

Anno scolastico 2005 / 2006

Classe 5<sup>^</sup>BZ

*L'ENERGIA FOTOVOLTAICA.  
AZIONAMENTO APPLICATO AD UN  
PANNELLO SOLARE*



*Di Zoppello Fabio e Ziliani Marco*

# *INDICE*

*1 - BIBLIOGRAFIA*

*2 - INTRODUZIONE*

*3 - IL TERMINE FOTOVOLTAICA*

- *THE NAME OF PHOTOVOLTAIC*

*4 - LA CELLA*

- *THE CELL*
- *PERDITE E RENDIMENTO NELLE CELLE SOLARI*
- *FUNZIONAMENTO CELLE SOLARI*

*5 - MODULO*

*6 - STRUTTURAZIONE DEI PANNELLI FOTOVOLTAICI*

*7 - COMPOSIZIONE DI UN SISTEMA FOTOVOLTAICO*

*8 - INVERTER*

*9 - DURATA DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO E IL SUO FUTURO*

*10 - VANTAGGI*

*11 - CONSIDERAZIONI*

*12 - DISPOSITIVO REGOLAZIONE CIRCUITO IDRAULICO*

*13 - APPLICAZIONE PRATICA SU UN PANNELLO SOLARE*

## *BIBLIOGRAFIA*

Le nostre fonti sono state prevalentemente di due tipi.

Alcuni siti come:

---

[www.ecoage.com](http://www.ecoage.com)

[www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

[www.energoclub.it](http://www.energoclub.it)[www.elettronicanet.com](http://www.elettronicanet.com)

[www.d-garden.it](http://www.d-garden.it)

[www.newton.corriere.it](http://www.newton.corriere.it)

[www.energiaweb.it](http://www.energiaweb.it)

[www.dmail.it](http://www.dmail.it)

e due manuali qui di seguito.

---

Autore: Groppi Francesco

Titolo: Il fotovoltaico per tutti. Manuale pratico per esperti e meno esperti.

Casa editrice: EDITORIALE DELFINO

Data Ristampa: 2005

N° pagine: 168

Autori: C. Zuccaro e F. Groppi

Titolo: Impianti solari fotovoltaici

Casa editrice: EDITORIALE DELFINO

Data ristampa: Ottobre 2005

N° pagine: 370

## *INTRODUZIONE*

Il timore che le risorse d'energia fossile (petrolio, metano, carbone) saranno esaurite nel giro di pochi decenni è ormai di tutti. Problemi quali l'insufficienza di fonti energetiche tradizionali o surriscaldamento dell'atmosfera terrestre, meglio conosciuto come "effetto serra", non possono più essere ignorati. Se non s'intraprenderà una politica energetica decisiva e funzionale tali "disastri" porteranno con certezza al collasso economico e climatico, con effetti devastanti per l'umanità. E allora cosa fare, a chi rivolgersi per ottenere l'energia di cui la popolazione mondiale ha bisogno senza danneggiare l'ambiente? La risposta è semplicissima: la **NATURA!** Essa, come sempre, provvederà a noi attraverso il **SOLE.**

## *IL TERMINE FOTOVOLTAICA*

Il nome "fotovoltaico" esprime in sè il significato della scoperta, "foto" deriva da "luce", "voltaico" deriva invece da Alessandro Volta, inventore della batteria. L'effetto fotovoltaico consiste nella trasformazione della luce in energia elettrica. Esso è noto fin dal secolo scorso, quando si scoprì che era possibile trasformare direttamente l'energia solare in energia elettrica tramite una cella elettrolitica. La prima applicazione si ebbe nel 1954 negli Stati Uniti, quando i laboratori Bell realizzarono la prima cella fotovoltaica utilizzando il silicio monocristallino.

**Traduzione del paragrafo intitolato: "il termine fotovoltaico"**

## *THE NAME OF PHOTOVOLTAIC*

The name of "photovoltaic" includes the meaning of the discovered, "photo" comes from "light" and "voltaic" comes from Alessandro Volta, the inventor of battery.

The photovoltaic effect consists in transformation of light in to electric energy.

It is known since last century, when it was discovered that it was possible to transform directly the solar energy into electric energy medium a electrolytic cell.

The first application took place in 1954 in the United States of America, when the Bell's Laboratory realized the first photovoltaic cell using a silicon monocrystal.

# *LA CELLA*

La conversione della radiazione solare in una corrente di elettroni avviene nella cella solare, un dispositivo costituito da una sottile fetta di un materiale semiconduttore costituito molto spesso da silicio opportunamente trattato.

