

FOTOVOLTAICO ORGANICO

la terza generazione, punta dell'innovazione tecnologica: integrazione e rinnovabilità del solare in architettura

FABRIZIO TUCCI

Tre sono le “generazioni” di fotovoltaico, l'una intersecata all'altra in un processo di evoluzione che conserva e non dismette le peculiarità della precedente:

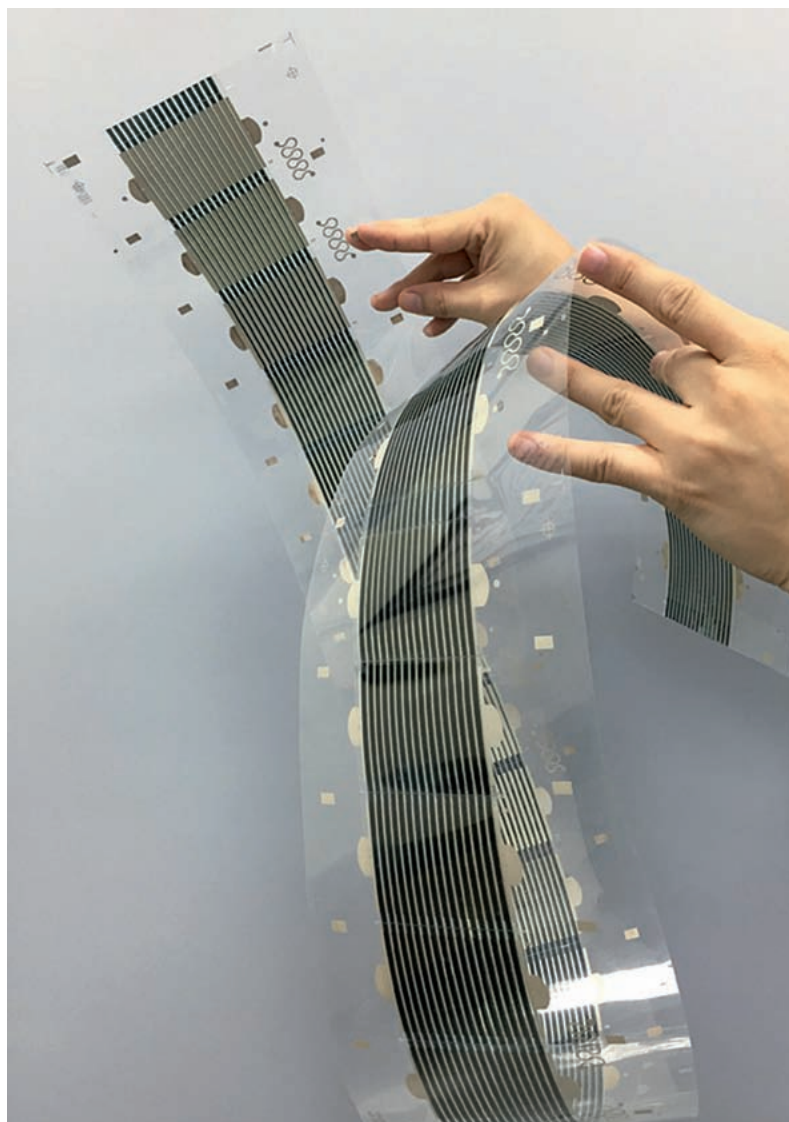
- Celle in silicio monocristallino e silicio policristallino
- Celle in silicio amorfo depositato sotto forma di un film sottile (thin film technology)
- Celle organiche e organico/inorganico.

Il principale vantaggio delle celle monocristalline è l'elevata efficienza, pari a circa il 15-16% per le celle commerciali, con un costo però abbastanza elevato a causa dei complicati processi coinvolti nella loro realizzazione.

I costi di produzione possono essere leggermente ridotti se viene utilizzato silicio policristallino che però presenta delle efficienze più basse (circa il 12%).

È possibile ricorrere alla seconda generazione di fotovoltaico, utilizzando anche la forma amorfa del silicio per creare delle celle fotovoltaiche a film sottile maggiormente adattabili alla forma del loro supporto, con un'efficienza però dell'ordine dell'8%.

