

# TESINA PER L'ESAME DI STATO A.S. 2011/12

## SCIENZA DEI MATERIALI PER LA CONVERSIONE FOTVOLTAICA

Di: *Eleonora Marra*

Il presente contributo, elaborato dalla studentessa **Eleonora MARRA** del Liceo Artistico "Giorgio De Chirico" di Roma, è connesso alle attività scientifiche e laboratoriali svolte durante lo "Stage a Tor Vergata", promosso da 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 20 al 24 giugno 2011

Stage Invernale dal 7 al 9 febbraio 2012 (giornata conclusiva 19 marzo 2012).

Le attività didattiche previste dal Programma dello Stage sono state realizzate all'interno di tre gruppi di ricerca, guidati da docenti del Dipartimento di Fisica.

### I responsabili delle attività laboratoriali del Modulo di scienza dei materiali per la Conversione Fotovoltaica

Prof. Ivan Davoli  

Prof. Massimiliano Lucci  

### Il Direttore degli Stage a Tor Vergata

Prof. Nicola Vittorio  

**Liceo Artistico Statale "Giorgio de Chirico"**

**Tesina per l'Esame di Stato  
A.S. 2011/2012**

# **La Conversione Fotovoltaica**

**A cura di Eleonora Marra  
classe VC**

 1

## Indice

<b>Introduzione</b> .....	Pag 3
<b>I - Alle basi delle celle</b> .....	Pag 4
○ Il Sole...	
○ ...Il Corpo Nero...	
○ ...e l'effetto Fotoelettrico	
<b>2- Le celle al Silicio</b> .....	Pag 5
○ Cosa occorre per il funzionamento delle celle?	
○ Che materiali utilizzare?	
○ Come si formano le coppie?	
○ Ed infine...	
<b>3- Celle sensibilizzate con Dye (o celle di tipo Gratzel)</b> .....	Pag 6
○ La loro composizione...	
○ ...il loro funzionamento...	
○ ...e la loro efficienza	
○ Cosa abbiamo fatto in laboratorio?	
<b>4- Celle ai Nanotubi di Carbonio (CNT)</b> .....	Pag 7
○ Cosa sono i Nanotubi?	
○ Come si creano i CNT	
○ Come abbiamo creato la nostra cella CNT	



## Introduzione

Quanto esposto in questa tesina è il risultato della mia partecipazione alle sessioni degli Stage organizzati presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata". Nella prima sessione (Stage Estivo svoltosi nel Giugno 2011) abbiamo affrontato il tema delle celle fotovoltaiche di tipo ibrido mentre nella seconda sessione (Stage Invernale svoltosi, invece, nel Febbraio 2012) ci siamo dedicati alle celle fotovoltaiche di tipo inorganico, modificate con nanotubi di carbonio.

In entrambi gli Stage, abbiamo partecipato sia a lezioni teoriche, tenute da professori universitari, sia ad esperimenti all'interno di laboratori di ricerca, dove abbiamo realizzato le celle, mettendo in pratica quanto appreso in quei giorni.

Gli argomenti seguenti, sono quindi forniti da questa esperienza e dalle spiegazioni nel corso di questi Stage.

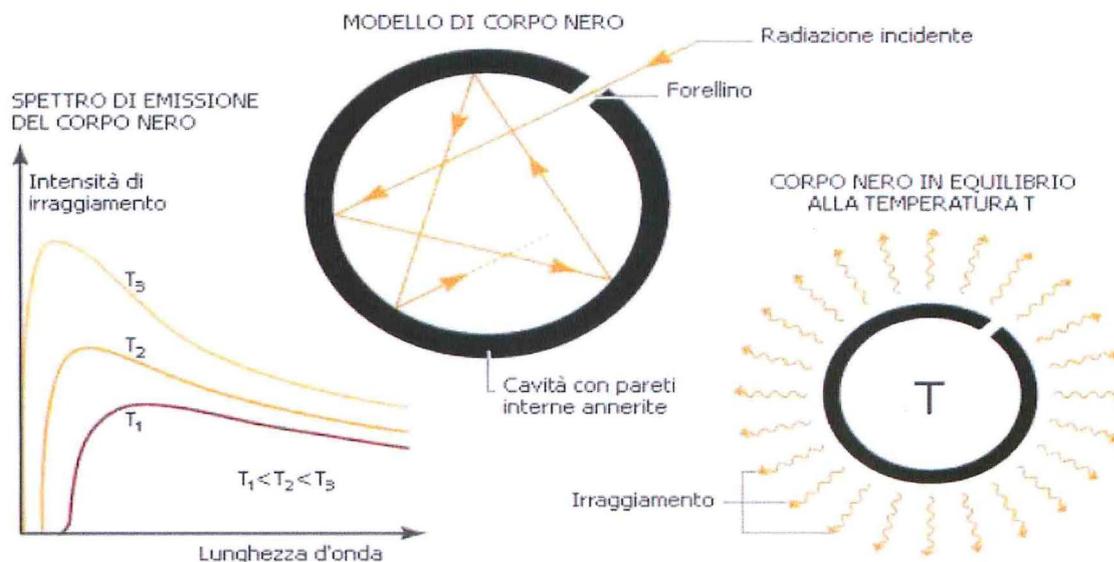
## I - Alle basi delle celle:

