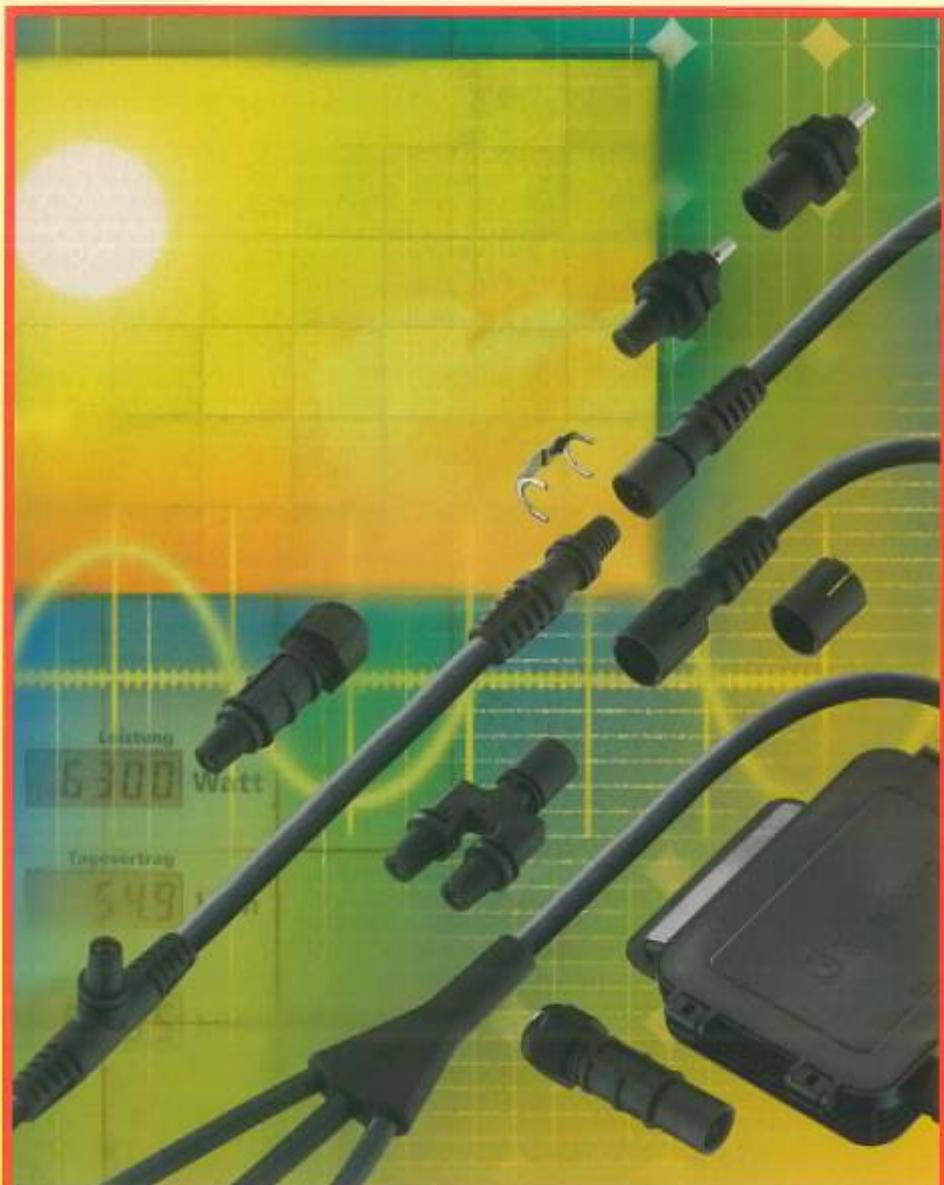


PV

Anno 1 • n. 2/2007 • € 3
SETTEMBRE / DICEMBRE

La rivista
per l'industria
fotovoltaica

TECHNOLOGY



lumberg

www.lumberg.com/solar



**OSSERVATORIO
SUL MERCATO**

**NUOVI PRODOTTI
E NUOVI BUSINESS**



CELLE SOLARI ORGANICHE

Tecnologie e
stato dell'arte



RICERCA APPLICATA

