TESINA PER L'ESAME DI STATO
A.S. 2013/2014

Conversione Fotovoltaica

di *Gianmarco Cirelli*

PANNELLI FOTOVOLTAICI

Il presente contributo, elaborato dallo **studente Gianmarco Cirelli** del Liceo Scientifico "V. Volterra" di Ciampino (RM), è connesso alle attività scientifiche e laboratoriali svolte durante lo ***"Stage a Tor Vergata"*** - promosso dal MIUR (Direzione Generale per gli ordinamenti scolastici e per l'autonomia scolastica) e tenuto presso il Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma Tor Vergata in due fasi:

Stage Estivo dal 24 al 28 Giugno 2013;

Stage Invernale dal 4 al 7 febbraio 2014

Le attività didattiche previste nel Programma dello Stage sono state realizzate in tre gruppi di ricerca, guidati da docenti dell'Università di Roma Tor Vergata

I responsabili delle attività laboratoriali del Modulo "Materiali per la Conversione Fotovoltaica"

Prof. Ivan Davoli .....

Dott. Massimiliano Lucci .....

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI ROMA DIPARTIMENTO DI FISICA

Il Direttore degli "Stage a Tor Vergata"

Prof. Nicola Vittorio .....

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI ROMA DIPARTIMENTO DI FISICA

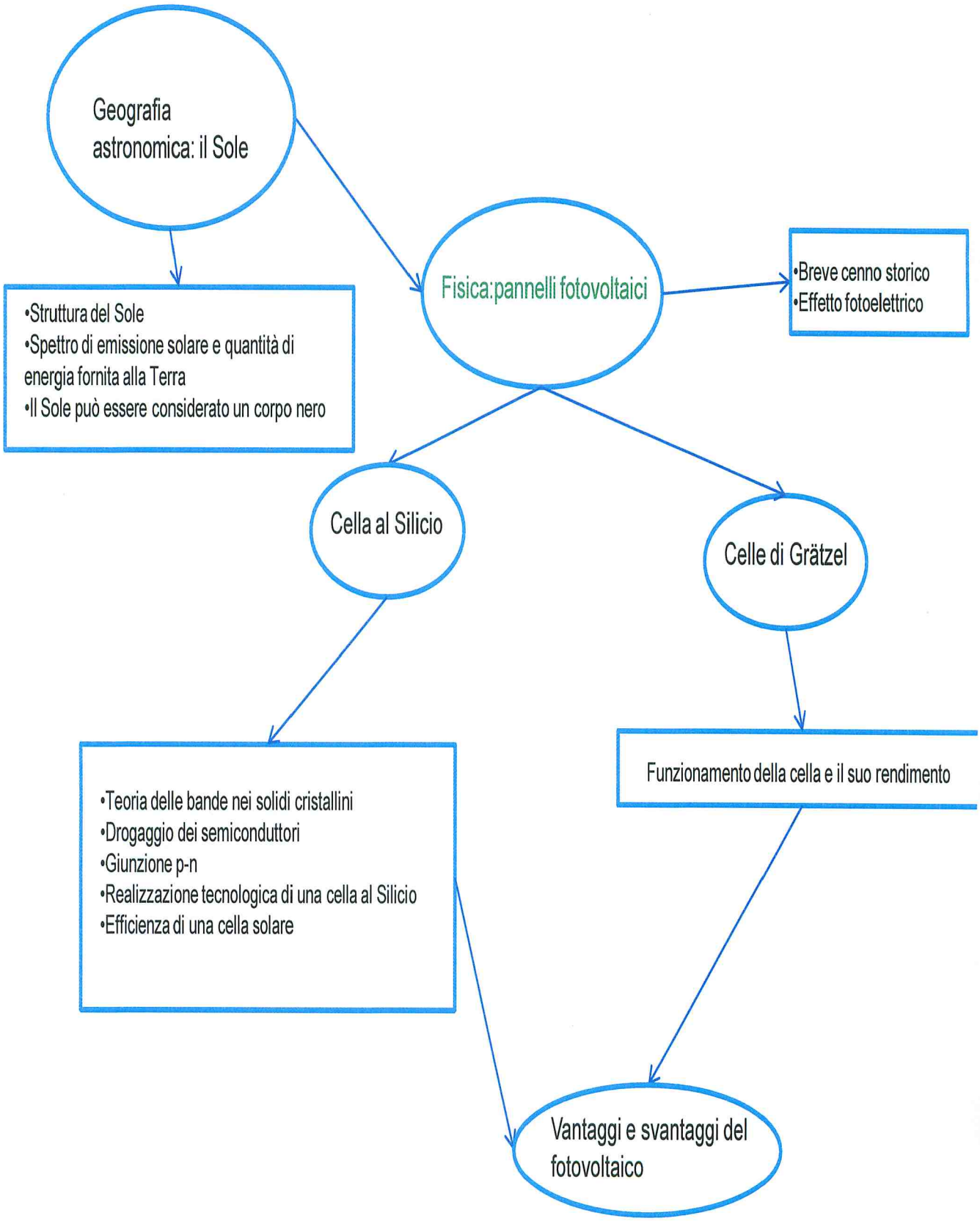
Liceo scientifico statale "Vito Volterra"-
Ciampino

