

FOTOPOLIMERI PER L'ENERGIA: UNA NUOVA STRATEGIA NEL CAMPO DI CONVERSIONE E STOCCAGGIO DELLE FONTI RINNOVABILI

L'irraggiamento di monomeri reattivi in condizioni blande genera fotopolimeri impiegabili come componenti di celle solari di terza generazione e batterie a ioni litio/sodio. Questa tecnologia sostenibile e a basso impatto migliora la durabilità e la sicurezza di questi dispositivi energetici di largo impiego.

Energia, salute e ambiente sono tre macrosettori fondamentali e strettamente interconnessi, capaci di garantire la sopravvivenza e l'evoluzione del genere umano. Oggi, 2016, il progressivo incremento della popolazione mondiale e la sempre crescente diffusione di elettrodomestici e dispositivi elettronici di vario genere sta portando ad un aumento costante della domanda energetica (≈ 18 TW). In questo contesto, la principale fonte energetica è rappresentata dai combustibili fossili, i quali però sono stati forieri negli anni di pesanti ripercussioni sociali, economiche ed ambientali, nonché peggiorative della salute umana. La comunità scientifica, pertanto, è chiamata oggi a due sfide fondamentali: la vittoria delle attuali sfide mediche (cura del cancro e prevenzione delle malattie cardiovascolari) e la produzione/stoccaggio di energia da fonti rinnovabili [1]. Quest'ultimo punto è oggetto di questo articolo, che mostrerà come una classe emergente di materiali (i fotopolimeri) si stia rivelando estremamente promettente nel campo dell'energia.

È intuitivo dedurre che l'alternativa principale ai combustibili fossili (*in primis* petrolio e carbone) è rappresentata dall'energia solare, la cui conversione in elettricità rappresenterebbe la soluzione ultima alle problematiche energetiche. Questo è ancora più chiaro se si pensa che il Sole è in grado di fornire (ogni giorno) un quantitativo di energia 10.000 volte più grande dell'attuale consumo giornaliero globale dell'uomo [2]. Ciò spiega perché negli ultimi decenni siano state proposte varie tecnologie fotovoltaiche, la maggior parte delle quali però basate su materiali costosi, rari, tossici o richiedenti particolari lavorazioni. Più recentemente, la comunità

scientifica ha virato verso il cosiddetto fotovoltaico di terza generazione, sviluppando - tra gli altri - la cella sensibilizzata con coloranti (Dye-Sensitized Solar Cell, DSSC). La DSSC è un dispositivo costituito da materiali abbondanti (diossido di titanio, coloranti, vetro conduttivo, sali di iodio), trasparente e di facile scalabilità industriale. Il principio di funzionamento è molto semplice: un colorante assorbe la luce solare, acquisendone l'energia necessaria ad iniettare un elettrone in un semiconduttore (TiO_2), il quale lo trasferisce ad un circuito esterno (ad esempio un dispositivo elettronico). In un secondo momento, il colorante recupera l'elettrone perso grazie alla presenza di un mediatore redox disciolto in un solvente (sistema elettrolita a base di sali di iodio o cobalto), che viene a sua volta rigenerato al controlettrodo con una reazione catalizzata da uno strato nanometrico di platino [3]. Nonostante sia in grado di garantire efficienze di conversione della luce solare superiori al 14% [4], il dispositivo DSSC soffre di due importanti problemi connessi alla stabilità a lungo termine: la presenza di un elettrolita liquido (e quindi soggetto all'evaporazione) e di altri componenti organici (quindi soggetti alla cosiddetta "fotodegradazione" sotto

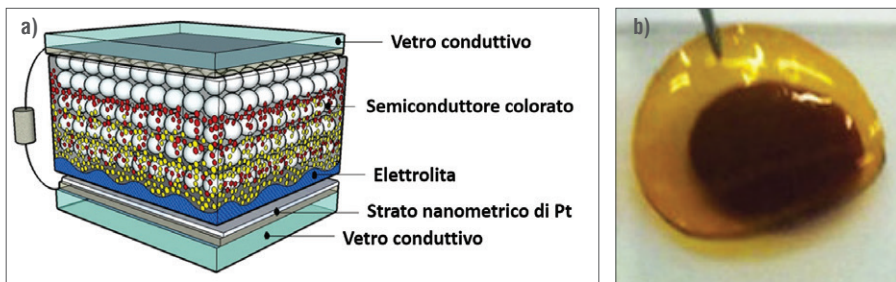


Fig. 1 - a) Schema e componenti di una cella solare DSSC (foto: University of Florida); b) elettrolita fotopolimerizzato e posto sopra ad un elettrodo di TiO_2 colorato con il complesso di rutenio N719