### Il Sole...

Il Sole è considerato una fonte di energia inesauribile in relazione al ciclo vitale della nostra specie. E' assimilabile ad un "corpo nero" e si trova alla temperatura di circa 6000 K (gradi Kelvin). La luce solare raggiunge la nostra atmosfera in 8 minuti ed arriva al suolo con un'intensità di 170'000 TW\Giorno.

### ...Il Corpo Nero...

Un corpo nero è un corpo capace di assorbire tutte le radiazioni elettromagnetiche che riceve per poi emetterle nuovamente. Anche nel nostro corpo sono presenti corpi neri: esempi possono essere le pupille degli occhi o le narici del naso. All'aumentare della temperatura di questo corpo nero, varia anche il suo colore (Una variazione cromatica che parte dal rosso cupo fino ad arrivare al bianco).



### ...e l'Effetto Fotoelettrico

L'effetto fotoelettrico è il fenomeno attraverso il quale una superficie, quando investita da una radiazione sufficientemente energetica, (l'energia della luce dipende dal colore e non dalla intensità: rosso meno energetico, blu più energetico) emette elettroni. Tale fenomeno venne scoperto da casualmente Heinrich Hertz nel 1887 (caricando una placca di zinco negativamente attraverso una radiazione ultravioletta) e rielaborato, in seguito, da Albert Einstein. Quest'ultimo spiegò l'effetto fotoelettrico ipotizzando che

- 1) La luce fosse composta di fotoni, ossia "pacchetti di energia" (ciò si riallaccia alla teoria del corpo nero)
- 2) Ciascun elettrone, per lasciare la superficie, abbia bisogno di una energia superiore al lavoro di estrazione degli elettroni dal solido

3) L'energia dei fotoni venga assorbita dagli elettroni  
Successivamente l'ipotesi di Einstein fu verificata sperimentalmente.  
L'effetto fotoelettrico è alle basi del funzionamento delle celle fotovoltaiche.

## 2- Le Celle al Silicio:

### Cosa occorre per il funzionamento delle celle?

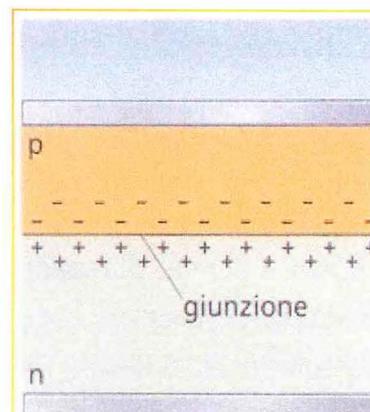
Il funzionamento delle celle solari è caratterizzato da due fasi. Nella prima fase, si ha la formazione della coppia elettrone-lacuna in seguito all'esposizione alla luce solare. Nella seconda fase, invece, si ha la separazione di tale coppia.

### Che materiali utilizzare?

Per la realizzazione della celle fotovoltaiche, vengono utilizzati solo materiali semiconduttori. Questo avviene perché nel caso degli isolanti, le radiazioni non sarebbero in grado di separare un elettrone dal nucleo dell'atomo, mentre invece, nel caso dei conduttori l'agitazione termica sarebbe troppo forte e distruggerebbe le coppie elettrone-lacuna.

### Come si formano le coppie?

Il silicio è un Materiale semiconduttore, ed è l'elemento più usato per la realizzazione di questo tipo di celle. Vengono presi due wafer di silicio, il primo drogato di tipo N (con atomi di fosforo), il secondo drogato di tipo P (con atomi di boro). I due tipi di silicio vengono giustapposti in modo da formare la giunzione. Una volta fatto questo, gli elettroni del silicio di tipo N migreranno verso il silicio di tipo P mentre, al contrario nel silicio di tipo N si formeranno le lacune a causa della migrazione degli elettroni. Quando si arriverà ad un eccesso di carica positiva nel silicio N e negativa nel silicio P, questo processo si interromperà arrivando ad un equilibrio per via del campo elettrico che si è formato ai capi della giunzione.