La terza generazione si riferisce alle tecnologie basate su concetti innovativi. In questo caso i processi di realizzazione sono decisamente a basso costo essendo prevalentemente associati a tecnologie chimiche e la realizzazione di tali celle può essere ottenuta con un basso impatto ambientale. Ad oggi l'efficienza di queste celle può arrivare in laboratorio al 10% anche se l'intensa ricerca in questo campo fa ipotizzare un miglioramento dell'efficienza nell'immediato futuro.



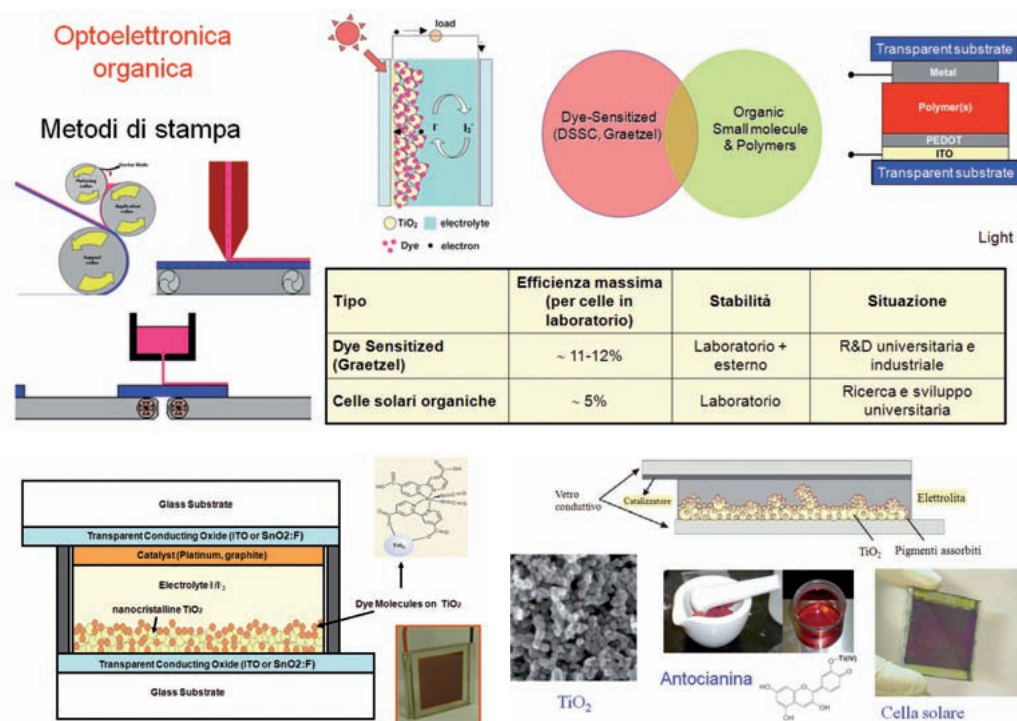
MODULO PAROLE CHIAVE

CELLA FOTOVOLTAICA – CELLE IN SILICIO MONOCRISTALLINO – THIN FILM TECHNOLOGY – CELLE ORGANICHE – CELLE ORGANICO/INORGANICO – PROGETTO FREENERGY – UNIVERSITÀ TOR VERGATA – UNIVERSITÀ LA SAPIENZA – DYE SENSITIZED SOLAR CELLS – BULK HETEROJUNCTION – MUSEO DELLA MIGRAZIONE - ISOLA DI VENTOTENE

Il progetto *Freenergy* dell'Università Tor Vergata di Roma sta mettendo a punto celle solari di materiali organici: costi contenuti e alta integrabilità nell'architettura

