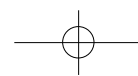
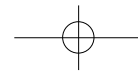


Polimeri per il sole

di Ignazio Licata

Grazie ai nuovi polimeri fotovoltaici è possibile catturare la luce del sole e trasformarla in energia elettrica, utilizzando film sottili con alto rendimento e minimo impatto ambientale.





2

1—6 Le celle di Grätzel sono celle solari a colorante organico, dove il semiconduttore è composto di polimeri ottenuti, ad esempio, da lamponi, mirtilli, more, foglie di limone o spinaci. Questa promettente invenzione simula la fotosintesi clorofilliana per produrre energia elettrica, e si può applicare come una sorta di vernice-plastica su pareti, infissi, parasole e altri materiali, con un notevole vantag-

gio in termini di estetica e ingombro rispetto ai comuni pannelli fotovoltaici. Sebbene i costi di produzione siano abbordabili, la commercializzazione non è prevista prima di una decina d'anni perché non si è ancora raggiunto un livello di efficienza sufficiente.

Crossing disciplinare e disruptive technology

Le cose più interessanti nella scienza avvengono quando la frontiera di una disciplina ne incontra un'altra. In questi casi il punto di intersezione è in genere un problema specifico e ben definito, ma la condivisione della tradizionale "cassetta degli attrezzi" teorici e sperimentali può velocemente svilupparsi e ampliarsi fino ad assumere le caratteristiche di un nuovo campo di ricerca, con un suo stile e una sua metodologia, e arrivare a un livello critico di maturità tale da innescare anche rapide evoluzioni tecnologiche. Questo processo viene indicato con il termine "disruptive technology". La digitalizzazione dei dati o le biotecnologie sono forse tra gli esempi più evidenti di questo tipo di sviluppo scientifico.

La necessità di nuove sorgenti di energia rinnovabile compatibili con le crescenti esigenze della tutela ambientale è all'origine di un'area di attività fortemente interdisciplinare che coinvolge la fisica dei semiconduttori e delle superfici – quella che non troppo tempo fa era indicata dagli studiosi dei "mattoni del mondo" con l'espressione ironica di Murray Gell-Mann "fisica dello stato sordido", per via della complessità dei fenomeni coinvolti –, l'ottica quantistica, la chimica per la sintesi dei composti organici e la biologia molecolare. Quest'ultima ha una posizione particolarmente rilevante, perché per la prima volta nella storia dell'umanità le conoscenze scientifiche sono in grado di lavorare al design tecnologico di nuove strutture ispirandosi direttamente ai modelli naturali, come la fotosintesi clorofilliana.

Le nanotecnologie sono l'ambiente sperimentale dove le nuove soluzioni teoriche affrontano la prova difficile della realizzazione e della produzione tecnologica su larga scala. È in questo scenario d'avanguardia che oggi si sta sviluppando un settore di altissimo interesse scientifico ed

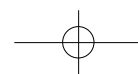
economico per le prospettive che apre sull'era del dopo-petrolio: quello della ricerca sui polimeri fotovoltaici.

Le tre ere del fotovoltaico e il design quantistico

La conversione di energia solare in elettricità utilizzando l'effetto fotovoltaico è ben nota, e i grandi pannelli solari sono ormai familiari nel paesaggio urbano di paesi come la Grecia e la Turchia, che godendo di una forte esposizione alla luce ne hanno fatto un uso intensivo. La prima fase del fotovoltaico, a suo tempo, suscitò subito un forte interesse, ma due critiche decisive hanno fino a oggi limitato la diffusione di questo tipo di tecnologia: l'alto costo del silicio puro rende la realizzazione delle fotocelle poco economica (il fotovoltaico è costoso) e la scarsa efficienza della cella tradizionale nell'assorbire l'energia solare impone l'uso di superfici troppo ampie (il fotovoltaico è ingombrante).