Pannelli fotovoltaici

Percorso pluridisciplinare di Cirelli Gianmarco

Classe "V H" Scientifico PNI a.s. 2013/2014

Mappa concettuale



Indice

1- Introduzione,sitografia e bibliografia

2- Il Sole

2.1-Struttura del Sole

2.2-Spettro di emissione solare e quantità di energia fornita alla Terra

2.3-Il Sole può essere considerato un corpo nero

3- Pannelli fotovoltaici

3.1) Breve cenno storico

3.2)Celle solari al silicio:
-Teoria delle bande nei solidi cristallini
-Drogaggio dei semiconduttori
-Giunzione p-n
-Realizzazione tecnologica di una cella solare al silicio
-Efficienza di una cella al silicio

3.3)Celle solari ibride: Dye Sensitized Solar Cells di tipo Grätzel:
-Funzionamento della cella e il suo rendimento

3.4)Vantaggi e svantaggi del fotovoltaico

4- Conclusioni

Introduzione

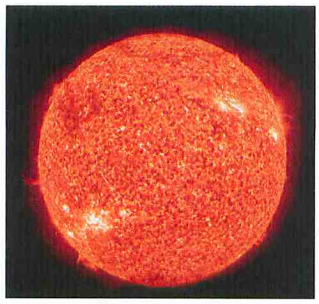
L'energia è una delle basi su cui si basa la società moderna. Attualmente i combustibili fossili rimangono la principale fonte di energia, ma la loro quantità limitata li sta rendendo sempre più costosi, senza parlare poi del notevole impatto ambientale che essi hanno sul nostro pianeta: la combustione di questi materiali infatti produce gas molto dannosi che non fanno altro che inquinare l'ambiente. Per questo motivo si sta investendo molto sulla ricerca di fonti di energia rinnovabile che producano energia pulita, come ad esempio quella solare: il Sole infatti produce grandi quantità di energia che arriva sulla Terra sotto forma di radiazioni luminose che devono essere convertite in elettricità; quest'ultima fase viene proprio svolta dai pannelli fotovoltaici. Purtroppo però, a causa della bassa efficienza e dei notevoli costi, il fotovoltaico è una tecnologia che richiede ancora notevoli miglioramenti, ottenibili soltanto attraverso la ricerca scientifica. Ed è proprio nell'ambito della ricerca che si inserisce il progetto del MIUR: "Studenti-ricercatori per cinque giorni", organizzato nel dipartimento di fisica dell'Università di Tor Vergata a Roma al quale ho personalmente partecipato. Durante questo stage si sono alternate lezioni teoriche e una vasta applicazione in laboratorio, durante la quale sono state realizzate celle di Grätzel. Questa tesina è frutto del percorso intrapreso nello stage e mi ha permesso di comprendere non solo l'importanza della ricerca in ambito energetico ma anche come il problema ambientale legato alle fonti di energia non rinnovabile richiede un repentino intervento.

Sitografia

- it.wikipedia.org/wiki/sole
- it.wikipedia.org/wiki/molulo_fotovoltaico
- it.wikipedia.org/wiki/struttura_elettronica_a_bande
- it.wikipedia.org/wiki/cella_di_Grätzel

Bibliografia

- Neviani, C. Feyles, *Geografia Generale*, Sei 2004
- L. Catena, F. Berrilli, I. Davoli, P. Prosposito, *Studenti-Ricercatori per cinque giorni*, Springer 2013
- Caforio, A. Ferilli, *Il senso della fisica 3*, Le Monnier Scuola 2011
- L. Tomassini, *Livello di Fermi*, Enciclopedia Treccani 2008