Si tratta di una tecnologia innovativa, ancora non presente sul mercato ed in fase di sperimentazione in diversi laboratori degli enti di ricerca tra i più avanzati al mondo nel campo delle celle fotovoltaiche. Proprio in questo ambito si inserisce il progetto *Freenergy* (fonti rinnovabili ecosostenibili di energia) dell'Università di Tor Vergata, che si propone di sostituire le celle fotovoltaiche in silicio con celle solari composte da materiali organici, e nell'ambito del quale si sta studiando insieme all'Università La Sapienza (responsabile Fabrizio Tucci), il quadro delle applicabilità integrate in architettura. Così come affermato nella conferenza "L'energia Solare: tra nuove tecnologie e frutti di bosco" che si è svolta a Roma qualche anno fa e antesignana degli sviluppi in corso in questi mesi che stanno approdando ad una produzione e dunque ad una immissione sul mercato di questo tipo di prodotti innovativi e per alcuni versi rivoluzionari per il mondo dell'architettura, queste nuove celle non raggiungono l'efficienza delle celle solari convenzionali, ma possono essere prodotte a costi decisamente inferiori. Le celle organiche più efficienti, ispirandosi al processo di fotosintesi clorofilliana, utilizzano una miscela di materiali in cui un pigmento assorbe la radiazione solare e gli altri componenti estraggono la carica per produrre elettricità. Tale operazione viene effettuata per mezzo di una pasta di ossido di titanio: un ingrediente comune ed eco-compatibile. L'ambizione della ricerca in questo tipo di cella è infatti proprio quella di sviluppare una cella solare all'insegna della bio-eco-compatibilità. La gamma di pigmenti che possono essere impiegati include quelli a base vegetale, come le antocianine derivate dai frutti di bosco, i polimeri e le molecole sintetizzate in modo da massimizzare l'assorbimento dello spettro solare.

In particolare il progetto *Freenergy* si sta concentrando sulle celle DSSC "dye sensitized solar cells" che sono quelle in cui il pigmento è stato sintetizzato attraverso i processi della chimica organica.



La struttura tipica di una cella fotovoltaica organica prevede una parte fotoelettricamente attiva (costituita da un pigmento organico che è possibile estrarre ad esempio da frutti di bosco) inserita tra una coppia di elettrodi composta da un film di ossido di titanio nanoporoso

La struttura tipica prevede una parte fotoelettricamente attiva (costituita da un pigmento organico che è possibile estrarre da frutti di bosco) inserita tra una coppia di elettrodi composta da un film di ossido di titanio nanoporoso (tipico componente sbiancante per numerosi usi civili, industriali ed alimentari) e da un film di polimero semiconduttore.

Un elettrolita che separa i due elettrodi permette il funzionamento della cella in modo simile ad una batteria.

Fotovoltaico “in pasta”: ridotti costi di stoccaggio e di trasporto ed eliminazione di scarichi nocivi per l’ambiente

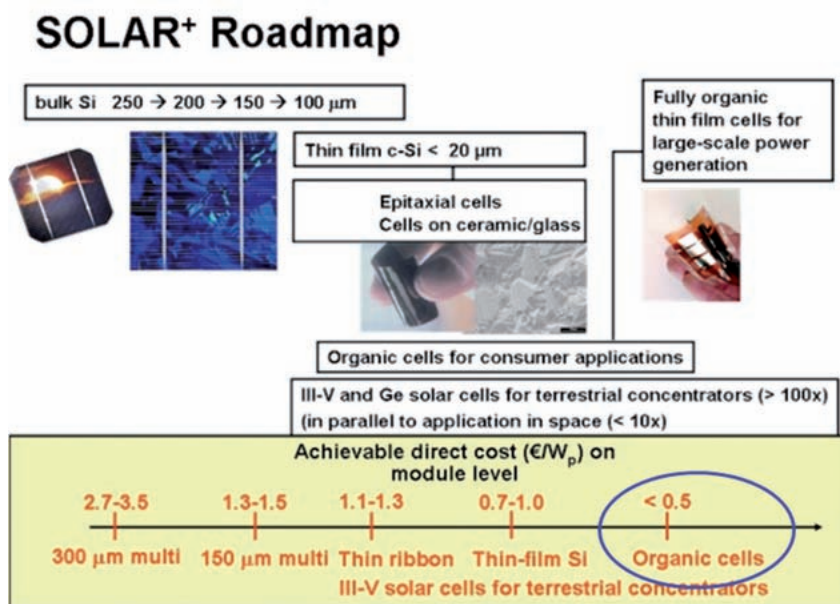
Una volta che si procederà all’ampia commercializzazione di questa nuova generazione di celle fotovoltaiche, il grosso vantaggio dei materiali fotovoltaici organici o ibridi in generale risiederà nel fatto che questi possono essere depositati, su larghe aree e a costi molto ridotti, in soluzione liquida come veri e propri inchiostri o paste. Sarà possibile quindi usare metodi tipici dell’industria della stampa e applicarli nel campo del solare organico, eliminando così gli alti costi di materiale e di processo tipici dell’industria a semiconduttore in cui la purezza e le alte temperature richieste per la liquefazione, cristallizzazione e drogaggio del silicio provocano dispendio energetico ed economico e causano inoltre scarichi nocivi per l’ambiente.