esposizione continuativa alla luce solare) al suo interno. La soluzione proposta al Politecnico di Torino ha riguardato la preparazione di materiali alternativi, basati su polimeri (materiali che vengono spesso impropriamente definiti “materie plastiche”) in grado di risolvere, con successo, entrambi questi problemi, garantendo così al dispositivo DSSC interessanti prospettive di una rapida scalabilità industriale. Più nel dettaglio, l'approccio innovativo introdotto prevede l'utilizzo della polimerizzazione fotoindotta (fotopolimerizzazione) come tecnica per la preparazione dei componenti dei pannelli fotovoltaici. La fotopolimerizzazione è un processo indotto dalla luce ultravioletta (analogo a quello che ciascuno di noi ha sperimentato durante l'otturazione di una carie), di sicura applicabilità industriale ed estremamente rapido (1-3 min.), che richiede poca energia rispetto a processi indotti dalla temperatura, nessun solvente né impianto di purificazione o separazione dei prodotti [5]. L'utilizzo delle tecniche di fotopolimerizzazione nel campo dell'industria fotovoltaica consentirebbe la progettazione di processi ed impianti industriali per la produzione di celle solari di terza generazione estremamente più semplici ed economici rispetto agli attuali.

Grazie all'impiego della fotopolimerizzazione, il gruppo di ricerca del Politecnico di Torino ha sostituito i tradizionali elettroliti liquidi contenuti nei dispositivi DSSC con elettroliti polimerici fotoreticolati (di consistenza analoga a quella di una lente a contatto), non soggetti ad evaporazione e degradazione nel tempo. Inoltre, sempre tramite fotopolimerizzazione, sono stati sviluppati anche rivestimenti esterni, fluoropolimerici e luminescenti, in grado sia di mantenere pulita la cella quando soggetta ad invecchiamento all'aperto (i fluoropolimeri formulati, opportunamente funzionalizzati, permettono infatti l'autopulizia del dispositivo), sia di convertire la luce ultravioletta (presente al 5% nello spettro solare) in luce visibile. Quest'ultimo accorgimento ha permesso non solo di evitare che la luce UV (dannosa oltre che per l'uomo anche per i componenti organici contenuti all'interno delle celle solari) penetrasse la cella, ma anche l'incremento dell'efficienza del dispositivo grazie alla maggiore quantità di fotoni dello spettro visibile incidenti sul colorante della DSSC. La combinazione di questi due materiali fotopolimerizzati (elettrolita e rivestimento esterno) ha permesso la realizzazione di dispositivi con efficienze superiori al 7% e stabilità prossima al 100% dopo un invecchiamento accelerato portato avanti per 1000 h secondo i protocolli standard internazionali [6].

Dunque, cosa manca al fotovoltaico? Un aspetto non trascurabile è che il Sole illumina la Terra in media 8 ore al giorno: anche nel caso riuscissimo a produrre il 100% del fabbisogno energetico grazie ai pannelli fotovoltaici, da dove prenderemmo l'elettricità durante la notte? La soluzione a questo problema è data dagli accumulatori elettrochimici di energia elettrica (ovvero le batterie secondarie o ricaricabili), ma con alcune limitazioni. Occorre infatti escludere le batterie basate su elementi tossici (quali quelle al piombo), ma anche, forse, fare a meno di quelle leggere e funzionali come quelle agli ioni di litio. Infatti, l'incremento esponenziale del numero di smartphones, tablets e computer portatili ha fatto recentemente impennare il costo del litio e non sarebbe quindi conveniente fabbricare grossi (e costosi) pacchi batterie per stoccare l'elettricità generata da fonti rinnovabili basati su questo elemento, per lo meno tenendo conto delle attuali caratteristiche di energia e potenza. In questo contesto, il GAME-Lab (Group of Applied Materials and Electrochemistry, coordinato dal Prof. Claudio Gerbaldi) al Politecnico di Torino ha recentemente introdotto una linea di ricerca focalizzata



Fig. 2 - Installazione di un pacco batterie a ioni di sodio sul retro di una fattoria americana. Queste batterie immagazzinano l'elettricità prodotta dalle pale eoliche poste sul perimetro della fattoria. Foto: CNET

sulle batterie al sodio [7]. Il sodio è un elemento estremamente abbondante (NaCl, cloruro di sodio, è il comune sale da cucina), nonché geograficamente distribuito in maniera omogenea (basti pensare alla distruzione dell'acqua di mare) e con proprietà elettrochimiche simili a quelle del litio.