*Un anno di risultati
eccellenti al
Fraunhofer Institut*

SVILUPPO SOSTENIBILE

*L'impatto
ambientale delle
celle solari*

MERCATO

*La situazione
europea secondo
il nuovo rapporto
EurObserv'er*

TECNOLOGIA

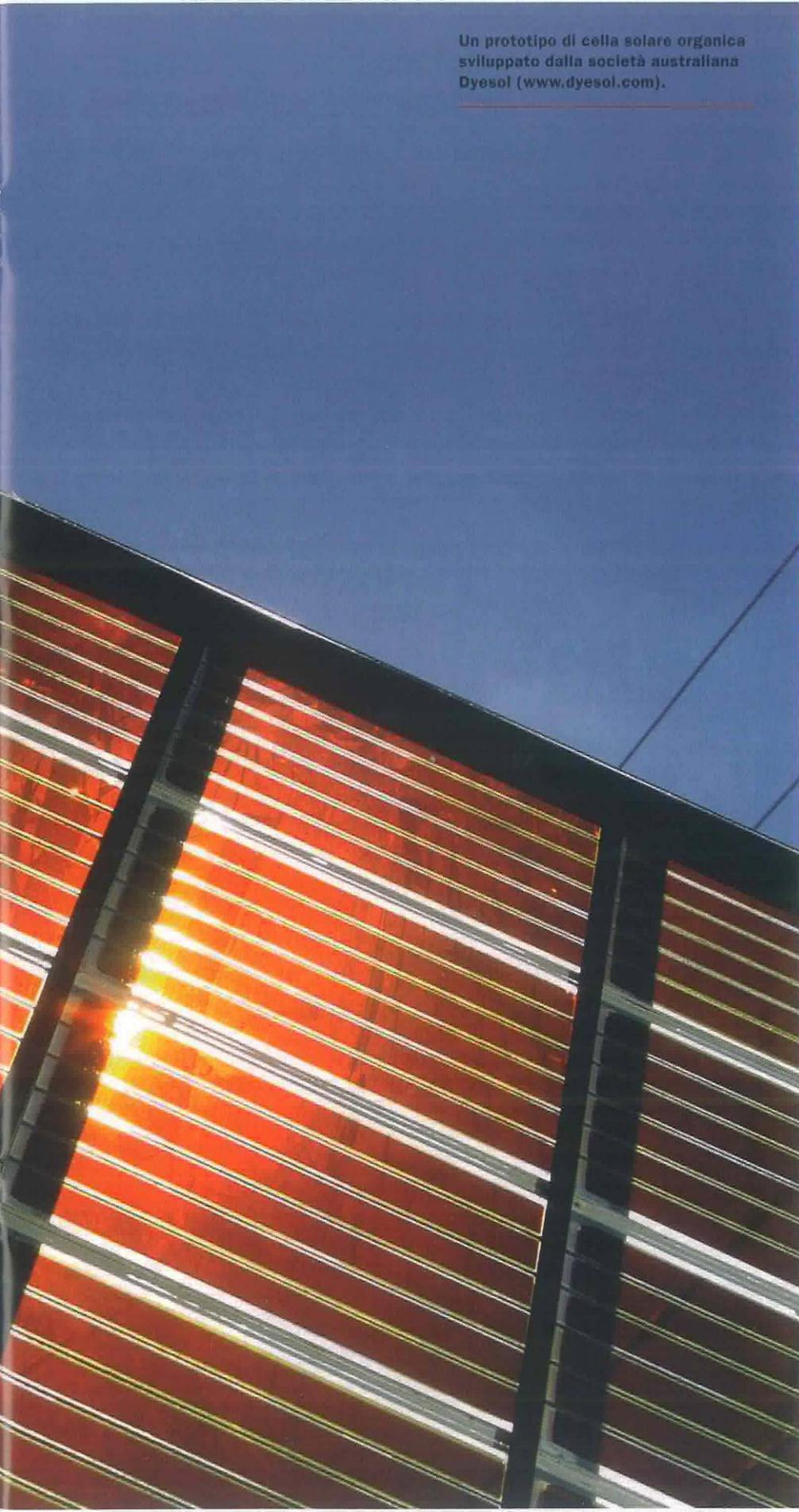
*In Germania, dentro
il più moderno
impianto in linea
dove si produce
dal wafer al modulo*