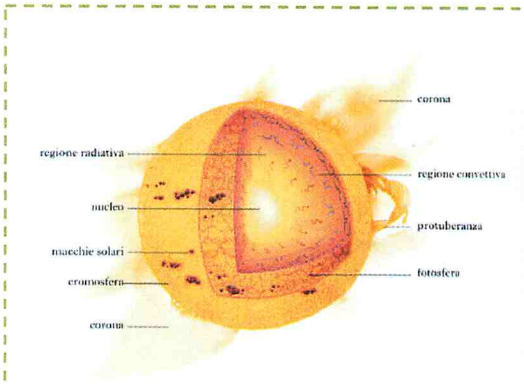


Il Sole

Il Sole è la stella madre del sistema solare, attorno alla quale orbitano gli otto pianeti principali (tra cui la Terra), i pianeti nani, i loro satelliti, innumerevoli altri corpi minori e la polvere diffusa per lo spazio, che forma il mezzo interplanetario. Il Sole è una stella di medie dimensioni costituita principalmente da idrogeno (circa il 78%) ed elio (circa il 20%), cui si aggiungono altri elementi più pesanti presenti in tracce (circa 2%). Ha una temperatura superficiale di 5 777 K (5 504 °C), e per questo rientra tra le stelle di classe spettrale G (stelle gialle). I Sole è una sfera di plasma quasi perfetta, e proprio grazie a questa suo stato "liquido", la sua velocità angolare varia a seconda della latitudine(a differenza della Terra) mentre la velocità lineare resta invariata in ogni punto della sua superficie.

2.1) Struttura del Sole

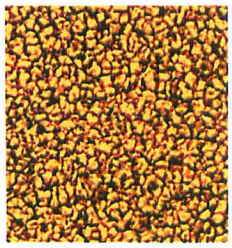
La struttura interna del Sole[1], come quella delle altre stelle, appare costituita di involucri concentrici; ogni strato possiede caratteristiche e condizioni fisiche ben precise, che lo differenziano dal successivo. Si individuano ben sei strati differenti che, a partire da quello più interno, sono:



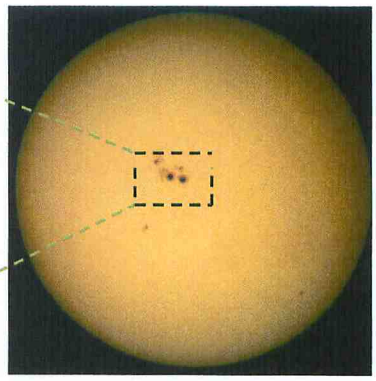
[1] interno del sole

- Il nucleo: Il nucleo solare è la parte più interna del Sole, e di conseguenza la più calda (circa 15 milioni di kelvin), nella quale idrogeno ed elio si trovano allo stato di plasma. Al suo interno si svolgono le reazioni di fusione nucleare, responsabili della produzione di energia del Sole. Ha un raggio di circa 150000 km, pari a circa ¼ del raggio totale.
- Zona radiativa: Situata all'esterno del nucleo, la zona radiativa ha uno spessore di circa 500000 km; essa assorbe l'energia prodotta dal nucleo e la trasmette per irraggiamento agli strati superiori. Pressione e temperatura sono tali che la materia in questa zona è ancora allo stato di plasma, anche se non avvengono reazioni termonucleari.
- Zona convettiva: La zona convettiva ha uno spessore di circa 200 000 km e si trova nella porzione esterna del Sole. L'area è caratterizzata da temperature e densità inferiori a quelle degli strati sottostanti; di conseguenza, energia e calore non possono essere trasferiti per irraggiamento, ma attraverso moti convettivi. La materia più calda e meno densa viene portata in superficie, dove cede parte della propria energia termica; una volta raffreddata, la materia sprofonda di nuovo alla base della zona convettiva, dove riceve nuovamente il calore proveniente dalla zona radiativa (correnti convettive). A differenza dello strato sottostante, dunque, nella zona convettiva la materia è in costante movimento.

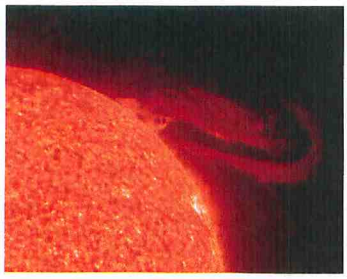
- Fotosfera:è lo strato visibile del Sole, ha uno spessore di 300 km e riceve e filtra la grande quantità di energia prodotta all'interno del Sole. Ha una temperatura media di 6000 K, che determina il colore giallo caratteristico del disco solare. È sede di fenomeni come: i granuli[2],cioè zone più luminose e più calde delle zone circostanti, che appaiono e scompaiono continuamente, che fanno sembrare la fotosfera in continua ebollizione; le macchie solari[3], ovvero aree depresse più fredde, che appaiono quindi più scure, con una zona d'ombra e una di penombra. Esse si generano alle medie latitudini, si spostano verso l'equatore solare per poi scomparire del tutto. Le macchie solari sono caratterizzate ognuna da un proprio campo magnetico, tutti uguali tra loro, ma che nel corso del tempo può invertire la propria polarità;