La ricerca condotta al Politecnico di Torino ha portato alla realizzazione di batterie al sodio in grado di agire come efficaci strumenti di stoccaggio dell'elettricità prodotta dai pannelli fotovoltaici di terza generazione. Un pacco di batterie a ioni di sodio può essere collocato sul retro di un'unità abitativa (oppure in cantina, in garage o in una dependance) e, durante la notte, può mantenere l'alimentazione di dispositivi elettronici ed elettrodomestici presenti nelle case. Attualmente, questa tecnologia presenta due limiti: il sodio ha un volume atomico maggiore rispetto al litio e la batteria contiene un elettrolita liquido infiammabile. Per quanto riguarda il primo limite, esso non costituisce un problema rilevante, in quanto non si ha la necessità di avere dispositivi sottili o leggeri (come nel caso degli smartphones); infatti, i pacchi batterie possono tranquillamente essere collocati anche all'aperto sul retro delle abitazioni, senza particolari limitazioni di spazio. Per quanto riguarda invece la presenza di un elettrolita infiammabile e volatile, il gruppo di ricerca del Politecnico di Torino ha adottato nuovamente la fotopolimerizzazione per preparare elettroliti a matrice polimerica allo stato solido. Brevemente, un reticolo polimerico tridimensionale (generato sempre per irraggiamento dei precursori con luce ultravioletta in meno di un minuto) permette il trasferimento di ioni sodio tra i poli della batteria [8]. Questo materiale non è soggetto a fenomeni di evaporazione, infiammabilità e non presenta particolari aspetti di tossicità, garantendo di conseguenza estrema sicurezza ed ecocompatibilità.

Parallelamente al miglioramento delle prestazioni dei dispositivi esistenti, la comunità scientifica sta anche proponendo la loro integrazione. Anche in questo campo, la polimerizzazione fotoindotta si sta rivelando un'utile tecnologia per la realizzazione di componenti leggeri e multifunzionali. Un esempio di spicco è rappresentato dai dispositivi fotoelettrocromici, ovvero finestre di varie dimensioni in grado di cambiare il proprio colore a seguito (ad esempio) dell'inserzione di ioni litio



Vincitore Premio Sapio Junior 2015

Federico Bella conduce la sua attività di ricerca al Politecnico di Torino, dopo aver conseguito il Dottorato in Dispositivi Elettronici all'Istituto Italiano di Tecnologia (2015) e la Laurea in Chimica Industriale all'Università di Torino (2011). Opera nel campo della chimica dei materiali per l'energia e ha trascorso periodi di ricerca presso l'Universitat Politècnica de València (2011), la National University of Malaysia (2013) e l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (2015). È il Coordinatore del Gruppo Giovani della Società Chimica Italiana e docente di

Chimica Generale nei corsi di Scienze Biologiche (UniTO), Agraria (UniTO) e Ingegneria (PoliTO). Nell'ultimo anno ha vinto il premio per la miglior tesi di Dottorato in Elettrochimica, il premio ENERCHEM come miglior ricercatore giovane nel campo delle energie rinnovabili e il Premio Sapio Junior per la ricerca e l'innovazione. Federico Bella è autore di 40 pubblicazioni su riviste internazionali, 80 contributi in atti di convegno, 3 capitoli di libri e 1 brevetto internazionale.