zero Emission

Celle fotovoltaiche **organiche e ibride**

Alla fine del 2006 è stato istituito presso il Dipartimento di Ingegneria Elettronica dell'Università degli Studi di Roma Tor Vergata, il Polo Solare Organico della Regione Lazio (CHOSE) con il contributo dell'amministrazione regionale. L'obiettivo scientifico che caratterizza il progetto è lo sviluppo di tecnologie di produzione di celle fotovoltaiche basate su materiali organici o ibridi e su processi di fabbricazione innovativi.





Un prototipo di cella solare organica
sviluppato dalla società australiana
Dyesol (www.dyesol.com).

DI THOMAS M. BROWN
ALDO DI CARLO
ANDREA REALE
E FRANCO GIANNINI
Polo Solare Organico
della Regione Lazio - CHOSE
Dipartimento di Ingegneria Elettronica,
Università degli Studi di Roma
Tor Vergata

Le celle fotovoltaiche organiche ed ibride utilizzano come elemento attivo non più un semiconduttore inorganico come il silicio bensì una serie di materiali molecolari.

In questo contributo daremo una panoramica di queste tecnologie fotovoltaiche, mettendo in risalto sia gli sforzi in atto per aumentarne le efficienze ed i tempi di vita, sia la particolare semplicità dei suoi processi di fabbricazione. Un grosso vantaggio dei materiali fotovoltaici organici o plastici, infatti, risiede nel fatto che questi, sotto forma di pellicola, possono essere depositati su larghe aree e a costi molto ridotti o attraverso evaporazione o a partire da una soluzione liquida come veri e propri inchiostri o paste. È possibile quindi usare metodi tipici dell'industria della stampa riducendo i costi di materiale, di processo e il dispendio energetico.

Il fotovoltaico basato su materiali fotoattivi molecolari

Una tecnologia a film sottile che ha effettivamente iniziato a prendere piede nei laboratori di ricerca internazionali attorno agli anni Novanta è il fotovoltaico basato su materiali fotoattivi molecolari [1-3]. La struttura base di una cella organica o ibrida è semplice: essa è detta "a sandwich" ed è composta da un substrato, generalmente vetro ma anche plastica flessibile, e da una o più sottilissime pellicole, che contengono i materiali fotoattivi, frapposte tra due elettrodi conduttivi di cui almeno uno trasparente.

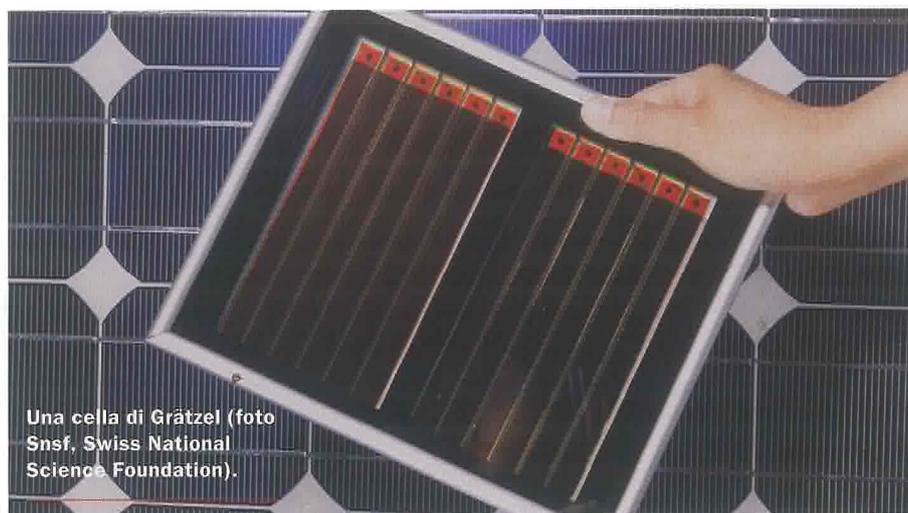
La gamma di celle solari di questo tipo è ampia e si trova in diversi stadi di ricerca e di maturazione tecnologica.