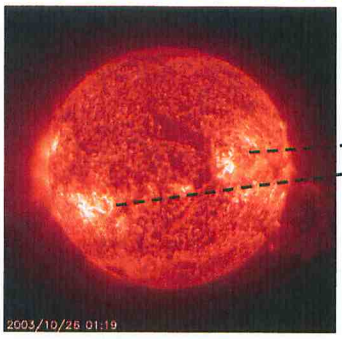

[2] granuli

[3] macchie solari



- Cromosfera: Al di sopra della fotosfera si trova una sottile fascia spessa circa 2000 km, chiamata cromosfera. È un sottile involucro costituito da gas rarefatto che appare di colore rossastro, visibile solamente durante le eclissi totali di Sola. La colorazione rossastra è dovuta agli atomi di idrogeno che, alle basse pressioni, emettono radiazioni di tale colore. La cromosfera è interessata da diversi fenomeni emissivi di origine magnetica:i brillamenti[4](esplosioni di luce ed energia,legate alle macchie solari, durante le quali vengono emesse diversi tipi di radiazioni), protuberanze[5](enormi getti di materiale incandescente che raggiungono grandi altezze) e le spicole(lingue di idrogeno incandescente che penetrano anche nella corona solare).


[5] protuberanza



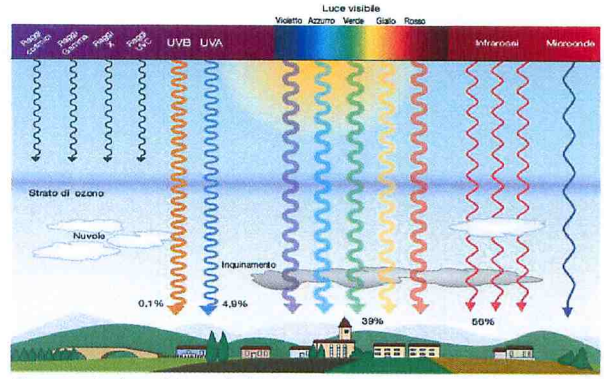
[4]Brillamenti

- Corona solare: È lo strato più esterno del Sole, che diventa sempre più rarefatto man mano che ci si allontana dal centro della stella. A causa dell'elevata energia cinetica delle particelle che la compongono, la corona ha una temperatura molto più elevata di quella della cromosfera, anche se si tratta di uno strato più esterno. Talvolta alcune particelle ionizzate (protoni- elettroni) si separano da questo strato grazie alla loro energia cinetica e vanno a costituire il vento solare, che entrando in collisione con l'atmosfera terrestre è causa di aurore polari[6].

[6] aurora polare

2.2) Spettro di emissione del Sole e quantità di energia fornita alla Terra

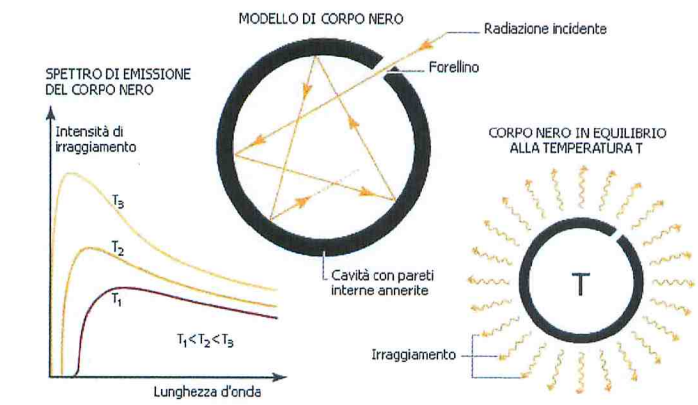
Sulla Terra giungono ben 165000 TW giornalieri di energia proveniente dal Sole, che corrisponde a circa 10 volte il consumo giornaliero mondiale (l'irraggiamento però non è uniforme su tutta la superficie della Terra). Lo spettro di emissione della luce solare che arriva sulla Terra ha una forma a campana, con il suo picco in prossimità della luce visibile, in particolare in prossimità della luce verde.



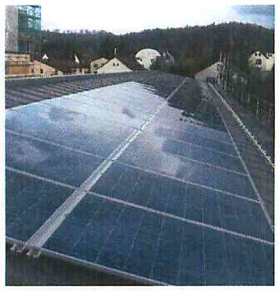
Rappresentazione delle radiazioni che raggiungono la superficie terrestre

2.3) Il Sole può essere considerato un corpo nero

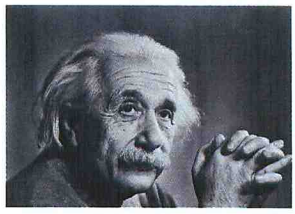
Un corpo nero[7] è un corpo in grado di assorbire tutte le radiazioni elettromagnetiche che riceve e che, se riscaldato, emette in tutte le frequenze assorbite. Il Sole, la cui temperatura superficiale si aggira intorno ai 6000 K, è un tipico esempio di corpo nero, che a tale temperatura brilla di luce propria.