Tale trattamento è caratterizzato da diversi processi chimici, tra i quali si hanno i cosiddetti “drogaggi”: inserendo nella struttura cristallina del silicio delle impurità, cioè atomi di boro e fosforo, si genera un campo elettrico e si rendono anche disponibili le cariche necessarie alla formazione della corrente elettrica.

Essa è generalmente di forma quadrata e di superficie pari circa a  $100 \text{ cm}^2$ , si comporta come una minuscola batteria, producendo nelle condizioni di soleggiamento tipiche italiane – una corrente di 3 A con una tensione di 0.5 V, quindi una potenza di 1.5 W.

Riassumendo molto, l'energia si ottiene quando i fotoni della luce solare, colpendo una cella, "strappano" gli elettroni più esterni (di valenza) degli atomi di silicio. Questi verranno raccolti dal reticolo metallico serigrafato sulla superficie visibile della cella e "incanalati" per formare un flusso di elettroni ottenendo così una corrente continua di energia elettrica.



## *THE CELL*

The conversion of solar radiation into a current of electrons occurs in the solar cell, a device made of a thin slice of a semiconductor material, often constituted of silicon opportunely treated.

This treatment is characterized by different chemical processes, among which we have the "doping": by inserting impurities, like boron and phosphor atoms in the crystalline structure of silicon, an electric field is generated and charges necessary for electric current are available.

Generally it has square shape and a surface of about  $100 \text{ cm}^2$ , it works like a small battery, producing, in the typical Italian sun conditions, a current of 3 A with a voltage of 0.5 V, and therefore a power of 1.5W.

The energy is obtained when the photons of the solar light, striking the cell, "ripping" the most external electrons (of valence) of the silicon atoms, the electrons are drained by the metallic serigraphed reticulum on the visible surface of the cell that "canalizes" the electrons flow obtaining a direct current of electrical energy.

# *PERDITE E RENDIMENTO NELLE CELLE SOLARI*

La frazione di energia solare che può avviare il processo fotovoltaico dipende dal gap (salto o differenza di tensione) di energia del materiale usato: più piccolo è il gap, più alta è la frazione di energia solare utile.

Da qua è facilmente intuibile la convenienza di utilizzo dei materiali a basso gap; tenendo conto però del fatto che quando l'energia di un fotone supera il valore del gap, l'energia in eccesso si trasforma in calore, generando un eccessivo riscaldamento della cella.

Un'altra perdita rilevante di energia solare si ha a causa della riflessione della radiazione in corrispondenza della superficie esposta della cella.

Il rendimento è dato dal rapporto tra la massima potenza elettrica di uscita e la potenza della radiazione incidente.

# *FUNZIONAMENTO DELLE CELLE SOLARI*

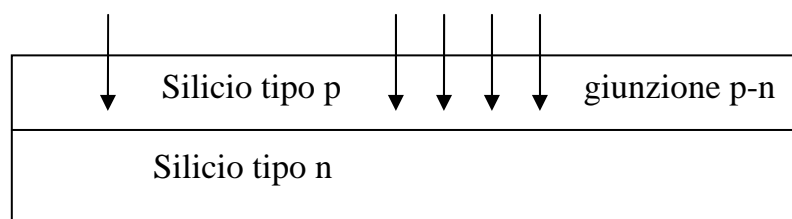
Le celle solari più comunemente usate sono quelle al silicio. La fabbricazione di una cella solare al silicio inizia con un cristallo cilindrico di silicio che si ottiene da un bagno di silicio fuso. Tale cristallo viene contaminato mediante una piccola concentrazione di impurità che lo rendono conduttore di elettricità, dato che il silicio puro presenta conducibilità bassa (è un semiconduttore).

A seconda della natura di tali impurità, il cristallo diventa conduttore di cariche negative, elettroni (n), oppure di cariche positive, lacune (p).

Si può impiegare Fosforo per rendere il cristallo di tipo “n” e boro per tipo “p”. Il cristallo cilindrico viene successivamente tagliato in fettine (wafers) sottilissime.

L’operazione successiva consiste nell’ottenere la giunzione p-n: se per esempio si usa una wafer di tipo n, viene diffuso ad alta temperatura del boro sulla sua superficie in modo che un sottilissimo strato di tale superficie diventa di tipo p.

Il materiale di tipo p, che è quello generalmente esposto alla radiazione solare, ha spessore dell’ordine dei  $\mu\text{m}$ , mentre quello di tipo n ha spessore  $200\mu\text{m}$ .



