L'intensità della radiazione solare al suolo dipende inoltre dall'angolo di inclinazione della radiazione stessa (vedi figura 1) e quindi dalla localizzazione geografica (latitudine, longitudine). La radiazione solare varia quindi in funzione dell'orientamento e dell'inclinazione. Per massimizzare l'energia captata nell'arco dell'anno, con riferimento alle latitudini italiane, l'angolo di inclinazione ottimale è di 30° con orientamento a sud. Nella figura 2 è riportato lo scostamento percentuale dell'irraggiamento solare al variare dell'inclinazione e dell'orientamento cardinale.

ORIENTAMENTO	INCLINAZIONE (orizzontale = 0° – verticale = 90°)						
Sud = 0° Est/Ovest = 90°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
0°	0,89	0,97	1,00	0,99	0,93	0,83	0,69
15°	0,89	0,96	1,00	0,98	0,93	0,83	0,69
30°	0,89	0,96	0,99	0,97	0,92	0,82	0,70
45°	0,89	0,94	0,97	0,95	0,90	0,81	0,70
60°	0,89	0,93	0,94	0,92	0,87	0,79	0,69
75°	0,89	0,91	0,91	0,88	0,83	0,76	0,66
90°	0,89	0,88	0,87	0,83	0,78	0,71	0,62

Figura 2. Energia solare al variare dell'orientamento e dell'inclinazione (fonte Enerpoint)

1.2. Il principio fotovoltaico

La conversione diretta dell'energia della radiazione solare in energia elettrica, realizzata con la cella fotovoltaica, utilizza il fenomeno fisico dell'interazione della radiazione luminosa con gli elettroni di valenza nei materiali semiconduttori, denominato appunto effetto fotovoltaico. Qualunque sia il materiale impiegato (silicio o altro), il meccanismo con cui la cella trasforma la luce solare in energia elettrica è sempre lo stesso. Per semplicità si considera il caso in cui la cella fotovoltaica sia costituita da silicio cristallino: normalmente l'atomo di silicio possiede 14 elettroni, 4 dei quali sono elettroni di valenza, che quindi possono partecipare alle interazioni con gli altri atomi, sia di silicio sia di altri elementi. Due atomi affiancati di un cristallo di silicio puro, hanno in comune una coppia di elettroni, uno dei quali appartenente all'atomo considerato e l'altro appartenente all'atomo vicino (figura 3).

Esiste quindi un forte legame elettrostatico fra un elettrone e i due atomi che esso contribuisce a tenere uniti. Tale legame può essere però spezzato da una certa quantità di energia: se l'energia fornita è sufficiente, l'elettrone viene portato ad un livello ener-

getico superiore (banda di conduzione), dove è libero di spostarsi, contribuendo così al flusso di elettricità. Quando passa alla banda di conduzione, l'elettrone si lascia dietro una "buca", cioè una lacuna dove manca un elettrone. L'elettrone vicino può andare facilmente a riempire la buca, scambiandosi così di posto con essa. Per sfruttare l'elettricità, occorre creare un moto continuo di elettroni (e quindi di buche), ovvero una corrente mediante un campo elettrico interno alla cella. Il campo si realizza con particolari trattamenti fisici e chimici, creando un eccesso di atomi caricati positivamente in una parte del semiconduttore, ed un eccesso di atomi caricati negativamente nell'altra parte.

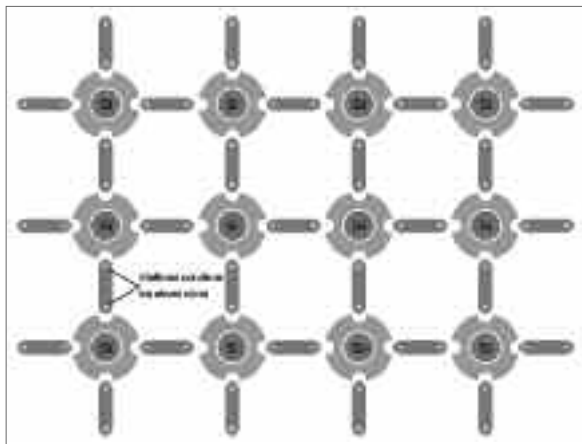


Figura 3. Struttura atomica di una cella di silicio (fonte www.ecojoule.it)

Tale condizione si ottiene, in pratica, immettendo piccole quantità di atomi di boro (carichi positivamente) e di fosforo (carichi negativamente) nel reticolo di silicio, ovvero effettuando il "drogaggio" del semiconduttore (figura 4).

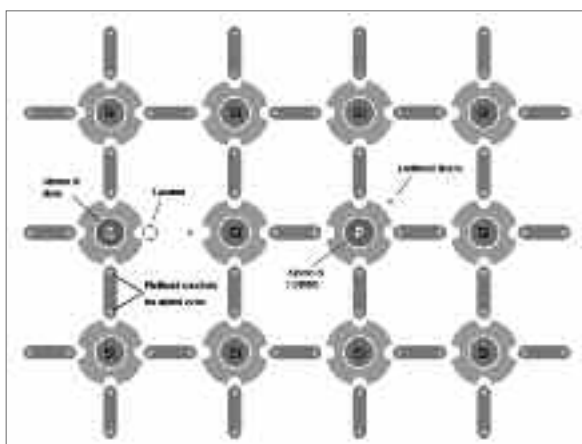


Figura 4. Drogaggio del silicio con atomi di boro e di fosforo (fonte www.ecojoule.it)

L'attrazione elettrostatica fra le due specie atomiche crea un campo elettrico fisso che dà alla cella la struttura detta "a diodo", in cui il passaggio della corrente, costituita da portatori di carica liberi, gli elettroni, è ostacolato in una direzione e facilitato in quella opposta. L'incidenza della radiazione solare causa la separazione delle cariche elettriche positive e negative presenti nella giunzione, generando una differenza di potenziale, per cui chiudendo il circuito con un carico elettrico, si genera un passaggio di corrente elettrica (figura 5).