[7] caratteristiche corpo nero



Pannelli fotovoltaici



3.1) Breve cenno storico

- 1839:Alexandre Edmond Bacquerel osservò come era possibile generare della corrente elettrica durante reazioni chimiche indotte dalla luce;
- 1883:Charles Fritts costruisce una prima cella solare con efficienza inferiore al'1%;
- 1905: Albert Einstein definisce l'effetto fotoelettrico;
- 1946:Russel Ohl brevetta la moderna cella solare;
- 1954: nei laboratori Bell di Murray Hill, in New Jersey, viene costruita la prima cella solare a tutti gli effetti.

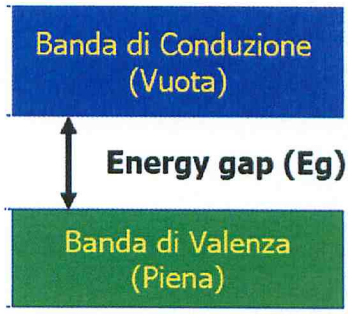
Per comprendere l'effetto fotovoltaico è necessario conoscere la meccanica quantistica, teoria sviluppata nel periodo tra le due guerre grazie al contributo di scienziati come Einstein, Fermi, Hisenberg, ecc...

3.3)Celle solari al Silicio:

Teoria delle Bande[8] nei solidi cristallini

Gli elettroni all'interno di un atomo possiedono un livello energetico, ovvero il loro stato è descrivibile mediante valori caratteristici di energia. Nella fisica dello stato solido la struttura elettronica a bande (o più semplicemente struttura a bande) di un solido descrive la gamma di energie che ad un elettrone di un certo materiale è "consentito" o "proibito" possedere. La struttura elettronica di un solido e più in generale di un materiale, determina molte caratteristiche fisiche del sistema. In un solido, in cui molti atomi di un elemento si avvicinano l'uno all'altro per formare un cristallo, ogni livello atomico dell'elemento si allarga in una banda: quest'ultima non è altro che un insieme di livelli molto ravvicinati tra loro. La formazione di queste bande è dovuta al principio di esclusione di Pauli, secondo il quale due elettroni di uno stesso sistema non possono occupare la medesima regione di spazio a meno che i loro stati quantici non si differenziano per lo spin. Ad ogni modo esistono due tipi di bande:

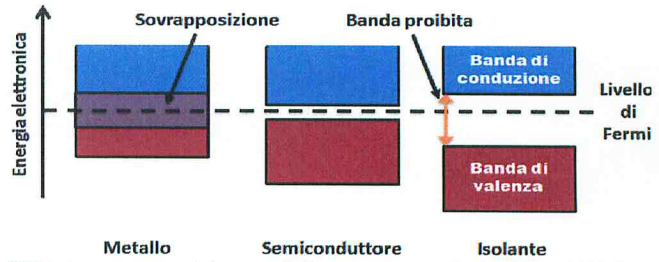
- Banda di valenza: è la banda più elevata contenente elettroni, detti appunto di "valenza" perché sono quelli appartenenti al guscio elettronico più esterno dell'atomo.
- Banda di conduzione: è la banda elettronica a più bassa energia tra quelle non occupate.
- Banda proibita (Energy-gap): è una banda in cui gli elettroni possono stazionare, da qui l termine "proibita".



[8] modello a bande

Da tenere in considerazione è anche il Livello di Fermi, dal nome del celebre fisico italiano, corrisponde al livello energetico più alto occupato dagli elettroni alla temperatura dello zero assoluto. Le proprietà elettriche dei materiali dipendono dal modo in cui le bande sono riempite e dalla posizione del livello di Fermi e dalla gap tra la banda di valenza e quella di conduzione[9]. Da ciò si possono distinguere tre diversi tipi di materiale:

- Conduttori: nei conduttori le Bande di valenza e di conduzione sono vicinissime tra loro,talvolta anche sovrapposte, in quanto la gap proibita è quasi inesistente; il livello di Fermi quindi si trova all'interno della banda di valenza. Tutto ciò permette agli elettroni di valenza di spostarsi con facilità nella banda di conduzione e di tornare con altrettante facilità in quella di valenza.



