

## Effetto fotovoltaico

Il **silicio** è l'elemento chimico che ha simbolo Si e numero atomico 14. È un metalloide tetravalente di colore grigio, meno reattivo del carbonio. Il silicio è molto abbondante, è il secondo elemento per abbondanza nella crosta terrestre dopo l'ossigeno. Si trova negli strati di argilla, feldspato, granito, quarzo e sabbia, sotto forma di biossido di silicio, silicati e alluminosilicati, ossia di composti contenenti silicio, ossigeno e metalli. Il silicio è il componente principale del vetro, del cemento, dei semiconduttori, della ceramica e del silicone. Il diossido di silicio in forma di sabbia e argilla è un componente del cemento e dei materiali per l'edilizia. La silice della sabbia è invece un componente principale del vetro. Il silicio è un importante costituente di alcuni tipi di acciaio. Nella forma ultrapura il silicio è un semiconduttore di fondamentale importanza per la fabbricazione di prodotti elettronici e computer. Una intera area della California in cui sono concentrate le principali industrie di informatica ed elettronica prende il suo nome dal silicio (Silicon Valley).

Negli anni 60 del secolo scorso si è aggiunta tra le applicazioni più importanti anche la produzione delle celle solari e dei pannelli solari fotovoltaici.

La prima cella solare commerciale in silicio fu realizzata nel 1954; gli alti costi iniziali di questa nuova tecnologia ne restrinsero l'applicazione a casi particolari, come l'alimentazione di satelliti artificiali.

Solo negli anni settanta si iniziò a rivolgere l'attenzione verso utilizzazioni terrestri. In FIGURA 1 è mostrata una cella solare, già in vendita nei supermercati USA, anche se solo come curiosità, a metà degli anni 70; ha dimensioni 20x20 mm, dà una tensione a vuoto di 0,5 V e può erogare, in pieno sole, una corrente di cortocircuito di 100 mA.

### Funzionamento di una cella solare

La conversione della radiazione solare in energia elettrica nei pannelli solari fotovoltaici avviene mediante l'effetto indotto dal flusso luminoso (FIGURA 2) che investe il materiale semiconduttore (silicio).

Ciò avviene non quando il silicio è puro, ma quando è drogato, ossia artificialmente posto nelle due possibili particolari condizioni in cui:

il materiale semiconduttore (silicio) incorpora un atomo di tipo P (boro)

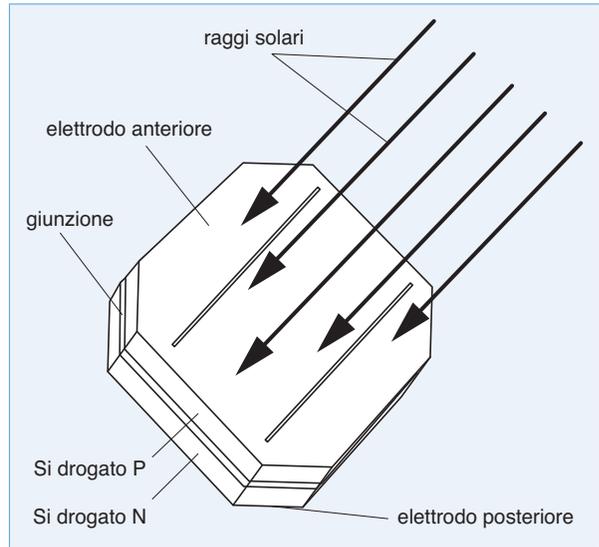
il materiale semiconduttore (silicio) incorpora un atomo di tipo N (fosforo)

Le operazioni di inserimento di atomi differenti dal silicio sono dette operazioni di **drogaggio** del semiconduttore. Per comprendere meglio il funzionamento è opportuno analizzare la struttura atomica degli atomi di silicio in una cella solare.

Ogni atomo di silicio è circondato da altri atomi di silicio, con i quali ha in comune uno dei quattro elettroni di valenza nelle orbite più esterne. Introducendo nel reticolo cristallino un atomo con 3 elettroni nelle orbite esterne (per esempio un **atomo di boro**) viene a crearsi uno spazio vuoto nel reticolo dovuto alla mancanza di un elettrone rispetto agli atomi vicini di silicio (i quali ne hanno 4). Questo spazio vuoto è detto *lacuna* nella banda di valenza. L'atomo in questione è



1 Cella fotovoltaica.



2 Schema di funzionamento di cella fotovoltaica

detto *accettore* e il semiconduttore è di tipo P.

Allo stesso modo, introducendo nel reticolo un atomo con 5 elettroni nelle orbite esterne (per esempio un **atomo di fosforo**) vi sarà un elettrone in eccesso. L'atomo in questione è detto *donatore* e il semiconduttore è di tipo N.

Ponendo a contatto i due cristalli di silicio di tipo P e di tipo N si ottiene una giunzione P-N. Le lacune (spazi vuoti nelle orbite) presenti nel cristallo P tendono a spostarsi nel cristallo N. Allo stesso modo, gli elettroni in eccesso nel cristallo N tendono a spostarsi verso il cristallo P. Questo fenomeno continua finché il potenziale elettrico generato dallo spostamento delle cariche non controbilancia il moto di diffusione.

### Produzione della corrente

Per spostarsi gli elettroni (e di conseguenza le lacune) necessitano dell'intervento di una energia proveniente dall'esterno. In assenza di flusso di energia dall'esterno gli atomi nel reticolo hanno tutti uno stato energetico nella banda di valenza. Nel momento in cui agisce sugli elettroni una forza esterna con sufficiente energia, questi modificano il proprio stato dallo stato di valenza allo stato di conduzione.