Quando un fotone della radiazione solare urta la regione della giunzione p-n, si produce una coppia elettrone-lacuna: l’elettrone tende a migrare verso lo strato di silicio tipo n e la lacuna tende a migrare verso lo strato di silicio tipo p. Se gli strati p ed n sono connessi con fili conduttori, si può ottenere che la corrente elettrica in tal modo prodotta circoli in un circuito eterno di utilizzazione.

# MODULO

Le celle fotovoltaiche collegate tra loro formano un "**modulo**". Un'insieme di moduli formano un pannello da collocare sui tetti delle abitazioni oppure ovunque ricevano l'irraggiamento solare diretto.

I moduli in commercio attualmente più diffusi (con superficie attorno a  $0.5 \text{ m}^2$ ) hanno una potenza che va dai 50 W agli 80 W, a seconda del tipo e della efficienza delle celle.

I moduli, in silicio monocristallino, comunemente usati nelle applicazioni commerciali hanno un rendimento complessivo del 10-13 %.

Esistono in commercio anche moduli in silicio policristallino e in silicio amorfo, questi però, rispetto ai primi, hanno un rendimento più basso; pertanto a parità di potenza richiesta occupano una superficie più ampia.



*Modulo  
175 Wp*

# *STRUTTURAZIONE DEI PANNELLI FOTOVOLTAICI*

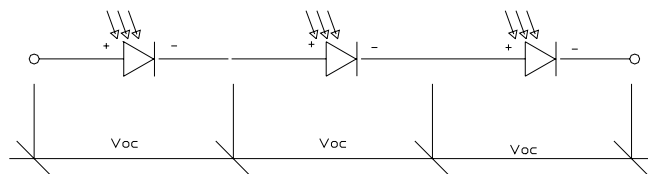
Una cella solare però non viene mai usata da sola, essendo limitatissima la potenza che può erogare. Per ottenere potenze e /o tensioni sufficienti a far funzionare dispositivi di utilità pratica, sia pure di piccola potenza, è necessario collegare tra loro, in modo opportuno, più celle fotovoltaiche, in modo da costituire un pannello.

Vi sono 2 tipi di collegamenti:

- collegamento in serie
- collegamento in parallelo

Il collegamento in serie di 2 o più celle, si ottiene collegando il contatto negativo superiore della prima cella col contatto positivo inferiore della seconda cella tramite un filo metallico.

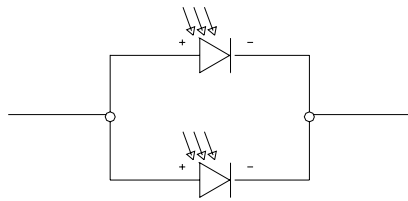
Nel circuito che segue è rappresentato un circuito in serie di 3 celle identiche.



Il collegamento in parallelo di 2 o più celle si ottiene collegando insieme i 2 contatti frontali ed i 2 contatti posteriori.

Nel circuito che segue è rappresentato un collegamento in parallelo di 2 celle identiche.

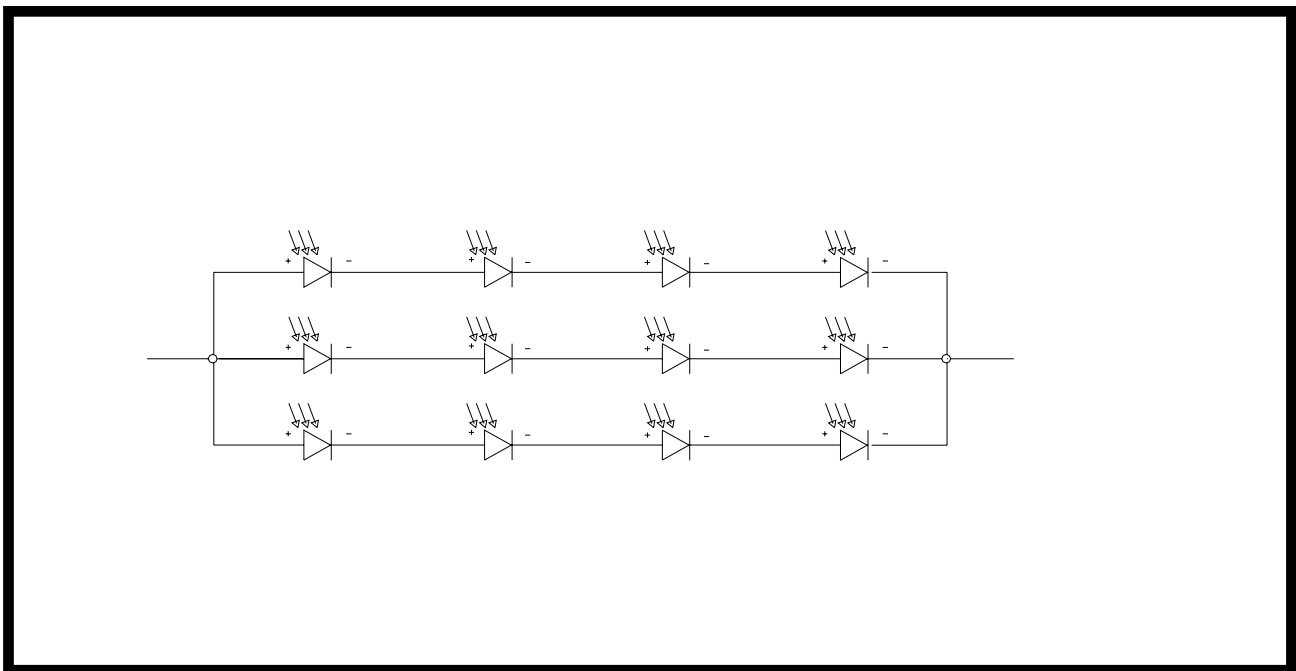
Con questo tipo di collegamento la tensione rimane invariata e pari a quella di una singola cella mentre raddoppia la corrente.



