

La scienza si fa sempre più 'nano'

Il campo della green innovation è tra quelli che maggiormente possono sfruttare le peculiarità delle nanotecnologie e in particolare il settore energia può trarre notevoli vantaggi dalle loro applicazioni

Si sta ampiamente avverando la profezia del celebre scienziato statunitense Richard Feynman, premio Nobel per la fisica 1965 che, intervenendo al Convegno Annuale della American Physical Society nel dicembre 1959, aveva fatto la storica affermazione: "There is plenty of room at the bottom" ovvero "C'è un sacco di spazio laggiù"; e aveva documentato la sua tesi sostenendo che "Non c'è nulla nelle leggi della fisica che impedisca di rendere gli elementi di un computer più piccoli di quanto lo sono ora" e che, più in generale, dal mondo dell'ultra-microscopico potevano arrivare grandi cambiamenti a livello macroscopico.

Quella conferenza viene comunemente indicata come l'evento che segna la nascita delle nanoscienze e delle nanotecnologie, cioè della scoperta e della colonizzazione di quel mondo situato alle dimensioni comprese tra 1 e 100 nm, nel quale sono fioriti e continuano a moltiplicarsi una grande quantità di nanomateriali, definiti (secondo la Raccomandazione della Commissione Europea del 18/10/2011) come quelli contenenti nanoparticelle allo stato libero, aggregato o agglomerato e in cui, per almeno il 50% della distribuzione dimensionale numerica, una o più dimensioni esterne sono comprese tra 1 e 100 nm. Le particolari caratteristiche e le innovative proprietà ottiche, meccaniche, elettriche, catalitiche dei nanomateriali ne hanno reso molto vantaggioso l'utilizzo in una grande varietà di applicazioni, quali ad esempio: sensori di gas,

catalizzatori, celle a combustibile, dispositivi biomedicali, utensili da taglio e altri ancora. Dall'inizio del XXI secolo le nanotecnologie si sono sviluppate in modo esponenziale; secondo una proiezione dell'ILO (International Labour Organization), entro il 2020 il 20% circa di tutti i prodotti fabbricati nel mondo impiegheranno una certa quota di nanotecnologie.

Il campo della green innovation è tra quelli che maggiormente possono sfruttare le peculiarità delle nanotecnologie e in particolare il settore energia può trarre notevoli vantaggi dalle loro applicazioni. Le nanotecnologie si presentano come risorsa preziosa per l'aumento dell'efficienza energetica in tutti i settori industriali e per gli utilizzi economici della produzione di energia rinnovabile attraverso nuove soluzioni tecnologiche e tecnologie di produzione ottimizzate. Le innovazioni derivanti dalle nanotecnologie possono incidere su tutta la filiera energetica: sulle fonti di energia, sui processi di conversione, sulla distribuzione, sullo stoccaggio e sui consumi.

Le fonti di energia

Le nanotecnologie consentono miglioramenti di grande rilievo nell'utilizzo delle fonti energetiche convenzionali. Basterà citare due esempi. Uno è quello delle sonde perforanti impiegate per lo sfruttamento dei giacimenti petroliferi e di gas naturale e per lo sviluppo dell'energia geotermica: il ricorso a sonde con rivestimenti in nanomateriali consente di ottimizzare la durata e l'efficienza dei sistemi di prelievo e quindi di risparmiare costi. Un altro esempio è quello dei nanomateriali ad alto rendimento utilizzabili sia per rendere più leggere e più robuste le lame dei rotor dei generatori eolici e degli impianti per sfruttare l'energia delle maree, sia negli strati di protezione contro l'usura e la corrosione di componenti meccanicamente sollecitati (cuscinetti, scatole del cambio, ingranaggi ecc.).

È però nel campo delle rinnovabili che le nanotecnologie potranno giocare il loro ruolo principale. Si pensi anzitutto all'uso intensivo dell'energia solare attraverso i sistemi fotovoltaici: è ormai assodato che le nanotecnologie possono aumentare in maniera sostanziale la capacità di assorbimento delle celle solari sostituendo il silicio cristallino con silicio nanostrutturato. Le celle solari, come è noto, generano energia elettrica grazie all'effetto fotoelettrico: il materiale delle celle assorbe la luce solare e conseguentemente emette elettroni. Nel fotovoltaico di prima generazione questo processo di conversione impiegava come materiale attivo il silicio cristallino da 150-