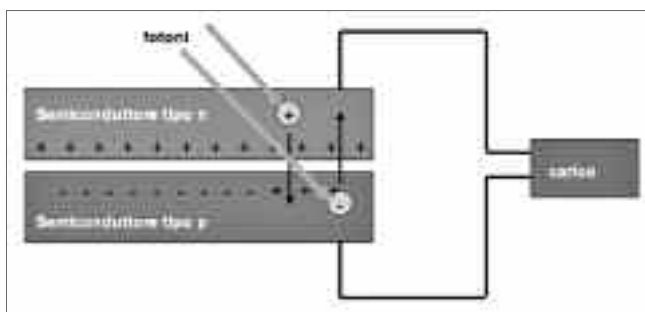


Figura 5. Giunzione p-n (fonte www.tuttotetto.it)

Si tenga presente inoltre che solo una parte dello spettro solare a livello del suolo risulta utile per la conversione fotovoltaica (vedi figura 6): l'energia solare convertibile teoricamente in energia elettrica è pari al 44% circa.

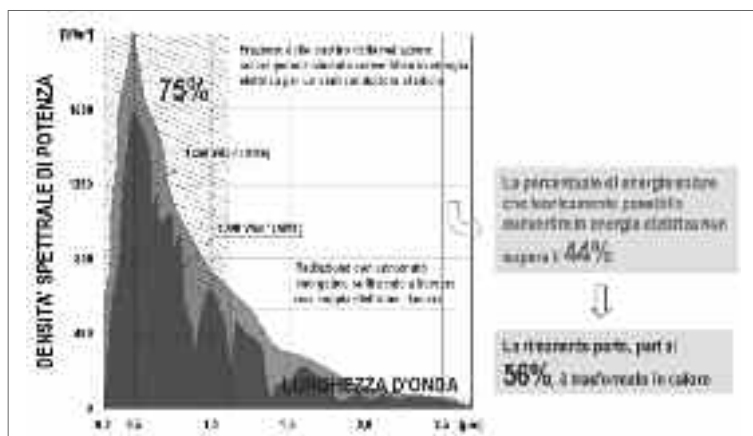


Figura 6. Spettro solare (www.newenergysnc.it)

Nella pratica poi l'efficienza di una cella è di appena il 14-18% in quanto una ulteriore parte della radiazione solare non ha energia sufficiente per penetrare all'interno della cella. L'efficienza della cella dipende inoltre anche dal tipo di silicio (monocristallino, policristallino, amorfo, ecc.).

1.3. Il processo produttivo

Come si è già detto il silicio cristallino è il materiale semiconduttore maggiormente usato per la produzione di celle fotovoltaiche anche se presenta elevati costi di produzione. Le tecniche industriali permettono di produrre due diverse tipologie di silicio: monocristallino e policristallino. La tecnica maggiormente utilizzata per la produzione dei singoli cristalli di silicio da materiale fuso è la **tecnica Czochralski**. Introdotta nei sistemi produttivi industriali agli inizi degli anni '50, tale tecnica permette di ottenere blocchi di silicio di estrema purezza a forma di cilindro. Il processo prende il nome dal ricercatore polacco Jan Czochralski, che lo scoprì nel 1916 mentre stava studiando la cristallizzazione dei metalli.

L'apparato utilizzato per tale tecnica (figura 7) è costituito principalmente da una fornace con un crogiolo di silicio puro fuso nel quale viene immerso un "seme" monocristallo di silicio che, dopo essere stato posto a contatto con la miscela fusa, viene successivamente estratto e lentamente raffreddato. La solidificazione genera un monocristallo di grandi dimensioni (figura 8).

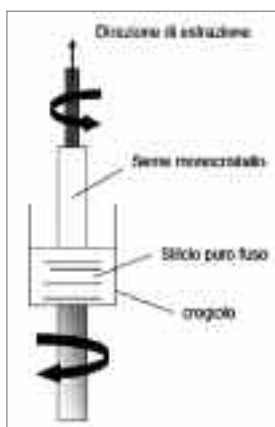


Figura 7. Tecnica Czochralski



Figura 8. Monocristallo di silicio (fonte globalwarming)

Il seme monocristallino è, in pratica, una bacchetta con sopra un sottile strato di silicio in forma monocristallina. Gli atomi di silicio fuso, a contatto con il *seme monocristallino*, si orientano secondo il reticolo atomico della struttura del silicio; si tratta di un processo simile alla formazione di un cristallo di quarzo, ma con la differenza che in natura un cristallo di quarzo si forma in milioni di anni, mentre con questo processo di laboratorio un "pane" di silicio monocristallino si ottiene in pochi giorni.

Al termine del processo il materiale ha la forma di un lingotto cilindrico del diametro di 10-12,5 centimetri, lunghezza di un metro ed appare di colore grigio. Il cristallo viene quindi tagliato mediante un disco diamantato per ottenere fette (wafers) dal diametro di 10-12,5 centimetri e dello spessore di 200 μm .