Comprende, in sintesi, le celle totalmente organiche (anche dette plastiche), le celle "dye sensitized" (o DSSC) e altre variazioni ibride organico/inorganico.

Le celle DSSC o celle di Grätzel

Per le celle DSSC (o di Grätzel, dal nome del loro inventore), la parte fotoelettricamente attiva, spesso una decina di micrometri ed inserita tra due elettrodi, è costituita da uno strato di ossido di titanio (TiO_2), da un pigmento molecolare e da un elettrolita (Figura 1, in basso). Le celle DSSC, ispirandosi al processo di fotosintesi clorofilliana, utilizzano una miscela di materiali in cui il pigmento organico o metallo-organico assorbe la radiazione solare, mentre gli altri componenti (TiO_2 ed elettrolita) estraggono la carica per produrre elettricità. Questo è necessario per ottenere alte efficienze in quanto, dopo l'assorbimento della luce, la carica generata in una molecola organica isolata non è libera, ma formata da una coppia di cariche di segno opposto molto legate tra loro (i.e. un eccitone). Per ottenere l'effetto fotovoltaico è necessario quindi ingegnerizzare la composizione e la morfologia degli strati fotoattivi su scale delle decine di nanometri, in modo tale che l'eccitone possa facilmente migrare per diffusione ad un'interfaccia, dove possa avvenire un'efficace separazione e trasporto di carica, mantenendo allo stesso tempo un forte assorbimento della radiazione solare lungo lo spessore dei film.

Depositando la molecola organica sopra dei nano-cristalli di ossido di titanio (TiO_2)



Una cella di Grätzel (foto Snsf, Swiss National Science Foundation).

si fa in modo che la coppia di cariche fotogenerate vengano separate molto efficacemente: dopo l'assorbimento del fotone, l'elettrone passa infatti dalla molecola organica al nanocristallo di TiO_2 per poi essere trasportato lungo la matrice di TiO_2 fino ai contatti. La morfologia dello strato di TiO_2 è quella di una spugna nanoporosa, in quanto in questo modo si riesce a caricare tale strato di un'alta concentrazione di molecole di pigmento, aumentando così l'assorbimento della luce solare.

L'elettrolita è necessario per rifornire la molecola dell'elettrone che ha appena perso. Sotto l'azione della luce, vengono generati, in questo modo, un potenziale fotovol-

taico ai capi dei contatti e una corrente quando viene posto un carico elettrico tra i due elettrodi.

Celle dye sensitized

Le celle dye sensitized attualmente più vicine ad una maturazione tecnologica, e quindi ad uno sfruttamento commerciale per applicazione su larghe aree, sono quelle in cui il pigmento è stato sintetizzato attraverso i processi della chimica organica, anche dopo complessi studi di simulazione, con lo scopo di aumentarne il più possibile la fotostabilità nel tempo e l'assorbimento totale dello spettro solare. Efficienze massime del 10%-11% (e.s.)