### Ed infine...

Quando un fotone va a colpire la zona di giunzione, viene eccitata una coppia elettrone-lacuna ed il campo elettrico formatosi precedentemente nella giunzione, separerà le cariche. Questo darà il via ad un nuovo flusso di elettroni e lacune che darà vita all'effetto fotovoltaico.

### 3- Celle sensibilizzate con Dye (o Celle di tipo Gratzel)

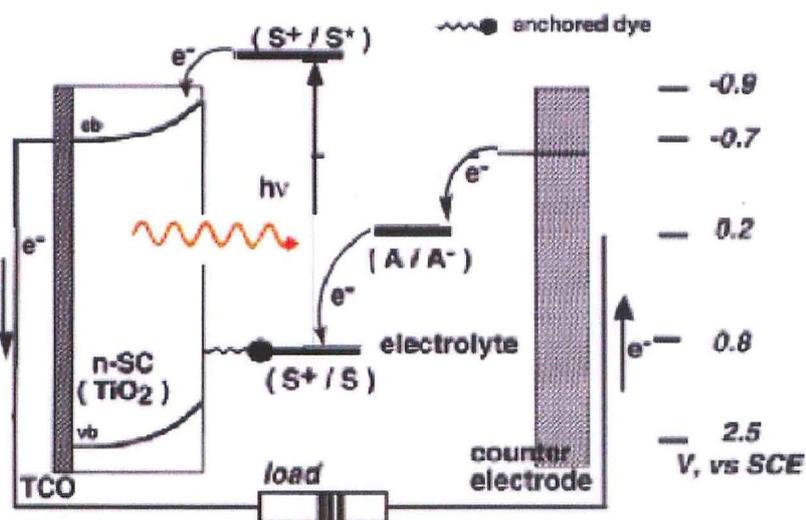
#### La loro composizione...

Le celle al dye, sono un tipo di celle che, invece di essere formate dalla giunzione di due tipi di silicio, sono costituite da un materiale organico (Antocianina) ed un materiale semiconduttore ( $\text{TiO}_2$ ).

Nella costruzione di tali celle, innanzitutto si pone su un vetrino conduttivo un poroso strato di biossido di titanio ( $\text{TiO}_2$ ). Su questa area di  $\text{TiO}_2$ , viene a sua volta, applicato uno strato di antocianina (il dye) ossia una pigmento che funge da semiconduttore organico sensibile alla luce, estratto dai frutti di bosco oppure dai fiori di ibiscus. Infine viene versato, tra il dye e un secondo vetrino conduttivo, un elettrolita liquido. [ref].

#### ...il loro funzionamento...

Quando la luce colpisce la cella al dye, gli elettroni dell'antocianina subiscono un eccitamento e vengono attratti dal  $\text{TiO}_2$  trovando degli stati energeticamente più favorevoli. A questo punto, il dye acquista gli elettroni dall'elettrolita quindi si accumulano elettroni nel  $\text{TiO}_2$  e lacune (mancanza di elettroni) nell'elettrolita creando una differenza di potenziale utilizzabile. Infine gli elettroni possono essere utilizzati passando attraverso un carico e ricombinandosi nelle lacune dell'elettrolita ristabilendo le condizioni iniziali.



#### ...e la loro efficienza

Le celle Gratzel presentano caratteristiche promettenti quali:

- 1) Costi della loro produzione particolarmente bassi
- 2) Realizzazione è semplice
- 3) Posseggono flessibilità meccanica quindi sono applicabili anche su superfici curve

Mentre presentano alcuni inconvenienti molto severi:

- a) Hanno una durata di vita molto breve (circa 2 mesi)
- b) Una efficienza di 4-10%

### **Cosa abbiamo fatto in laboratorio?**

Durante lo stage a cui ho avuto il piacere di partecipare, abbiamo realizzato, in laboratorio, delle celle al dye con le nostre mani seguendo queste procedure:

- Con il multimetro abbiamo verificato il lato conduttivo dei vetri pretrattati
- Abbiamo steso lo strato di  $TiO_2$  sul lato conduttivo dei vetri
- Abbiamo infornato i vetri per 30 minuti a  $450^\circ$  per saldare tra loro le particelle nanometriche di  $TiO_2$
- Dopo aver tolto i vetri dal forno li abbiamo immersi nel dye
- Abbiamo depositato un sottile strato di grafite sul secondo vetrino conduttivo
- Dopo che il dye del primo vetrino si è asciugato, abbiamo affiancato tra loro i due vetri separati di circa  $50\mu m$
- Tra i due vetri abbiamo infine versato l'elettrolita liquido.
- Una volta ultimate le nostre celle le abbiamo collegate tutte tra di loro ed esposte al sole in modo tale da azionare un piccolo carillon elettronico.