[9] Schema semplificato della struttura elettronica a bande per metalli, semiconduttori e isolanti

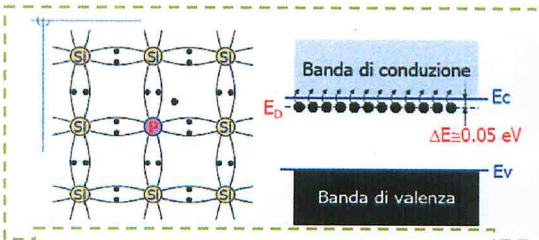
- Isolanti: negli isolanti la gap proibita è dell'ordine di 7eV(elettronvolt) o maggiore, un valore troppo elevato affinché gli elettroni di valenza si spostino verso quelli di conduzione (il livello di Fermi è a metà della gap proibita).
- Semiconduttori: in questi materiali l'energy gap è nell'ordine di circa 1 eV; in questo caso gli elettroni se "eccitati" si spostano nella banda di conduzione, ma non cosi facilmente come nei conduttori. Inoltre, a differenza di isolanti e conduttori, all'aumentare della temperatura aumenta la conducibilità dei semiconduttori.

Il terzo tipo di materiali è quello più usato nella costruzione di celle fotovoltaiche in quanto si presta maggiormente all'effetto fotovoltaico. Più precisamente, molto utilizzato come semiconduttore è il silicio, con una Energy gap di 1.1 eV.

Drogaggio dei semiconduttori

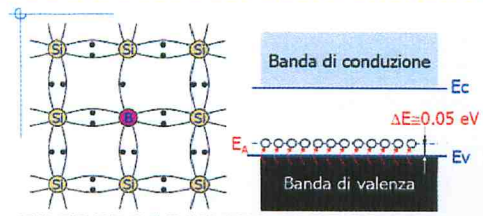
L'effetto fotoelettrico prevede che un fotone, colpendo u semiconduttore, ecciti un elettrone, spostandolo sulla banda di conduzione e creando una lacuna nella banda di valenza (coppia elettrone-lacuna). Tuttavia, se si considera un semiconduttore intrinseco, cioè "puro", terminata la fase di eccitazione l'elettrone ritornerà alla sua posizione iniziale e in questo modo non si riuscirebbe a dividere le coppie elettrone-lacuna, creando un flusso di cariche elettriche ordinate. Per questo motivo è necessario "drogare" il semiconduttore, ovvero inserire atomi di altri elementi nel semiconduttore per aumentarne la conducibilità, secondo la proporzione 1:10000000. In base al tipo di atomi inseriti, si può parlare di :

- Drogaggio di tipo *n*[10]: vengono inseriti atomi di elementi del V gruppo, come il fosforo, che aumentano il numero di elettroni disponibili: infatti, sebbene il fosforo presenti 5 elettroni di valenza, soltanto 4 sono impegnati in legami con altrettanti atomi del semiconduttore, mentre quello rimasto può essere facilmente trasferito nella banda di conduzione. Per questo motivo gli elementi del V gruppo sono detti **donatori**. Il livello di Fermi cosi si sposterà poco al di sotto della banda di conduzione, essendo uguale al livello energetico degli elettroni in eccesso collocati proprio in quel punto.



[10] Drogaggio di tipo n

- Drogaggio di tipo *p*[11]:in questo caso si inseriscono atomi di elementi appartenenti al III gruppo, come il Boro; questo tipo di elementi porta alla formazione di una lacuna, per questo vengono anche detti **accettori**, perché sono in grado di accettare un elettrone ciascuno. In questo caso l'energia di Fermi si posiziona vicino la banda di valenza e corrisponde proprio all'energia delle lacune, che si andranno a collocare appena al di sopra della banda di valenza.

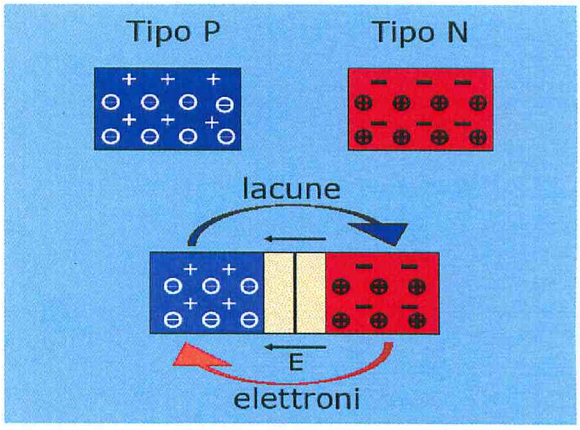


[11] Drogaggio di tipo p

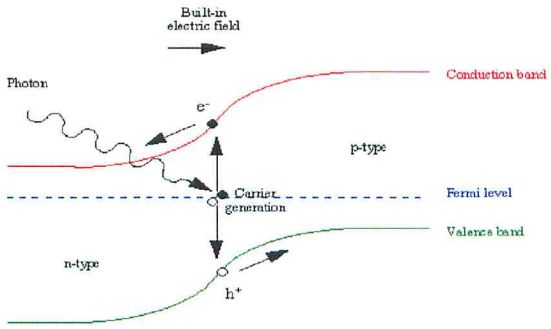
Alla base del funzionamento di una cella solare c'è proprio la giunzione che si viene a creare mettendo a contatto due semiconduttori: uno di tipo *n* e uno di tipo *p*.