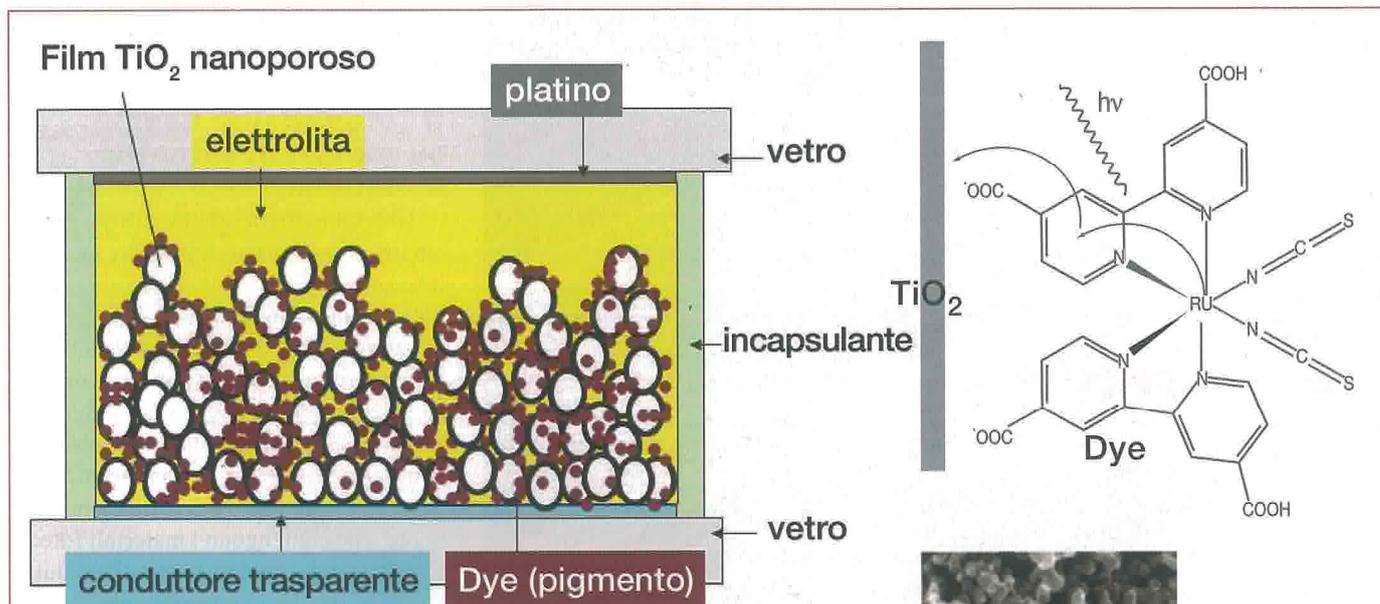
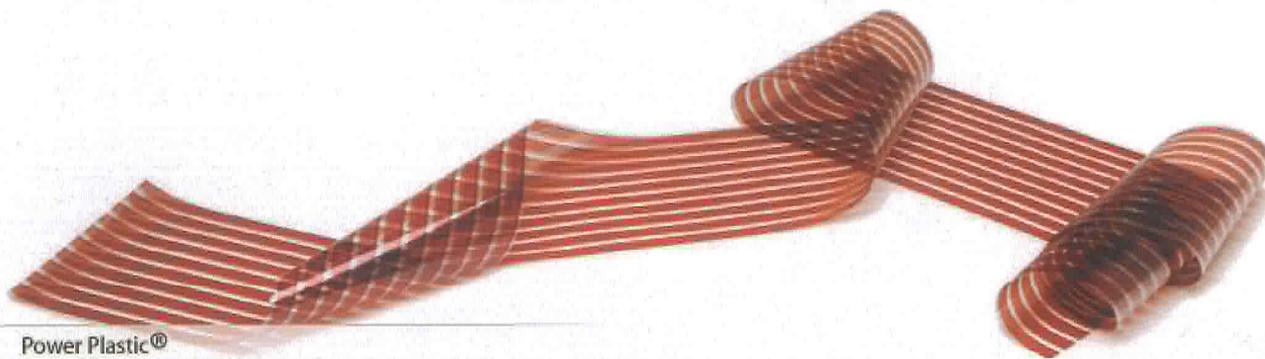


FIGURA 1.

Struttura di una cella di tipo DSSC formata da un substrato di vetro coperto da un elettrodo trasparente su cui viene depositato uno strato nanoporoso di TiO_2 . Su questo viene depositato per immersione uno strato di pigmento (dye) che assorbirà la luce.