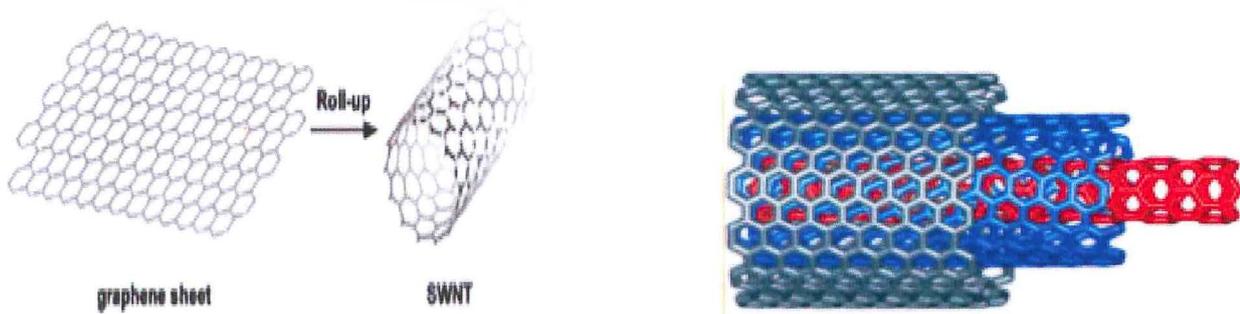


## **4- Celle ai Nanotubi di Carbonio (CNT)**

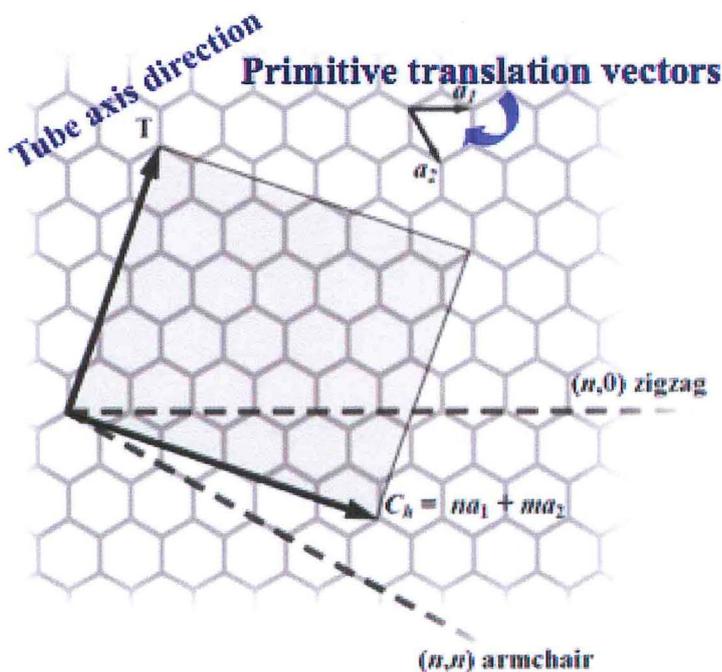
Un modo alternativo di ottenere la conversione fotovoltaica è la costruzione di celle inorganiche formate da un conduttore e da un semiconduttore (effetto Schottky). Il processo potrebbe dimostrarsi importante per la prossima generazione di celle solari.

### **Cosa sono i Nanotubi?**

I CNT (Carbon Nano Tubes) sono nanostrutture composte da fogli di grafene arrotolate in modo da formare dei tubi. Come pareti, alcuni nanotubi hanno un solo foglio di grafene e sono quindi detti Single-Wall, altri sono costituiti da più fogli inseriti l'uno dentro l'altro. In questo caso vengono definiti Multi-Wall.



A seconda di come vengono avvolte le pareti di grafene dei nanotubi, si vengono a formare dei vettori di traslazione che attribuiscono ai nanotubi diverse caratteristiche di conduzione.