Concludendo, possiamo dire che se si vuole aumentare la tensione si effettua il collegamento in serie, mentre se si vuole aumentare la corrente è necessario effettuare il collegamento in parallelo.

In pratica si rende necessario sia l'aumento di corrente sia quello di tensione, per cui un pannello risulta sempre costituito da un collegamento misto serie-parallelo.

Nella figura che segue è per esempio rappresentato un collegamento in parallelo tra 3 file di 4 celle collegate in serie. Un collegamento di più celle di questo tipo costituisce quello che si chiama un "PANNELLO FOTOVOLTAICO".

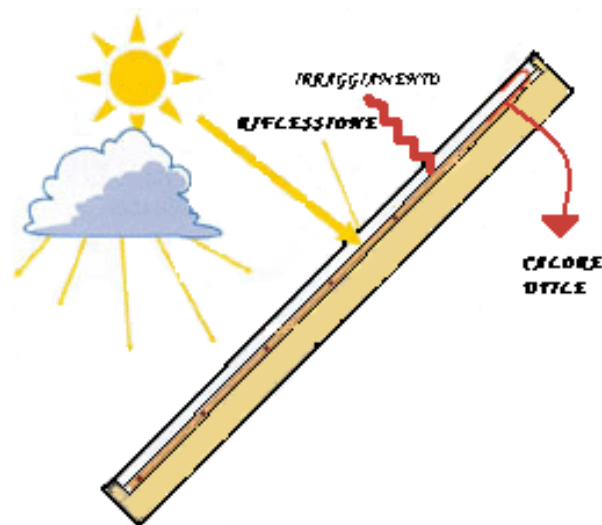


A loro volta poi, più pannelli possono essere collegati tra loro in serie o in parallelo o in modo misto a seconda della tensione e della potenza richiesta.

Per effettuare i collegamenti bisogna osservare alcuni accorgimenti estremamente importanti:

- le celle collegate in parallelo devono avere la stessa tensione di circuito aperti.
- le celle da collegare in serie devono avere la stessa corrente di corto circuito e la stessa corrente di massima potenza.

Inoltre, quando si costruiscono sistemi di una certa potenza bisogna tener conto di un problema molto importante chiamato **HOT-SPOT** cioè un'innalzamento della temperatura sulla cella.



Infatti se una cella qualsiasi presenta qualche problema, si genera una situazione in cui una corrente imposta dai gruppi efficienti deve circolare anche nel gruppo in cui è inclusa la cella non funzionante. Questo provoca una considerevole dispersione di potenza nelle 2 celle connesse in parallelo con quella di resa inferiore. Si innalza quindi la temperatura che può provocare la fusione delle connessioni e quindi la fine del funzionamento di tutto il pannello.

Questo fenomeno potrebbe verificarsi anche quando, per un motivo qualsiasi, una sola cella del pannello venisse a trovarsi parzialmente in ombra. Per ridurre la dissipazione di potenza di questa cella in ombra si inserisce un diodo di protezione in parallelo ad essa.

Moduli ed alcuni esempi di applicazioni di moduli.



# *COMPOSIZIONE DI UN SISTEMA FOTOVOLTAICO*

Nella pratica un pannello solare non alimenta mai direttamente un carico, ma lo alimenta tramite una batteria, detta “batteria tampone”. Si fa ciò per ovviare alla discontinuità dell’energia solare, dovuta all’alternarsi del giorno e della notte ed alla variabilità delle condizioni meteorologiche.