La cella viene completata con un altro substrato di vetro conduttivo, inserendo l'elettrolita e sigillando la cella ai bordi. In alto a destra è mostrata una molecola di dye; in basso a destra la morfologia del TiO_2 al microscopio elettronico.



V_{OC} 826mV, J_{SC} = 17mA/cm², FF = 0,72 per una cella di area di 1,31 cm²[4] e tempi di vita di qualche anno sono stati misurati in laboratorio per questo tipo di cella singola. Anche se le condizioni sotto insolazione all'aperto sono più severe rispetto a quelle di laboratorio e le efficienze diminuiscono significativamente passando dalla cella singola ai pannelli su larga area, varie realtà industriali, tra cui la Konarka Technologies, G24 Innovations, DyeSol, Aisin Seki e Sharp stanno investendo risorse nello sviluppo di questo tipo di tecnologia con l'intenzione di una futura commercializzazione.

Efficienze

Le celle fotovoltaiche completamente organiche, sia quelle a "small molecu-

les", che vengono realizzate attraverso un'evaporazione sotto vuoto, sia quelle polimeriche realizzate attraverso deposizione in forma liquida, sono recentemente arrivate attorno al 5%-6% di efficienza record per celle in configurazione tandem prodotte in laboratorio[5-6]. Queste celle sono anche conosciute come "plastiche". Anche in questo caso i dispositivi più efficienti usano una miscela di materiali per far sì che il processo di assorbimento di luce e di separazione di carica sia efficace.

Vantaggi

Il tipo di cella a matrice polimerica è molto interessante in quanto le tecniche di fabbricazione sono molto semplici da attuare. Il grosso vantaggio dei materiali fotovoltaici organici o ibridi in genere

Una cella Power Plastic® di Konarka, società americana con sede nel Massachusetts che sta sviluppando celle solari organiche del tipo dye sensitized (www.konarka.com).

risiede nel fatto che questi possono essere depositati, su larghe aree e a costi molto ridotti, sia attraverso semplici processi di evaporazione sia in soluzione liquida, come veri e propri inchiostri o paste (Figura 2). È possibile quindi usare metodi tipici dell'industria della stampa, tra cui la serigrafia, e applicarli nel campo del solare molecolare, riducendo così gli alti costi di materiale e di processo tipici dell'industria dei semiconduttori inorganici, in cui la purezza e le alte temperature richieste



Semplicità di deposizione materiali e processi produttivi

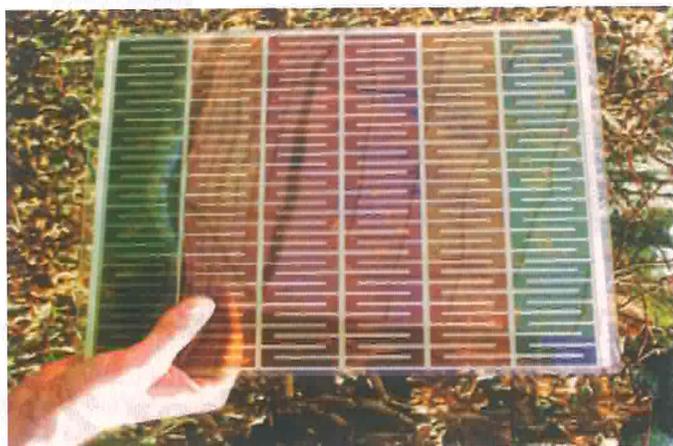


Cella Solare



Potenziale di riduzione costi al m²

FIGURA 2. La possibilità di depositare i materiali fotoattivi in forma di inchiostri o di paste (in alto a sinistra) attraverso metodi di stampa (un esempio in basso a sinistra) nella fabbricazione della cella solare (a destra) dà alla tecnologia delle celle dye sensitized un grosso potenziale per ridurre i costi.