La forza di energia proveniente dall'esterno è la **luce solare** (radiazione solare). La luce solare è composta di particelle di energia dette **fotoni**. Quando i fotoni colpiscono il materiale semiconduttore della cella fotovoltaica, una parte di energia viene riflessa, una parte si trasforma in calore e un'ultima parte provoca uno spostamento degli elettroni degli atomi nel materiale semiconduttore. L'energia del flusso di fotoni libera un certo numero di elettroni/lacune. Gli elettroni spostati nella struttura atomica del semiconduttore iniziano a scorrere, producendo una corrente elettrica nel corpo del semiconduttore. Questo è il principio fisico in base al quale una cella solare produce energia elettrica nel momento in cui è irraggiata dalla luce solare.

La corrente elettrica (e quindi la potenza) risulta proporzionale sia alla superficie della cella sia alla intensità della radiazione solare; una cella quadrata di lato 10 cm, esposta a raggi solari che la colpiscono perpendicolarmente, in condizioni di *piena luce*, è in grado di erogare una potenza elettrica di circa 1,3 W con una tensione di 0,5 V.

Le applicazioni dell'energia fotovoltaica richiedono per la maggior parte caratteristiche di potenza, corrente e tensione piuttosto elevate, e queste sono ottenibili

usando più celle contemporaneamente, collegate in serie o in parallelo. Quindi varie celle vengono assemblate in una struttura, che è il **modulo fotovoltaico**.

Se, per esempio, un modulo è costituito da 36 celle collegate in serie tra di loro, racchiuse tra una lastra di vetro anteriore e uno strato posteriore in plastica, la potenza erogabile, in pieno sole, è intorno ai 45 W. La tensione di lavoro ai morsetti è di circa 18 V, e il modulo può essere collegato a un convenzionale accumulatore che immagazzina l'energia elettrica prodotta.

Collegando poi in serie/parallelo un insieme di questi moduli si ottiene un generatore fotovoltaico con le caratteristiche di corrente e tensione desiderate.

Quindi caratteristica essenziale dei sistemi fotovoltaici è la loro modularità, che consente una grande flessibilità di impiego.

Le principali applicazioni che si sono sviluppate sono due:

- gli impianti isolati
- gli impianti integrati alla rete elettrica.

### Impianti isolati

Gli impianti isolati sono sistemi autonomi normalmente utilizzati per elettrificare le utenze difficilmente collegabili alla rete perché situate in aree poco accessibili, oppure le utenze con bassissimi consumi di energia, che non rendono conveniente il costo dell'allacciamento.

Un impianto isolato è caratterizzato dalla necessità di coprire la totalità della domanda energetica dell'utenza. Gli elementi che lo costituiscono sono i moduli fotovoltaici, il regolatore di carica e il sistema di accumulo (batterie) che garantisce l'erogazione di corrente anche nelle ore di minore illuminazione o di buio. La corrente generata dall'impianto fotovoltaico è una corrente continua, quindi se l'utenza presenta apparecchiature che vanno alimentate in corrente alternata è necessario anche un convertitore, l'inverter **1**.

Questi impianti risultano economicamente vantaggiosi nei casi in cui la rete elettrica sia assente o difficilmente raggiungibile. Infatti, spesso sostituiscono i gruppi elettrogeni. In Italia sono stati realizzati molti impianti fotovoltaici di elettrificazione rurale e montana soprattutto nel Sud, nelle isole e sull'arco alpino.

Attualmente le applicazioni più diffuse servono ad alimentare:

- apparecchiature per il pompaggio dell'acqua, soprattutto in agricoltura;
- ripetitori radio, stazioni di rilevamento e trasmissione dati (meteorologici e sismici), apparecchi telefonici;
- apparecchi di refrigerazione, specie per il trasporto medicinali;
- sistemi di illuminazione;
- segnaletica sulle strade, nei porti e negli aeroporti;
- impianti pubblicitari.

### Impianti collegati alla rete

I sistemi fotovoltaici connessi alla rete possono scambiare energia elettrica con la rete; il principio della connessione alla rete è quello dello scambio in due direzioni di energia elettrica: se la produzione del campo foto voltaico eccede per un certo periodo il consumo, l'eccedenza viene inviata alla rete. Nelle ore in cui il generatore non fornisce energia elettrica sufficiente per soddisfare il carico, l'elettricità è acquisita dalla rete. Un inverter trasforma la corrente continua prodotta dal sistema fotovoltaico in corrente alternata.

Questo meccanismo è reso possibile dalla presenza di due contatori che contabilizzano l'energia scambiata nelle due direzioni.

I sistemi connessi alla rete, ovviamente, non hanno bisogno di batterie perché la rete di distribuzione sopprime alla fornitura di energia elettrica nei momenti

**1** Un inverter è una apparecchiatura elettronica in grado di convertire una corrente continua in una corrente alternata. Nel linguaggio comune si indica con tale nome anche un convertitore di frequenza, costituito in realtà da un raddrizzatore di corrente seguito da un inverter propriamente detto.

di indisponibilità della radiazione solare.

I principali vantaggi dei sistemi fotovoltaici possono essere riassunti nei seguenti punti:

- la modularità del sistema;
- le esigenze di manutenzione ridotte (dovute all'assenza di parti in movimento);
- la semplicità d'utilizzo;
- la produzione di energia elettrica esattamente dove serve e nella quantità vicina alla effettiva domanda;
- un impatto ambientale praticamente nullo: non contribuisce all'effetto serra, alle patologie respiratorie, alle piogge acide.

L'uso delle celle fotovoltaiche è stato a lungo limitato, in tempi in cui l'energia convenzionale era a basso costo e non si dava ancora la giusta importanza agli impatti ambientali, dall'alto costo e dal basso rendimento.