L’eccesso di energia fornita nelle ore di maggiore insolazione può essere immagazzinata e riutilizzata nelle ore notturne. C’è da dire comunque che non sempre l’uso della batteria è necessario; per esempio, nel caso di applicazioni tipo un pompaggio di acqua dei pozzi, invece di accumulare energia elettrica nella batteria, è più conveniente accumulare acqua in un serbatoio ad una certa altezza e successivamente utilizzarla in caduta libera.

Nello stesso tempo la batteria tampone consente al pannello di lavorare quando viene irradiato, nelle migliori condizioni di funzionamento e di rendimento.

I criteri necessari per la scelta dell’accumulatore adatto sono i seguenti:

- l’accumulatore dovrà essere scelto in maniera da adattarsi sia all’intensità di corrente fornita dai pannelli, sia a quella richiesta dal carico;
- la sua capacità deve essere tale da poter fornire corrente durante tutto il periodo in cui i pannelli non potranno fornire energia; in questo caso è facile prevedere un margine molto ampio in modo da non correre il rischio di rimanere senza energia.

Un altro fattore molto importante è dato dal tipo di accumulatori adatti per impianti a pannelli solari; in questo caso i costruttori forniscono i seguenti dati caratteristici:

- unità di capacità (minima – massima )
- velocità di scarica
- cicli di carica – scarica
- numero di interventi di manutenzione espressi in mesi
- durata di vita espressa in anni

- ritenzione della carica espressa in percentuale al mese
- temperatura di lavoro minima – massima espressa in °C.

Tra i sistemi dei pannelli solari e la batteria si rende necessario inserire, in oltre, un dispositivo che impedisca alla batteria di scaricarsi sui pannelli solari quando questi sono irradiati; questo dispositivo ha lo scopo di protezione sulla cella.

Si rende in oltre necessario inserire un regolatore di carica della batteria per evitare sovraccariche dannose sulla batteria stessa.

Il regolatore di carica consiste essenzialmente in un circuito elettrico progettato per evitare un sovraccarico che potrebbe danneggiare l'accumulatore.

Quando l'accumulatore raggiunge la tensione di fine carica, bisogna impedire che i pannelli fotovoltaici continuino a fornirgli corrente. Infatti l'elettrolita dell'accumulatore può essere soggetto a fenomeni di evaporazione, se non si interrompe la corrente, una volta che questo è completamente carico. Praticamente l'elettrolita tenderebbe a bollire causando una diminuzione del contenuto d'acqua. Il regolatore deve appunto interrompere la corrente proveniente dalle celle solari una volta che la batteria è carica.

## *INVERTER*

Per poter utilizzare a scopo civile la tensione generata da un sistema fotovoltaico si rende necessario l'utilizzo di un convertitore DC/AC in grado di poter convertire tensione continua in alternata.

Generalmente nei sistemi fotovoltaici vengono utilizzati invertitori a tiristori a commutazione forzata.

In questo tipo di invertitori la frequenza della tensione di uscita è determinata dalla frequenza con cui vengono inviati gli impulsi di innesco al tiristore del circuito invertitore. Oltre al circuito che fornisce gli impulsi di innesco a tutti gli invertitori a tiristori, è necessario anche un circuito di spegnimento.

# *DURATA DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO E IL SUO FUTURO*

Circa 25-30 anni. Si tratta pertanto di un investimento in grado di perdurare nel tempo per due generazioni. Cambierete automobile almeno 5 volte ma i pannelli fotovoltaici saranno sempre lì a generare elettricità per la vostra casa (vedi fig. 1). Se un impianto fotovoltaico ha un costo oscillante tra i 10.000 e i 15.000 euro la spesa che dedicherete a cambiare automobile durante questo lungo periodo sarà dieci volte superiore.



fig. 1

Con l'espansione del mercato fotovoltaico i nuovi pannelli garantiscono autonomia di funzionamento e rendimenti sempre più elevati. Il prezzo dei pannelli fotovoltaici tende costantemente a scendere facendo accedere alla domanda anche chi aveva scartato l'ipotesi in passato a causa dei costi troppo elevati. Il miglioramento normativo, introdotto con il "conto energia", farà il resto garantendo per venti anni il riacquisto dell'energia elettrica prodotta dai pannelli in cambio di tariffe incentivata.

Da qui al 2010 si prevede un aumento di circa il 17% per applicazioni singole e del 25% per quelle connesse alla rete; e per alcuni paesi, come il Giappone, si prevede che il mercato possa nei prossimi anni raddoppiare, se non triplicare.