### Come si creano i CNT?

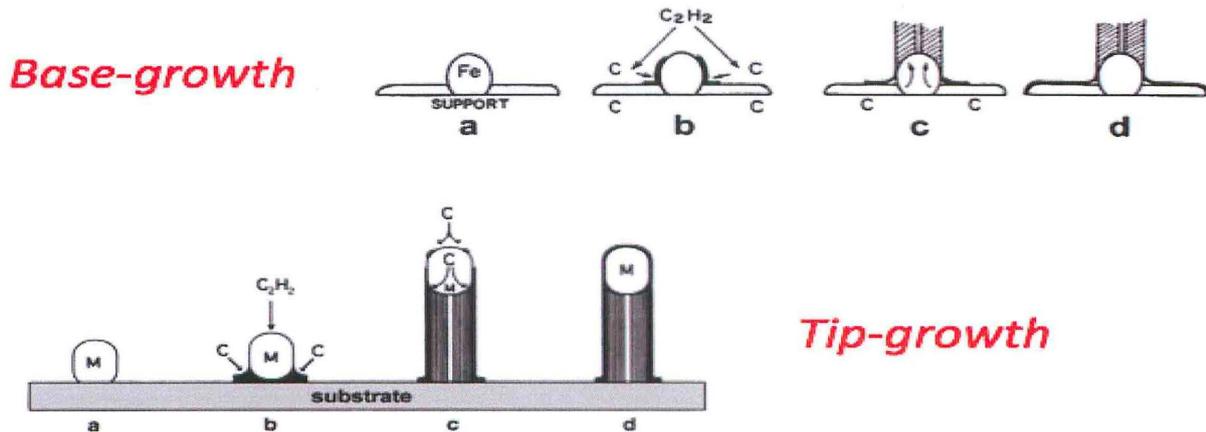
I Nanotubi di carbonio vengono prodotti attraverso metodi diversi:

- 1) Il metodo della scarica ad arco
- 2) Il metodo dell'ablazione laser
- 3) Il metodo della deposizione da vapore.

Il meccanismo di crescita che abbiamo adottato nel corso dello stage, è stato l'ultimo di questo elenco.

Nella **Chemical Vapor Deposition**, si prevede l'accrescimento dei nanotubi su un wafer di acciaio inossidabile. Gli atomi del ferro contenuti nell'acciaio, infatti,

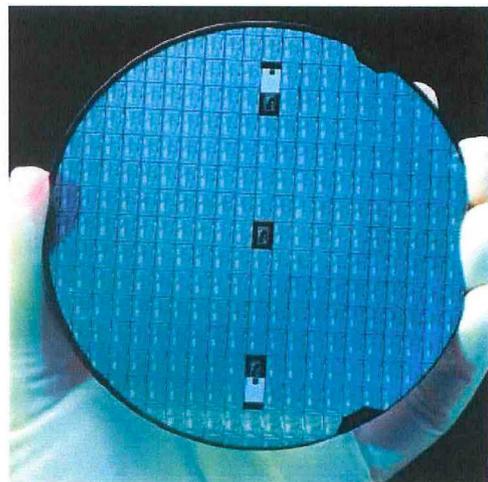
fungono da catalizzatori sulla quale base si accresceranno i nanotubi. Di conseguenza sono questi catalizzatori a determinare la tipologia e il diametro dei CNT. Il wafer viene inserito in una camera dove viene portato alla temperatura di 700°C. Una volta raggiunta tale temperatura, all'interno di questa camera si ricrea il vuoto per poi introdurre un gas contenente atomi di carbonio (noi abbiamo utilizzato il metano). Quando questo metano viene a contatto con il wafer incandescente, i suoi atomi di carbonio si depositano formando i nanotubi. Il metodo di crescita può avvenire sia verso il basso (Tip-Growth) che verso l'alto (Base-Growth).



### Come abbiamo creato la nostra cella CNT

Durante la seconda sessione dello stage abbiamo creato una cella solare, questa volta utilizzando i nanotubi di carbonio. La procedura che abbiamo attuato è stata la seguente:

- Abbiamo creato dei nanotubi su un dischetto di acciaio inox attraverso il processo della Chemical Vapor Deposition
- Abbiamo immerso il dischetto nell'alcool isopropilico posto dentro un "sonicatore" che attraverso delle vibrazioni ha separato i nanotubi dal dischetto.
- Abbiamo applicato dell'acido fluoridrico sui nostri wafer di silicio per rimuoverne il fotoresist (una sostanza che impedisce l'ossidazione del silicio) presente al centro
- Abbiamo imbevuto i wafer nell'acetone per rimuovere anche il polimero di plastica che ne ricopriva i lati
- Abbiamo scaldato il wafer a 60°C per poi spruzzarvi i nanotubi di carbonio con un dispositivo chiamato "airbrushing"
- Abbiamo applicato della pasta d'argento ai lati del wafer di silicio in modo tale



- da creare il contatto
- Abbiamo infine collegato i poli di pasta d'argento ad un dispositivo in modo tale da misurarne la corrente creata esponendo il wafer alla luce solare. In questo caso la giunzione era silicio-CNT-contatto metallico.