I materiali organici o ibridi, invece, una volta depositati assumono la forma di vere e proprie pellicole, che sono da qualche decina di volte fino ad oltre mille volte più sottili dei wafer in silicio. I materiali sono anche compatibili con film o rotoli di plastica e depositabili su substrati trasparenti flessibili con sensibili vantaggi nei costi in relazione alla produzione, al trasporto, al risparmio di materiale e alla facilità d’installazione.

Le principali caratteristiche di questa tecnologia si possono riassumere in quattro punti salienti:

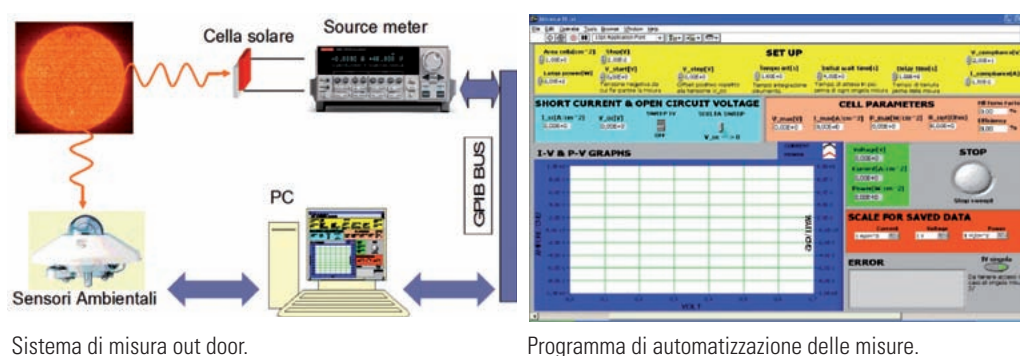
- abbatte di un fattore sei i costi di produzione rispetto alla tecnologia al silicio;
- i pannelli possono avere un qualsiasi colore;
- l’efficienza oscilla tra il 4% e il 10%;
- il tempo di vita è di circa 20 anni (e quindi paragonabile alle altre tecnologie).

Per le loro caratteristiche di innovazione e di potenzialità per gli sviluppi futuri, queste nuove celle solari sono state impiegate in via sperimentale nel progetto “Ventotene isola ad emissioni zero”, finanziato dalla Regione Lazio e che ha visto collaborare insieme due centri di ricerca: l’Università di Tor Vergata col suo dipartimento di Elettronica (referenti scientifici Franco Giannini e Aldo Di Carlo) e l’Università La Sapienza col suo dipartimento di Pianificazione Design e Tecnologia dell’Architettura (referenti scientifici Fabrizio Orlandi e Fabrizio Tucci), per la produzione di energia elettrica a supporto dell’illuminazione pubblica dell’isola, un progetto che si sta delineando come “pilota” nell’ottica di una più vasta e diffusa applicabilità della tecnologia solare organica .



Un'applicazione sperimentale: testate a Ventotene, sulla copertura del Museo della Migrazione, celle solari organiche DSC e polimeriche

Una delle principali difficoltà che si è dovuto affrontare nel corso della campagna di misura ha riguardato la necessità di ricreare – nell'isola di Ventotene, sito prescelto per l'applicazione sperimentale, - la capacità di analisi ed elaborazione dei dati più simile possibile a quella ottenibile in laboratorio, completa di misurazione e caratterizzazione delle celle. In particolare si è dovuto garantire allo stesso tempo la completezza delle informazioni principali delle condizioni ambientali di utilizzo, e la massima portabilità dell'intero sistema di acquisizione dati.