Questa crescita trova una sua spiegazione anche nel cosiddetto "valore del sole"; il FV infatti ha in sé, come altre tecnologie solari, delle caratteristiche che rispondono alla crescente sensibilità ambientale e non ultimo ad esigenze estetiche (vedi fig. 2).

E' inoltre in grado di produrre elettricità in aree isolate (vedi fig. 3), di sostituire i materiali da costruzione tradizionali e di produrre energia pulita.



fig. 2

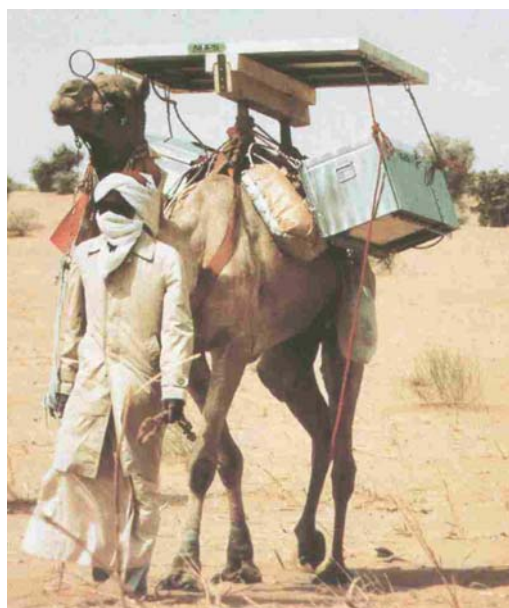


fig. 3

# *VANTAGGI*

Se inizialmente l'applicazione dei moduli fotovoltaici era circoscritta ad apposite centrali di grosse dimensioni, oggi giorno tali moduli vengono utilizzati nelle telecomunicazioni, nella segnaletica terrestre e marina ed in reti in isole minori.

Uno dei problemi derivanti dall'utilizzo di moduli fotovoltaici negli edifici, deriva dalla loro integrazione nella struttura esterna delle costruzioni, tali da poter generare un ottimo impatto visivo.

I vantaggi dei sistemi integrati negli edifici sono:

- risparmio dei materiali di rivestimento dell'edificio
- possibilità di occupare superfici inutilizzate di un edificio e il risparmio di terreni utilizzabili in altro modo
- possibilità di recupero dell'energia termica prodotta utilizzando il calore raccolto per il riscaldamento dell'acqua sanitaria
- utilizzazione dell'energia elettrica prodotta nello stesso luogo con conseguente riduzione delle perdite altrimenti inevitabili
- possibile impiego dei pannelli per usi molteplici
- Possibilità di usufruire di contributi pubblici per l'acquisto dell'impianto

La quantità di energia elettrica prodotta dipende da diversi fattori:

- intensità della radiazione solare incidente: in questo caso la variabile dipende dalla latitudine del luogo di installazione dei moduli
- posizionamento dei moduli: dipende dall'angolo di inclinazione rispetto al terreno e dall'orientamento

## *CONSIDERAZIONI*

Lo scienziato ha bisogno di sentirsi confermare dalla natura stessa, di aver compreso la sua struttura. E vorrebbe verificare direttamente l'effetto dei suoi sforzi.

Lo stesso Enrico Fermi sostenne, in un discorso con W. Heisenberg, che la sperimentazione della bomba all'idrogeno era un bel esperimento.

Se noi tentassimo di sperimentare l'energia del sole non faremmo male a nessuno nel caso qualcosa dovesse andare male e di certo, non distruggeremo il pianeta.

Siamo nell'anno 2006 e l'uomo è ormai costretto a cercare forme di energia sicura per il pianeta e quindi per se stesso (anche se forse il nostro sole è già malato).

Chissà se in futuro anche le università inizieranno a sviluppare l'utilizzo di energia solare e non solamente per quanto riguarda le facoltà di ingegneria, ma anche di architettura, in modo che l'estetica si possa sposare con la funzionalità. Come i due prototipi che vediamo riportati qui sotto.





È difficile parlare di inquinamento in una società schiava del petrolio, dove le stesse compagnie petrolifere hanno i monopoli delle macchine ad idrogeno, ma l'uomo schiavo del denaro deve cominciare a ragionare e solo quando capirà che non può mangiare i propri soldi , si dedicherà a se stesso e al proprio pianeta anche se forse sarà troppo tardi.