in un elettrodo a base di ossido di tungsteno. Mentre nelle celle elettrocromiche tradizionali è necessario un circuito di alimentazione per produrre l'effetto cromatico, il dispositivo fotoelettrocromico contiene una piccola unità DSSC integrata nell'elettrodo frontale in grado di convertire la luce solare e produrre gli elettroni necessari al funzionamento della finestra. In un recente lavoro del Politecnico di Torino, in collaborazione con il Politecnico di Milano, l'Università di Patrasco e il Politecnico Federale di Losanna, la durabilità delle finestre fotoelettrocromiche è stata incrementata mediante l'impiego di un fotopolimero metacrilico con lunghe catene etossiliche in grado di permettere il movimento sia degli ioni alla base del funzionamento della DSSC, sia di quelli utili alla variazione cromatica dell'ossido di tungsteno. Inoltre, un secondo fotopolimero (questa volta a matrice fluorurata) è stato depositato sul lato esterno della finestra con l'obiettivo di ottenere una superficie idrofobica ed autopulente [9]. In uno studio di invecchiamento condotto per diversi mesi in condizioni accelerate, la finestra fotoelettrocromica a base di fotopolimeri ha mantenuto intatte le proprie funzionalità, il che la rende perfettamente idonea all'integrazione in edifici o autoveicoli. Dal punto di vista sociale e della sostenibilità ambientale, questi materiali (i fotopolimeri) consentirebbero finalmente la diffusione dei dispositivi fotovoltaici (e relativi pacchi batteria) per abitazioni, uffici ed industrie, senza essere inficiati da questioni economiche e di impatto ambientale tipiche delle tecnologie esistenti. L'Orizzonte 2020 (Horizon 2020) dell'Europa impone un lavoro attento e mirato da parte della comunità scientifica verso l'incremento della produzione di energia da fonti rinnovabili e la riduzione delle emissioni di anidride carbonica. In questo contesto, la tecnologia dei fotopolimeri si dimostra un'eccellente strumento per la realizzazione di sistemi di conversione ed accumulo dell'energia solare mediante materiali innovativi e processi rapidi, a basso impatto, economici e sostenibili.

BIBLIOGRAFIA

- [1] N. Armaroli *et al.*, *Chem. Eur. J.*, 2016, **22**, 32.
- [2] M. Grätzel *et al.*, *Nature*, 2001, **414**, 338.
- [3] A. Hagfeldt *et al.*, *Chem. Rev.*, 2010, **110**, 6595.
- [4] K. Kakiage *et al.*, *Chem. Commun.*, 2015, **51**, 15894.
- [5] F. Bella *et al.*, *J. Photochem. Photobiol., C*, 2013, **16**, 1.
- [6] G. Griffini *et al.*, *Adv. Energy Mater.*, 2015, **5**, 1401312.
- [7] F. Colò *et al.*, *Electrochim. Acta*, 2015, **174**, 185.
- [8] F. Bella *et al.*, *ChemSusChem*, 2015, **8**, 3668.
- [9] F. Bella *et al.*, *Adv. Funct. Mater.*, 2016, **26**, 1127.

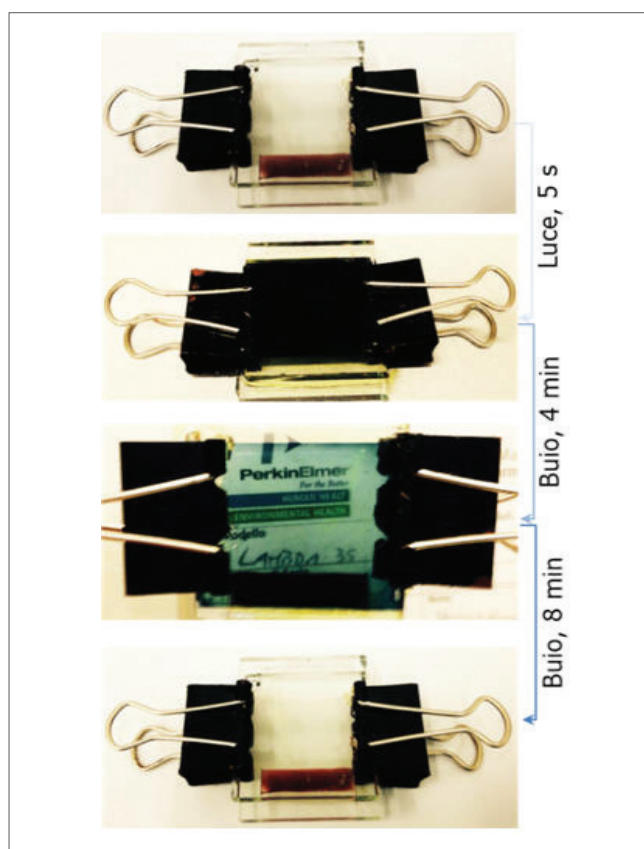


Fig. 3 - Transizioni cromatiche di un dispositivo fotoelettrocromico a seguito di periodi di irraggiamento e buio. La porzione rettangolare in basso, di colore rossastro, rappresenta l'unità DSSC che alimenta l'unità elettrocromica

Photopolymers for Energy: an Emerging Trend in the Energy Conversion and Storage Field

Light irradiation of reactive monomers generates photopolymers that can be exploited as components for third-generation solar cells and lithium/sodium-ion batteries. This emerging and sustainable technology improves durability and safety of these widely-used energy devices.