300 nm di spessore; nella seconda generazione sono state le celle a film sottile a consentire una riduzione dei costi e a introdurre la flessibilità meccanica. Ora, nella terza generazione, sono le nanotecnologie a costituire il fattore innovativo: nelle celle a colorante (Dssc, Dye Sensitized Solar Cell) sono le molecole di colorante ad assorbire i fotoni della luce solare e a produrre elettroni che poi vengono trasportati attraverso nanoparticelle di Ossido di Titanio (TiO_2). Tuttavia la lavorazione a temperature elevate necessaria per il titanio non era compatibile con i metodi di fabbricazione a basso costo e l'utilizzo di coloranti di solito impedisce lo sfruttamento solare pancromatico. Le ricerche si sono allora indirizzate verso nuovi materiali e architetture per produrre celle solari adeguate a queste sfide. Importanti risultati sono stati ottenuti con il progetto europeo Nanomatcell (Novel environmentally friendly solution processed nanomaterials for panchromatic solar cells). Usando nanomateriali abbondanti e/o non tossici, il semiconduttore ha raggiunto un'ottima banda proibita e un coefficiente di assorbimento molto elevato per sfruttare la massima quantità possibile di luce solare; sono state sviluppate nuove strategie per la sintesi, la crescita e il drogaggio di nanocristalli, nanofili e perovskiti semiconduttori. Queste includevano una nuova via verso nanocristalli semiconduttori colloidali rispettosi dell'ambiente con bande proibite regolate e coefficienti di assorbimento molto elevati. La progettazione dei materiali in perovskite è stata ottimizzata usando materiali con fori e accettori di elettroni appositamente sviluppati. Sono anche stati sviluppati nuovi coloranti per le lunghezze d'onda corte e per un migliore assorbimento nella gamma del vicino infrarosso, al fine di sfruttare una porzione più ampia dello spettro. Sono state sviluppate celle solari a punti quantici colloidali con prestazioni record e fotostabilità eccezionale. Inoltre, è stata mostrata la prima cella solare PbS QD ad efficienza elevata (9,6%) e altamente fotostabile. Il record di prestazioni delle celle solari di perovskite raggiunto (20%) ha posto l'UE tra i leader in questo ambito di ricerca. E le ricerche sono proseguite portando a nuovi traguardi grazie all'applicazione del grafene e dei punti quantici e alla combinazione di queste due tecnologie.

Altri tipi di energia rinnovabile stanno traendo beneficio dall'impiego dei nanofluidi, cioè quelle sospensioni di particelle nanometriche in un fluido base che, grazie alle nanoparticelle, acquista eccezionali proprietà di assorbimento ottico. È il caso del solare termico, dove il fluido utilizzato nei collettori solari (tipicamente acqua) può essere sostituito con un nanofluido; o anche del geotermico, dove i nanofluidi posso-

no incrementare le caratteristiche di inerzia termica dei fluidi utilizzati nell'estrazione geotermica.

La conversione di energia

La conversione delle fonti di energia primaria in elettricità, calore ed energia cinetica richiede la massima efficienza, sia per ragioni economiche sia per ridurre gli impatti ambientali. Tuttavia, maggiori efficienze nelle centrali elettriche richiedono temperature operative più elevate e quindi materiali, soprattutto per le turbine, più resistenti al calore. Ecco allora che la ricopertura delle pale delle turbine con strati di protezione termica e anticorrosiva su scala nanometrica può produrre sensibili miglioramenti dell'efficienza consentendo di operare a temperature più elevate.

Il rendimento energetico derivante dalla conversione dell'energia chimica attraverso le celle a combustibile può essere potenziato da elettrodi, catalizzatori e membrane nanostrutturate, il che si traduce in possibilità di applicazione economica in automobili, edifici e nel funzionamento dell'elettronica mobile. La conversione dell'energia termoelettrica sembra essere relativamente promettente. I semiconduttori nanostrutturati, con progettazione dello strato limite ottimizzato, contribuiscono ad aumentare l'efficienza che potrebbe aprire la strada a un'ampia applicazione nell'utilizzo del calore di scarto, ad esempio nelle automobili, o anche nel calore del corpo umano per l'elettronica indossabile nei tessuti.

Abbiamo già accennato alle proprietà dei nanofluidi. Recenti sviluppi nelle nanotecnologie ne suggeriscono l'impiego in collettori solari ad assorbimento diretto, in cui la conversione dell'energia solare in energia termica del fluido di lavoro può essere più efficace e il rendimento termico maggiore rispetto ai collettori solari tradizionali. Infatti, in questi collettori, la radiazione solare è direttamente assorbita dal volume del fluido e non da un particolare rivestimento di una superficie metallica.