La forza di queste critiche ha cominciato a incrinarsi negli anni settanta con la seconda era del fotovoltaico, centrata sui progressi della microelettronica che hanno ottimizzato rapidamente la progettazione di celle solari ad alta concentrazione e migliorato i parametri produttivi con un rapporto efficienza/costo sempre più vantaggioso. L'evoluzione del fotovoltaico ad alta concentrazione è affidata oggi alle nanotecnologie, fase di punta della ricerca ben rappresentata dall'entusiasmo di Zhores Alferov, Nobel per la fisica nel 2000 e convinto sostenitore di un cambiamento di rotta energetico planetario basato sulle nanotecnologie per il sole.

Per comprendere il ruolo chiave del prefisso "nano" bisogna capire che non si tratta soltanto di un salto di scala (tipicamente tra 1 e 100 nanometri) ma di una vera e propria rivoluzione nella comprensione della materia. La possibilità di manipolare, con estrema precisione, strutture



022 atomiche e molecolari su lunghezze di pochi passi reticolari tra i nuclei atomici in un solido ha richiesto la soluzione di formidabili problemi di fisica quantistica che si presentano quando si lavora con i *quantum dots*, luoghi di intersezione tra i livelli energetici di due semiconduttori diversi. Si tratta in pratica di studiare e controllare le proprietà di “atomi artificiali” che hanno un ruolo chiave nella computazione quantistica e nella realizzazione di stati esotici della materia come il condensato di Bose-Einstein.

Lo “stato sordido” di Gell-Mann si è rivelato un territorio ricco di opportunità e sorprese, trasformando la ricerca in questo campo in un vero e proprio lavoro di design quantistico per la progettazione di nuovi materiali. La nanotecnologia ha permesso di realizzare celle fotovoltaiche a film sottile e alta concentrazione (fino a 500-600 volte superiore a quelle di vecchia generazione) con un balzo nell'efficienza dal 40% a circa l'80% rispetto ai modelli precedenti. Si tratta generalmente di strati di materiale semiconduttore depositato come miscela di gas su supporti come il vetro o l'alluminio, che danno la necessaria “rigidità” alla struttura, con un utilizzo ridotto al minimo di materiale attivo e uno spessore di circa 4-5 micron. Tra le più diffuse ci sono quelle basate su CIS (copper indium diselenide), CGIS (copper indium gallium diselenide, con un'eventuale “S” in più per l'aggiunta di zolfo) e il più recente CdTe (telloruro di cadmio), realizzato sul modello efficientissimo ma costoso dell'arseniuro di gallio (GaAs) utilizzato nelle applicazioni spaziali.