Giunzione *p-n*[12]

La parte in cui vengono messi a contatto semiconduttori drogati in modo differente (zona di svuotamento) viene chiamata Giunzione p-n. Tale giunzione, è composta da due zone: una con un eccesso di elettroni (strato n) e una ad eccedenza di lacune (strato p). Tra le pareti di questa regione di svuotamento è presente un campo elettrico che permetterà la separazione di carica. Infatti, quando un fotone colpisce la giunzione generando una coppia elettrone-lacuna, si viene a costituire un processo di diffusione per cui gli elettroni di conduzione del semiconduttore drogato n migrano verso quello di tipo p e le lacune di quest'ultimo si spostano verso quello di tipo n.



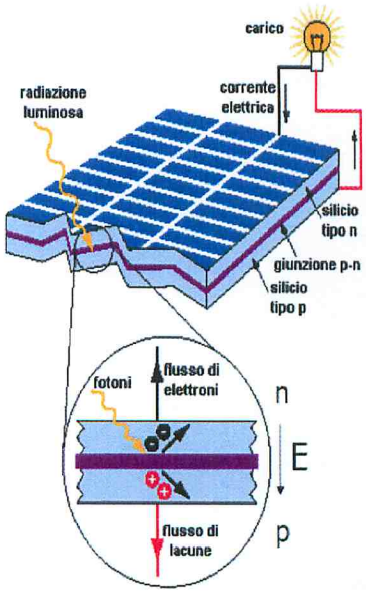
[12] Schema semplificato di una giunzione p-n



[12] Quando un fotone viene assorbito, si crea una coppia elettrone-lacuna che il campo elettrico interno provvede a separare e convogliare verso gli elettrodi.

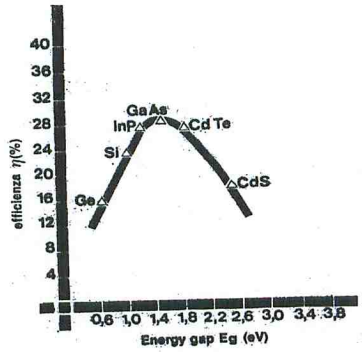
Funzionamento di una cella solare al Silicio[13]

Quando la giunzione viene illuminata, si genera una coppia elettrone-lacuna(e-h) nelle zona n-p; questa coppia viene poi separata: ci sarà così un flusso di elettroni verso il semiconduttore di tipo n e una di lacune verso quello di tipo p, realizzando l'effetto fotovoltaico. Proprio il campo elettrico presente nella regione di svuotamento permette questa divisione; le cariche così formate vengono fatte passare in un circuito esterno chiuso sotto forma di corrente.



[13]

Efficienza di una cella solare



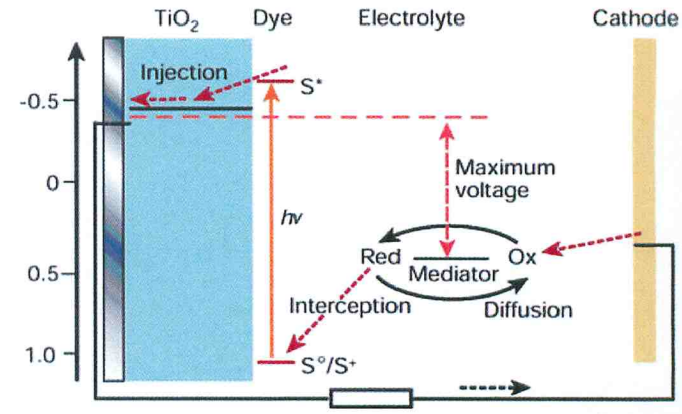
Il parametro più importante di una cella solare è la sua efficienza, che si ricava come il rapporto tra la potenza ottenuta dalla cella e quella della radiazione solare incidente sulla sua superficie. L'efficienza delle celle al silicio il 24%, mentre le più efficienti, ed anche le più costose, sono quelle realizzate utilizzando l'arsenuro di gallio GaAs che, con un rendimento del 28-32%, viene impiegato nelle missioni spaziali.