Prototipi di moduli solari di RWE - Schott Solar (sopra) e di Dyesol (a destra).

per la liquefazione, cristallizzazione e drogaggio del silicio provocano dispendio energetico ed economico. I materiali organici o ibridi una volta depositati assumono la forma di pellicola, di spessore compreso tra qualche centinaio di nanometro e decine di micron (i wafer di silicio sono tipicamente spessi 200-300 micron). I processi di fabbricazione impiegati permettono l'integrazione monolitica di diverse celle in un modulo (Figura 3) attraverso la semplice stampa di un numero di celle

connesse in serie su di un singolo substrato (le celle a semiconduttori cristallini vengono invece oggi prodotte singolarmente, fissate su di un supporto e poi connesse in serie successivamente). Essi sono anche estensibili alla produzione di pannelli su larghe aree e su substrati flessibili e compatibili con metodi di produzione a nastro o a rullo.

I nodi da risolvere

L'inconveniente nell'usare un substrato di plastica flessibile piuttosto che un substrato di vetro sta nel fatto che la plastica è in parte permeabile all'ossigeno e al vapore acqueo. Questi, quando vengono a contatto con i materiali usati nella costru-

zione della cella organica, causano un notevole degradamento delle efficienze delle celle solari nel tempo. È quindi necessario portare avanti il difficile sviluppo di incapsulanti che siano allo stesso tempo meccanicamente flessibili, trasparenti ed efficaci. Affinché queste tecnologie fotovoltaiche passino dalla fase prototipale a quella commerciale, gli sforzi di ricerca e sviluppo sono focalizzati nell'augmentarne i tempi di vita e le efficienze su moduli di larga area. Infine si stanno mettendo a punto metodi di fabbricazione industrializzabili per pannelli che siano a basso costo sia a livello di costi capitali che d'esercizio e comparabili con quelli tipici dell'industria della stampa. ■

TABELLA I

Tipologie di celle solari organiche ed ibride con le efficienze record raggiunte nei laboratori internazionali e una breve descrizione dei materiali fotoattivi (escludendo i substrati ed elettrodi) e delle tecniche di deposizione principali.

Tipo	Efficienza max.	Materiali fotoattivi e loro deposizione	Situazione odierna
DSSC	~ 10-11 %	<ul style="list-style-type: none"> Pigmenti organici e metallo-organici, strato di TiO₂ e elettroliti liquidi, gel e solidi. Deposizione in soluzione liquida attraverso vari metodi inclusi quelli di stampa 	Ricerca e sviluppo universitaria e industriale; in costruzione la prima linea pilota per la fabbricazione di moduli.
Polimeriche	~ 5-6 %	<ul style="list-style-type: none"> Polimeri coniugati e derivati dei fullereni. Deposizione attraverso metodi di stampa 	Ricerca e sviluppo universitaria e in alcuni laboratori industriali.
Small Molecules	~ 4-5 %	<ul style="list-style-type: none"> Piccole molecole coniugate e fullereni. Deposizione attraverso evaporazione-sublimazione. 	Ricerca e sviluppo universitaria.

BIBLIOGRAFIA REFERENCES

- [1] B. O'Regan, M. Grätzel, Nature 353 (1991) 737.
- [2] G. Yu, J. Gao, J.C. Hummelen, F. Wudl, A. J. Heeger, Science, 270 (1995) 1789
- [3] J. J. M. Halls, C. A. Walsh, N. C. Greenham, E. A. Marseglia, R. H. Friend, S. C. Moratti, A. B. Holmes, Nature 376 (1995) 498.
- [4] J. M. Kroon et al. Prog. Photovolt: Res. Appl. 15 (2007) 1.
- [5] J. Y. Kim, K. Lee, N. E. Coates, D. Moses, T.-Q. Nguyen, M. Dante, A. J. Heeger, Science 317, (2007) 222.
- [6] J. Xue, S. i Uchida, B. P. Rand, S. R. Forrest, Appl. Phys. Lett. 85 (2004) 5757.

Polo Solare Organico della Regione Lazio - CHOSE
www.chose.it
Dip. Ingegneria Elettronica, Università degli Studi di Roma - Tor Vergata
Via del Politecnico 1, 00133, Roma.