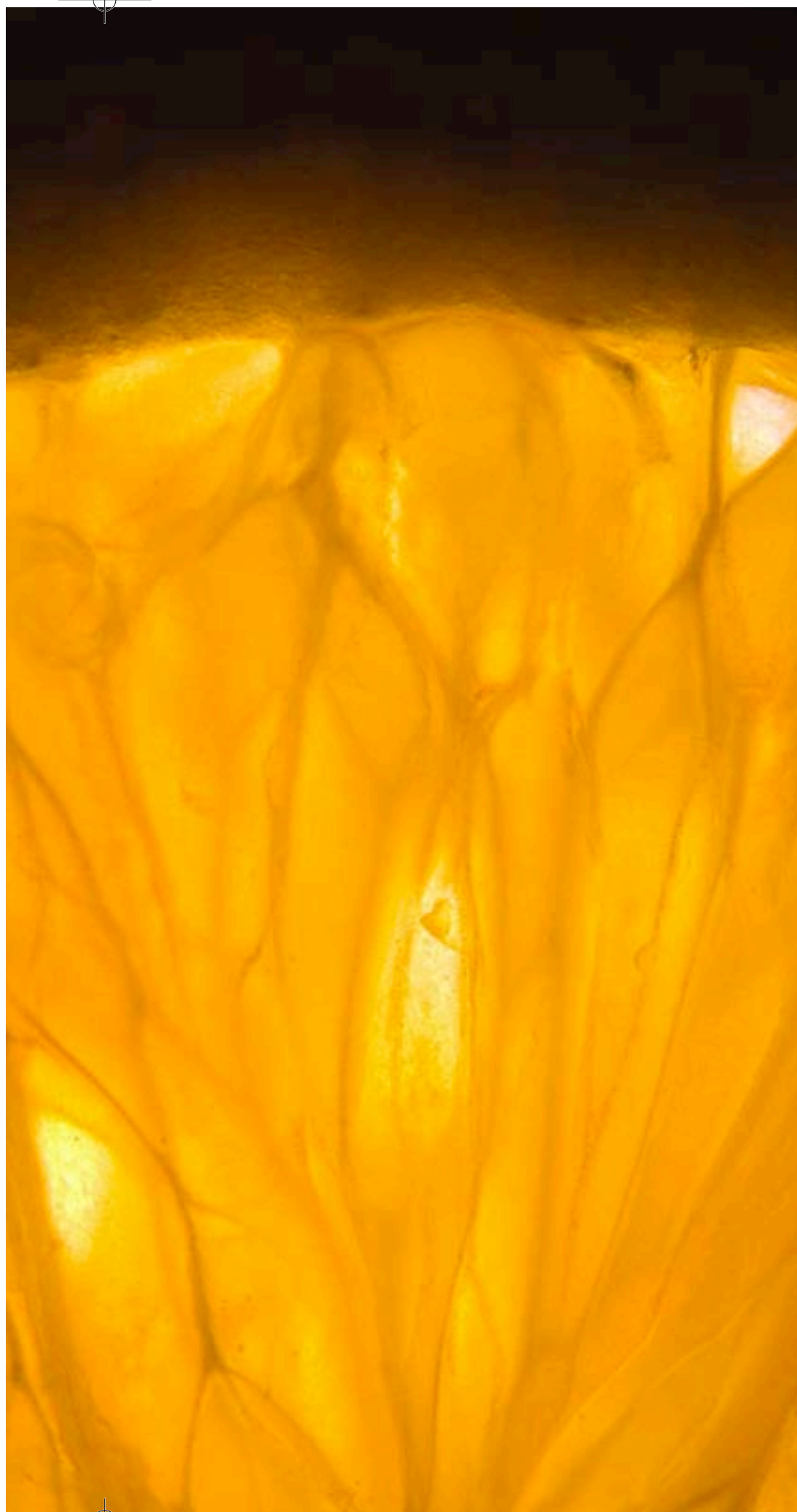
Secondo stime recenti e ampiamente condivise, sopra un'efficienza del 40% i nuovi modelli di cella a film sottile riducono le aree necessarie fino all'1% di quelle attualmente necessarie, e il costo su larga scala di un kilowatt di fotovoltaico può diventare inferiore a quello prodotto con il nucleare o con l'energia termica. Va inoltre

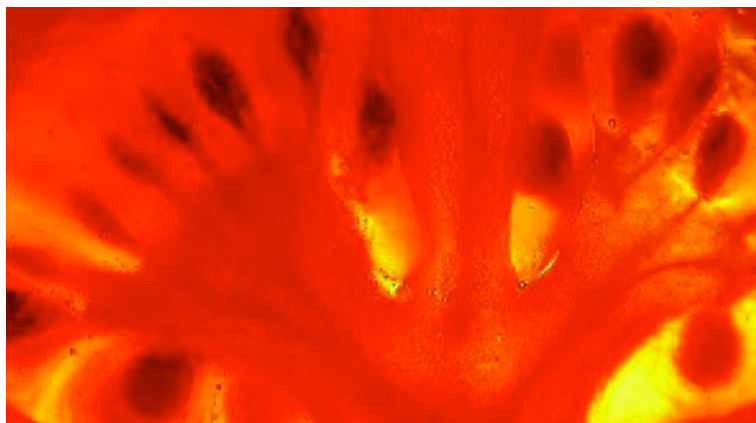
considerato che più di un terzo della popolazione mondiale non ha infrastrutture energetiche centralizzate, e dunque la soluzione fotovoltaica, che per sua natura è “locale” e “diffusa”, potrebbe essere quella su cui puntare. La tecnologia di base per le nanocelle ad alta concentrazione è molto raffinata e resta relativamente costosa. Una nuova possibilità comincia a partire dagli inizi degli anni novanta con la terza era del fotovoltaico: quella dei film a polimeri organici e ibridi organico/inorganico.