Parlando in termini economici, l'energia solare può diventare un business solo che non è ancora molto conosciuta dalla gente e quindi suona un pò come termine nuovo e questo è un male perché la gente non si fida molto di una cosa che potrebbe non assicurare un equo reddito.

Oggi consente anche di liberarci dal peso della bolletta dell'elettricità e migliorare la qualità di vita. Installare sul proprio tetto 8 metri quadri di pannelli fotovoltaici consente di abbattere per almeno 25 anni la propria spesa per l'energia elettrica.

I sistemi solari termici, come già descritto in precedenza, sfruttano un fenomeno che conosciamo tutti, cioè che gli oggetti colpiti dai raggi del sole si riscaldano, e il loro sviluppo è stato segnato da progressivi miglioramenti dei metodi di raccolta e mantenimento del calore. L'impianto fotovoltaico non produce scorie, non è esauribile e .... **fa risparmiare.**

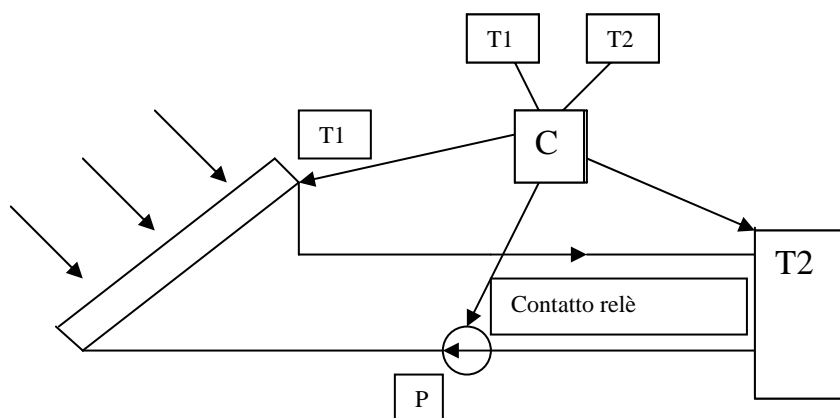


# *DISPOSITIVO PER LA REGOLAZIONE DEL CIRCUITO IDRAULICO DI UN PANNELLO SOLARE*

Il dispositivo deve essere in grado di pilotare tramite un relé una pompa monofase quando viene rilevata una temperatura di uscita dal pannello solare superiore a quella presente nel serbatoio di accumulo.

Deve essere possibile utilizzare su un piccolo display le due temperature controllate. Il campo di lavoro delle due temperature controllate va da 0 a 130°C.

Se T1 e T2 supera un valore prefissato (regolabile) allora il dispositivo C attraverso il relè dovrà chiudere il circuito di alimentazione della pompa P



# *APPLICAZIONE PRATICA SU UN PANNELLO SOLARE*

Il differenziale elettronico, come per una bilancia, viene utilizzato per determinare la differenza tra due misure. Nel nostro caso tra due temperature poiché utilizziamo due resistenze NTC.

## *Schema elettrico*

Abbiamo utilizzato l'operazionale siglato IC1/A per ottenere una tensione stabilizzata di circa 5 volt tramite il diodo zener DZ1 collegato sul piedino non invertente.

I 5 volt presenti sull'uscita di questo operazionale vengono applicati sulle due resistenze NTC poste in serie siglate NTC1-NTC2.

Quando la temperatura sul corpo delle due resistenze risulta perfettamente identica, non importa se di -10°C o +100°C, sulla loro giunzione ritroviamo sempre 2,5 volt.

Se la NTC1 dovesse scaldarsi più della NTC2 sulla giunzione troveremo una tensione maggiore di 2,5 volt, mentre se la NTC2 dovesse riscaldarsi più della NTC1 sulla giunzione troveremo una tensione minore di 2,5 volt.

Avendo utilizzato due NTC da 2.200 ohm possiamo indicarvi come varia il valore della loro resistenza ohmica al variare della temperatura.

-10° = 11.399 ohm	+50° = 814 ohm
-5° = 8.820 ohm	+60° = 568 ohm
0° = 6.880 ohm	+70° = 403 ohm
+5° = 5.400 ohm	+80° = 290 ohm
+10° = 4.275 ohm	+90° = 213 ohm
+20° = 2.728 ohm	+100° = 158 ohm
+25° = 2.200 ohm	+110° = 119 ohm
+30° = 1.784 ohm	+120° = 92 ohm
+40° = 1.193 ohm	+130° = 71 ohm

Come potete notare dalla tabella, 2.200 ohm si ottengono solo quando la temperatura risulta di 25°C: infatti più la temperatura scende più aumenta il valore ohmico, viceversa più la temperatura aumenta più diminuisce il valore ohmico delle NTC.