Uno dei componenti fondamentali del sistema è il source meter, che è uno strumento che lavora in tutti e quattro i quadranti I-V. Esso funziona sia come sorgente o source che anche come elemento dissipativo, a differenza dei convenzionali multimetri od alimentatori.

L'analisi dei dati è stata automatizzata in modo da rendere il processo di verifica del funzionamento delle celle il più possibile oggettivo (privo di errori dell'operatore) e completo di tutti i parametri prestazionali della cella e delle condizioni ambientali rilevate dai sensori (temperatura, intensità della radiazione solare, etc.).

La campagna delle misure presso l'isola di Ventotene si è svolta in più fasi ed ha visto alcune delle tecnologie più promettenti del fotovoltaico organico testate e analizzate in diverse condizioni operative "sul campo".

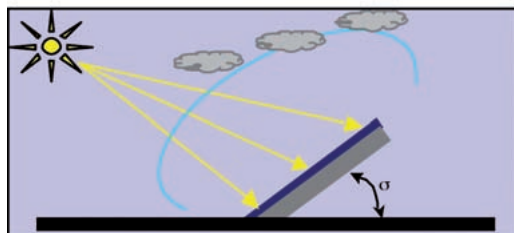
Sono state testate celle solari organiche di tipo DSC, e celle solari organiche di tipo polimerico, fornite dal centro nazionale di ricerca RISOE per il fotovoltaico organico della Danimarca. Le due tipologie di cella organica sono state confrontate durante la Scuola ISOPHOS organizzata con il contributo dei principali centri di ricerca europei sul fotovoltaico organico.

Il sito prescelto per la campagna di misure è il Museo della Migrazione. Nel punto più alto delle coperture del museo (il tetto della sala superiore) si è potuto garantire una condizione perfetta di illuminazione in ogni istante della giornata, con particolare attenzione verso le particolari condizioni di illuminazione dell'alba e del tramonto.

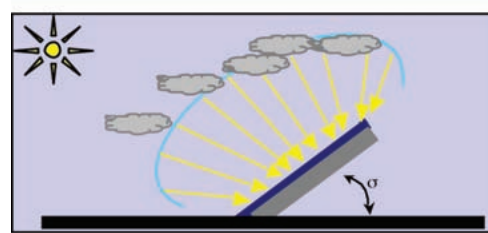
E' noto infatti che tra le potenzialità delle tecnologie di fotovoltaico organico di tipo DSC, vi è la capacità da parte della cella di sfruttare al meglio la radiazione solare anche quando questa soffre di non idealità per quanto riguarda la direzionalità della luce solare. Solo in particolari condizioni meteorologiche in giornate completamente serene la luce solare può essere considerata proveniente da una sola direzione di illuminazione (la direzione imposta dalla posizione del sole nel corso della giornata).



In realtà nella maggior parte dei giorni dell'anno la luce solare che giunge sul pannello fotovoltaico ha anche (per una frazione importante) natura diffusa, ossia è priva di direzione preferenziale. La luce solare cioè è reirradiata dall'atmosfera a causa della presenza di nubi o foschia, o semplicemente una maggiore umidità relativa. Una condizione di questo tipo risulta relativamente frequente in un sito come quello dell'isola di Ventotene.

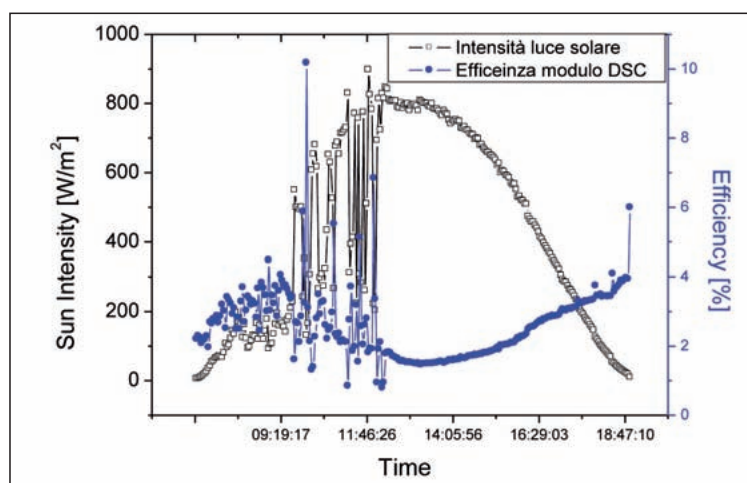


Illuminazione da luce diretta.