3.4) Celle solari ibride: Dye Sensitized Solar Cells di tipo Grätzel

Sono delle particolari celle costituite da due vetrini conduttori, che fungono da elettrodi, separati da uno strato di biossido di titanio (TiO_2), da un pigmento, o dye, e dalla soluzione elettrolitica; Il pigmento scelto per queste celle DSSC è l'antocianina. Il primo strato sulla sinistra è costituito da TiO_2 , ossido di titanio posto su un vetrino conduttivo; questo semiconduttore ha una struttura nanocristallina poiché in questo modo viene massimizzata la sua superficie di contatto. Sull'enorme area di titania è poi posta l'antocianina, che si ricava per esempio dalle more oppure dai fiori di biscus. Tra il secondo vetrino conduttore e il dye infine viene posto un elettrolita nel quale avverranno poi reazioni redox.

Funzionamento della cella e il suo rendimento[14]

Quando la cella è in funzione, la luce solare attraversa l'elettrodo trasparente superiore, colpendo il dye deposto sulla superficie di TiO_2. La radiazione solare che colpisce il colorante con sufficiente energia per essere assorbita crea uno stato eccitato della molecola di antocianina, da cui un elettrone può essere "iniettato" direttamente nella banda di conduzione del TiO_2, grazie all'effetto di prossimità, e da lì si muove verso il vetrino conduttore. L'effetto di prossimità infatti evita che l'elettrone eccitato del dye ritorni nel suo stato originario.



[14] Schema della struttura e del funzionamento di una cella DSSC

Nel frattempo, la molecola del colorante ha perso un elettrone e si decomporrà se non gliene viene fornito un altro. Una volta giunto sul vetrino, l'elettrone passa attraverso un circuito producendo corrente, per poi tornare attraverso il secondo vetrino conduttore nell'elettrolita dove, attraverso reazioni redox, si ricongiunge con l'antocianina. L'efficienza di queste celle solari organiche è ancora molto bassa (10-11%), ed inoltre esse tendono a degradare facilmente. Ma il bassissimo costo di produzione e la grande disponibilità di questi materiali spinge i ricercatori ad investire risorse su questo tipo di pannelli fotovoltaici, al fine di portare la loro efficienza ai livelli di quelle al silicio.

3.5) Vantaggi e svantaggi del fotovoltaico

Tra i vantaggi del fotovoltaico vi è che è una fonte di energia rinnovabile proporzionata alla vita umana, ma soprattutto che è ecologica e che non prevede emissioni di anidride carbonica e smog. Purtroppo però necessita anche di accumulatori di energia nelle ore notturne, ha un forte impatto visivo e ambientale e i costi per Watt sono ancora troppo elevati rispetto per esempio al petrolio.

impianto fotovoltaico aperto in California, USA

inquinamento atmosferico

Conclusioni

L' utilizzo di fonti di energia rinnovabile, come quella solare, al posto dei combustibili fossili è ormai diventata una scelta obbligata, in quanto risolverebbe diverse problematiche:

(1) Per esempio in questo modo le emissioni di gas nocivi come l'anidride carbonica verrebbero fortemente ridotte se non addirittura azzerate del tutto, con un conseguente miglioramento ambientale.

(2) Un altro aspetto vantaggioso è invece di carattere economico: il mercato energetico mondiale infatti si basa sulla vendita del petrolio, il cosiddetto "oro nero" che purtroppo fa parte delle fonti non rinnovabili. Una volta che questo combustibile fossile inizierà a scarseggiare, probabilmente tra non molto tempo, si verificherà un grande aumento dei prezzi del petrolio dovuto alla carenza di nuovi giacimenti e al sempre crescente consumo mondiale; tutto ciò è dannoso per Nazioni come l'Italia che dipendono dall'estero nel campo dell'energia.

(3) Infine un'economia basata su fonti di energia rinnovabili potrebbe in parte allentare le tensioni in Medio Oriente, paese che vive in stato di guerra da oltre 40 anni a causa della sua posizione strategica e gli evidenti interessi economici (è un paese ricco di giacimenti petroliferi).

Ed è proprio per questi motivi che investire nella ricerca di fonti di energia rinnovabile è ormai diventata una priorità che per troppo tempo è stata trascurata e in particolare in Italia potrebbe dare grande risultati. La nostra nazione, essendo fortemente irraggiata dal Sole, potrebbe utilizzare grandi quantità di energia rinnovabile. Gradualmente l'Italia sta capendo la sua enorme fortuna, ed oggi è seconda in Europa nella produzione di energia solare, dietro la Germania: ma molto ancora dovrà essere fatto per arrivare a costituire un'economia completamente fondata sull'uso di fonti di energia rinnovabile.