La tensione presente sulle due NTC viene applicata sull'ingresso **invertente** dell'operazionale siglato **IC1/B**, mentre sull'opposto ingresso **non invertente** viene applicata la tensione che preleviamo dal cursore del trimmer **R6**.

Questo trimmer ci serve per equilibrare i due ingressi quando i corpi delle due NTC hanno identica temperatura. Solo in questa condizione infatti sull'uscita dell'operazionale ritroviamo 2,5 volt. Se la NTC1 dovesse riscaldarsi più della NTC2, la tensione sull'uscita dell'operazionale IC1/B scenderebbe da 2,5 volt verso i

2 volt, mentre se la NTC2 dovesse riscaldarsi più della NTC1, la tensione salirebbe da 2,5 volt verso i 3 volt.

Poiché per certe applicazioni potrebbe risultare utile far eccitare uno dei due relè quando la differenza di temperatura risulta di  $0,5^\circ$  ed in altre applicazioni quando la differenza risulta maggiore ad esempio di  $1^\circ$ ,  $-2^\circ$ ,  $-5^\circ$  occorre un comparatore a finestra che otteniamo con i due operazionali siglati IC1/C-IC1/D.

Come potete voi stessi osservare dallo schema elettrico, il piedino invertente di IC1/C risulta collegato sulla resistenza R9 a sua volta collegata al positivo dei 5 volt, mentre il piedino non invertente di IC1/D risulta collegato alla resistenza R12 collegata a massa.

Tra queste due resistenze abbiamo collegato il potenziometro R11 da 10.000 ohm che ci permette di allargare o restringere la finestra.

Quando la resistenza del potenziometro risulta tutta inserita ritroviamo sull'ingresso di IC1/C una tensione di circa 3 volt e sull'ingresso di IC1/D una tensione di circa 2 volt. Se ruotiamo a metà corsa questo potenziometro, sull'ingresso di IC1/C ritroviamo una tensione di circa 2,7 volt e sull'ingresso di IC1/D una tensione di circa 2,2 volt.

Se ruotiamo il potenziometro in modo da cortocircuitare tutta la sua resistenza, sull'ingresso IC1/C ritroviamo una tensione di circa 2,51 volt e sull'ingresso di IC1/D una tensione di circa 2,49 volt.

Con la resistenza del potenziometro R11 tutta inserita, per far eccitare i relè la tensione sull'uscita di IC1/B dovrà salire oltre i 3 volt e scendere sotto i 2 volt, quindi la differenza di temperatura sulle due NTC dovrà risultare di diversi gradi.

Se invece ruotiamo il potenziometro R11 in modo da cortocircuitare tutta la sua resistenza, per far eccitare i relè la tensione sull'uscita di IC1/B dovrà salire oltre i 2,51 volt e scendere sotto i 2,49 volt, quindi la differenza di temperatura sulle due NTC dovrà risultare di pochi gradi.

AmMESSO di aver ruotato il potenziometro R11 a metà corsa, quando la NTC2 si riscalda più della NTC1 tanto da far salire la tensione sull'uscita di IC1/B di oltre 2,7

volt, questa entrando sul piedino non invertente di IC1/C fa apparire sulla sua uscita una tensione positiva che, polarizzando la base del transistor TR1, lo porta in conduzione facendo eccitare il relè1.

Se la NTC1 si riscalda più della NTC2 tanto da far scendere la tensione sull'uscita di IC1/B sotto il valore di 2,2 volt, questa entrando sul piedino invertente di IC1/D porta la sua uscita a **livello logico 1**, vale a dire che ritroviamo una tensione positiva che polarizzando la base del transistor TR2 lo porta in conduzione e fa eccitare il relè 2.

Quando la temperatura sulle due NTC risulta identica i due relè si diseccitano.

Noi abbiamo portato l'esempio di una NTC che si riscalda di più rispetto all'altra, ma la stessa condizione si verifica anche se una delle due NTC si raffredda di più rispetto all'altra. La risposta del circuito è immediata, non presenta cioè ritardi, ma poiché occorre del tempo al corpo metallico delle due NTC per riscaldarsi o raffreddarsi, la risposta alla variazione di temperatura dipende dal tempo impiegato dalle due resistenze NTC per rilevarla.

Per alimentare questo differenziale possiamo utilizzare una tensione continua stabilizzata non minore di 9 volt né maggiore di 15 volt.

In foto possiamo vedere il pannello solare che la scuola I.P.S.I.A. Moretto ci ha messo a disposizione ed i due alunni che hanno scritto questa tesina.