Nano e organico: flexible power cells

L'idea centrale è semplice e rivoluzionaria: al posto di un semiconduttore inorganico come il silicio, la cella viene realizzata con polimeri organici o ibridi che possono essere lavorati nelle forme più svariate e trattati come un gel, una vernice o una comune plastica per alimenti, in modo da poter sfruttare i metodi produttivi tipici della serigrafia e dell'industria della stampa tradizionale. Sono casi in cui l'attività dei designer quantistici ha affrontato la sfida più ardua. Un polimero è infatti una macromolecola costituita da un gran numero di piccole molecole connesse tra loro da uno stesso tipo di legame. I polimeri organici nei sistemi viventi (strutture proteiche e polisaccaridi) o sintetici (materie plastiche, nylon, polimeri biocompatibili come i poliacrilati e i poliamminoacidi) sono quanto di più lontano possa esistere dalle strutture cristalline conduttive. In questo caso il problema è di rendere un polimero basato sul carbonio attivo dal punto di vista fotoelettrico, lavorando sull'ibridazione delle caratteristiche quanto-meccaniche della struttura.

Un modello esemplare è la cella DSSC o “di Grätzel”, ideata dal professor Grätzel dell'Istituto di tecnologia dell'Università di Losanna, che trasforma l'energia solare in energia elettrica mediante un processo molto simile alla fotosintesi





4



5



6

024 clorofilliana. Si tratta di due vetrini, con una faccia conduttiva, disposti a sandwich: uno è ricoperto da uno strato di biossido di titanio, sintetizzato e impregnato di un colorante naturale ricavato dai lamponi, l'altro coperto di grafite. Dopo l'assemblaggio della cella, all'interno del sandwich viene inserita una soluzione elettrolitica di ioduro di potassio che permette la formazione di elettroni liberi garantendo la fotoattività della cella. Le variazioni di questo schema sono numerosissime, ma in tutti i casi si utilizza una miscela di materiali - ogni miscela corrisponde a una particolare "ricetta" quantistica - in cui un pigmento assorbe la radiazione solare e gli altri materiali liberano cariche elettriche.

Lo studio della conduttività nei polimeri ha fruttato il Nobel per la chimica nel 2000 ad Alan J. Heeger, Alan G. MacDiarmid e Hideki Shirakawa. Heeger ha istituito un centro di ricerca sui polimeri fotovoltaici presso il Gwangju Institute of science and technology, in Corea del Sud, e con Howar Berke ha fondato la Konarka Technologies, che insieme a Nanosolar, Solarium, Wurth Solar, Hitachi e Sharp è tra le aziende più attive nella ricerca. La Nanosolar è riuscita, contro ogni previsione, a iniziare la produzione in serie del suo film polimerico fotovoltaico alla fine del 2007. Il risultato, esposto al museo della tecnica di San José, in California, è il primo modello commerciale di un materiale rivoluzionario che sta già modificando rapidamente le prospettive tecnologiche non soltanto dell'approvvigionamento energetico ma anche della produzione microelettronica con laptop e cellulari di nuova generazione per il basso costo, la versatilità e l'efficienza. La Konarka ha realizzato una cella solare a polimeri che riduce i costi

dell'80% rispetto al silicio. Il rendimento, attualmente poco al di sotto del 10%, è in continua crescita e, secondo una mappa attendibile, si prevede prestissimo la possibilità di raggiungere il rendimento del silicio, mentre il confronto delle durate è per entrambe le tecnologie intorno ai 20-25 anni.