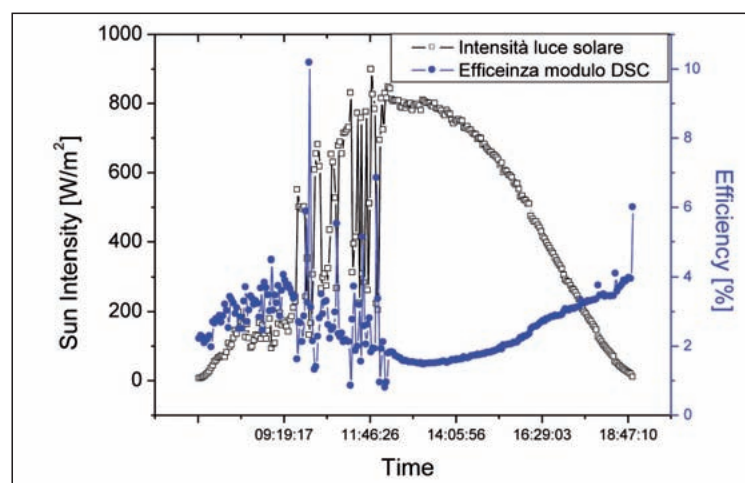


Illuminazione da luce diffusa.

L'importanza dell'osservazione delle condizioni di funzionamento delle celle all'alba e al tramonto è legata al fatto che durante queste fasi del giorno la quota parte di luce diffusa rispetto alla radiazione diretta è maggiore che nel resto del giorno.



Prestazioni modulo organico di tipo DSC.



Prestazioni cella organica di tipo polimerico.

Nel diagramma sopra a sinistra è mostrata la correlazione esistente per il modulo DSC tra l'intensità della luce solare incidente durante il giorno, e l'efficienza del modulo DSC. Si può notare come previsto per questo tipo di tecnologia che l'utilizzo che la cella fa della luce solare migliora verso l'alba ed il tramonto. Questi momenti sono quelli a maggior componente diffusa (considerando il posizionamento orizzontale del modulo). In condizioni di luce diffusa l'efficienza aumenta, fino a raddoppiare.

Il motivo per cui le celle DSC sono così performanti in condizioni di luce diffusa risiede nelle peculiarità della struttura della cella. La superficie fotosensibilizzata dal colorante è nanostrutturata, e per questo intrinsecamente non direzionale nel rispondere alla luce incidente.

Nel diagramma a destra viene poi mostrato l'andamento dell'efficienza al variare delle condizioni di illuminazione durante il giorno per una cella organica di tipo polimerico. Si tratta di una tecnologia diversa dalle DSC. Nelle celle organiche polimeriche i materiali fotosensibili sono interamente semiconduttori a stato solido, seppure di tipo organico. La tipologia di cella viene definita "bulk heterojunction" (ad eterogiunzione distribuita) poiché i due semiconduttori di tipo p e di tipo n sono interpenetrati tra i due contatti della cella.

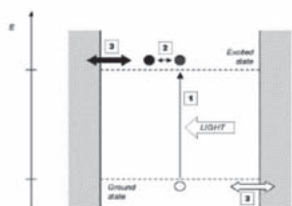
In sintesi si può concludere che anche per questa tipologia di cella organica si riscontra la possibilità della cella di raccogliere in modo più efficiente la radiazione solare di tipo diffuso, il che costituisce uno degli elementi più importanti e promettenti per l'applicazione e il successo di una tecnologia solare che non è così solo innovativa e pienamente rinnovabile fin dai suoi elementi-base costituenti, ma è anche tesa ad impiegare e dialogare al meglio con la risorsa Sole nelle sue varie forme di manifestazione, trasmissione e distribuzione.