Il punto di forza dei nuovi polimeri, oltre al costo e alla facilità della produzione in serie, è naturalmente la flessibilità e la facilità di modellazione in materiali semitrasparenti, e dunque una possibilità di implementazione non invasiva, ad esempio con un posizionamento su finestre, vetrate e facciate di edifici a tinte differenti, o trasparenti, con substrati sia rigidi (a base vetrosa) che flessibili (a base plastica e metallica). In più, i polimeri danno buone prestazioni poiché catturano efficacemente frequenze ultraviolette o infrarosse e sono in grado di convertire in elettricità la luce artificiale e funzionano anche con cielo nuvoloso. Esistono già prototipi di case autosufficienti con vetri e mattonelle di plastica semiconduttrice, dove una semplice centralina regola lo scambio di energia con il resto della rete quando la casa è inutilizzata, realizzando così un rapporto "win-win" dove tutti ci guadagnano. Le celle a polimeri fotoattivi sono particolarmente preziose dove l'energia elettrica è costosa o non disponibile attraverso la rete elettrica e l'irradiazione solare è elevata. Come in Sicilia, dove l'irradiazione è la più alta d'Europa (con punte di 1700 chilowattora al metro quadro) e il prezzo dell'elettricità è costantemente superiore a quello del resto del paese, nonostante l'isola esporti ogni giorno parte dell'elettricità generata nelle centrali idro- e termoelettriche.

Una sfida, molte strategie

La complessa sfida dell'energia impone di ridurre l'uso dei combustibili fossili e far fronte al tempo stesso a un fabbisogno mondiale crescente che deve fare i conti con il costo sociale, la sostenibilità ambientale e i risvolti politici. I polimeri semiconduttori sono una risorsa preziosa in grado di far decollare efficacemente il fotovoltaico in linea con gli incentivi dell'Unione Europea ispirati alla ecofilosofia di Kyoto. Ma l'aspetto più complesso della sfida è quello culturale. Si tratta innanzitutto di abbandonare l'idea ingenua della Fonte Unica e Definitiva. In natura come nella ricerca, le soluzioni migliori derivano dalla sinergia tra processi e modelli diversi, ognuno dei quali rappresenta un contributo parziale nel quadro dei fenomeni naturali e della conoscenza. Il problema energetico non fa eccezione, e ogni fonte va valutata in base alla peculiare vocazione energetica dell'area e del contesto di implementazione. Il nucleare richiede impianti e tecnologie complesse su tempi lunghi; gli impianti per l'energia eolica hanno un forte impatto ambientale; le biomasse rischiano di stravolgere l'utilizzo dei terreni e le coltivazioni; la geotermica è inesauribile ma molto costosa. Un obiettivo realistico deve essere dunque quello di sostituire almeno il 50% dei combustibili fossili con un mix di tutte le altre fonti rinnovabili, con distribuzioni variabili in relazione allo specifico problema di approvvigionamento e alle esigenze ambientali. Tutto ciò richiede un nuovo patto tra ricerca, politica e società che sembra oggi più lontano delle soluzioni scientifiche e tecnologiche.

Consigli di lettura

- Capasso F. (2005), *Avventure di un designer quantico*, Di Renzo
- Green M.A. (2003), *Third Generation Photovoltaics. Advanced Solar Energy Conversion*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Pacchioni G. (2007), *Quanto è piccolo il mondo. Sorprese e speranze dalle nanotecnologie*, Zanichelli
- Pagliaro M., Palmisano G. e Ciriminna R. (2008), *Flexible Solar Cells*, Wiley-VCH