IL PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DI UNA CELLA SOLARE ORGANICA

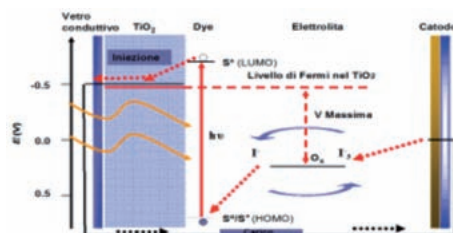
Questo paragrafo fa riferimento agli studi avanzati condotti sull'argomento in campo chimico-fisico ed elettronico da Franco Giannini, Aldo Di Carlo e Andrea Reale, Dipartimento di Elettronica, Università di Tor Vergata, i quali hanno in corso una collaborazione scientifica per l'applicabilità e integrabilità in Architettura col dipartimento PDTA, responsabile scientifico Fabrizio Tucci

Una cella solare organica presenta un principio di funzionamento basato sull'eccitazione di una molecola di colorante (dye) da parte della luce solare. La carica elettrica prodotta dall'eccitazione viene ceduta al semiconduttore inorganico (un film nanostrutturato di ossido di Titanio, TiO_2), che possiede gli opportuni livelli energetici per estrarre efficacemente la carica dal dye, e presentarla all'elettrodo negativo, realizzato con film di ossidi metallici conduttivi e trasparenti (per esempio ossido di Stagno, SnO_2). La trasparenza è importante perché la luce solare deve poter raggiungere l'interno della cella.

La molecola di colorante riceve gli elettroni grazie ad un processo elettrochimico, in cui una soluzione elettrolitica con un sale opportuno cede un elettrone al dye. Il sale viene rigenerato recuperando l'elettrone perso presso l'elettrodo opposto, ricoperto di un opportuno materiale catalizzatore (per esempio grafite). Tale controelettrodo è il terminale positivo della cella fotovoltaica.



Schema di principio di una cella fotovoltaica.

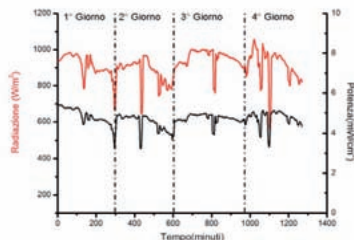


Schema di funzionamento di una cella solare organica.

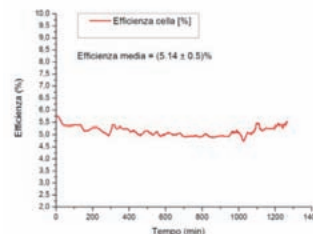
Poiché nel processo descritto non avviene nessuna trasformazione chimica permanente negli elementi che compongono la cella, questa trasforma con continuità la luce solare in corrente elettrica, una volta che i due elettrodi sono collegati ad un carico.

Condizioni indoor/outdoor

Come esempio dell'importanza di questo tipo di analisi vengono riportate le osservazioni permesse da una serie di correlazioni tra parametri ambientali e prestazioni della cella per quanto riguarda l'effetto della radiazione solare e della temperatura.



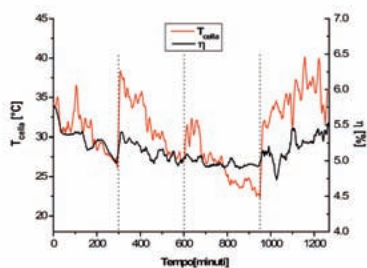
Andamento della potenza solare incidente e della massima potenza elettrica generabile dalla cella.



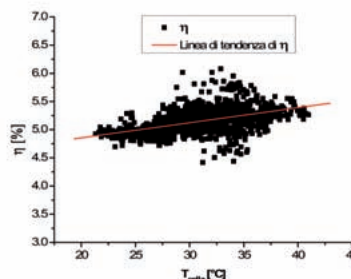
Andamento dell'efficienza nel tempo.

L'efficienza della cella può essere studiata anche in funzione dei principali parametri ambientali. Ad esempio per le celle tradizionali basate su Silicio cristallino, è noto che l'efficienza diminuisce all'aumentare della temperatura.

Negli schemi sotto è mostrato invece il comportamento delle celle solari organiche di tipo DSC. La temperatura di esercizio della cella non è più un fattore intrinsecamente limitante per le prestazioni complessive del sistema fotovoltaico, ma diventa un fattore potenzialmente positivo.



Andamento della temperatura misurata sulla cella.



Andamento dell'efficienza in funzione della temperatura.