La distribuzione di energia

Per quanto riguarda la riduzione delle perdite di energia nella trasmissione attuale, è possibile pensare che la straordinaria conduttività elettrica di nanomateriali come i nanotubi di carbonio possa essere utilizzata per l'applicazione nei cavi elettrici e nelle linee elettriche. Inoltre, esistono approcci nanotecnologici per l'ottimizzazione dei materiali superconduttori per la conduzione di corrente senza perdita di dati.

Sul più lungo termine, ci sono prospettive per il trasporto di energia wireless, ad esempio attraverso laser, microonde o risonanza elettromagnetica. La futura distribuzione di energia richiederà sistemi di alimentazione che forniscano una gestione dinamica del carico e dei guasti, una fornitura di energia basata sulla domanda con meccanismi di prezzi flessibili e la possibilità di alimentare attraverso una serie di fonti di energia rinnovabile decentralizzate.

Le nanotecnologie possono contribuire in modo decisivo alla realizzazione di questa visione attraverso dispositivi nano-sensoriali e componenti elettroniche di potenza in grado di far fronte al controllo di tali reti.

Lo stoccaggio di energia

Le membrane nano-ottimizzate possono estendere l'ambito delle possibilità di separazione e stoccaggio a zero climatico

del biossido di carbonio per la produzione di energia nelle centrali a carbone, al fine di rendere più rispettoso dell'ambiente questo metodo di generazione di energia, ancora così diffuso in molti Paesi nonostante i ricorrenti appelli e i programmi di decarbonizzazione.

L'utilizzo delle nanotecnologie per il potenziamento dei sistemi di accumulo di energia elettrica, come le batterie e i super-condensatori, risulta decisamente promettente. A causa dell'alta tensione delle celle e della straordinaria energia e densità di potenza, la tecnologia agli ioni di litio è considerata la variante più promettente di immagazzinamento dell'energia elettrica.

Le attuali batterie agli ioni di litio hanno elettrodi in carbonio, di solito in grafite: a ogni ciclo di carica gli ioni di litio penetrano tra gli strati di grafite che può immagazzinarli efficientemente. Purtroppo, però, questo processo ciclo dopo ciclo tende a distruggere la grafite. Ecco allora che possono intervenire le nanotecnologie, con quello che è il materiale principe, superstar indiscussa di questi anni: il grafene. La sua elevata area superficiale - fino a 2.600 metri quadri per un singolo grammo - gli permette di resistere meglio, a differenza della grafite, all'intercalazione degli ioni in una batteria; la sua flessibilità e l'elevata conducibilità elettrica lo rendono un materiale promettente per creare nuove batterie e supercapacitori per alimentare automobili ibride, cellulari di lunga durata o dispositivi flessibili.

Le nanotecnologie possono migliorare in modo decisivo la capacità e la sicurezza delle batterie agli ioni di litio anche attraverso nuovi separatori ceramici, resistenti al calore e flessibili e materiali per elettrodi ad alte prestazioni.

A lungo termine, anche l'idrogeno sembra essere un promettente magazzino di energia per l'approvvigionamento energetico rispettoso dell'ambiente. Oltre alle necessarie regolazioni della nanostruttura, lo stoccaggio efficiente dell'idrogeno è considerato uno dei fattori critici di successo sulla strada verso una sua possibile gestione. Diversi tipi di nanomateriali possono essere adatti per lo stoccaggio dell'idrogeno.

Secondo uno studio condotto dai ricercatori dell'Università Rutgers-New Brunswick, minuscole nanoparticelle d'oro a forma di stella, rivestite da un semiconduttore (il biossido di titanio), possono produrre idrogeno dall'acqua in modo quattro volte più efficiente rispetto ai precedenti sistemi. I ricercatori statunitensi si sono concentrati sulla fotocatalisi nella produzione di idrogeno, processo che in genere grazie alla luce del sole rende più veloci o più economiche le reazioni. Il biossido di titanio

illuminato dalla luce ultravioletta è spesso utilizzato come catalizzatore, ma l'utilizzo di luce ultravioletta è inefficiente. I ricercatori hanno dunque utilizzato il nuovo materiale al posto della luce ultravioletta, sfruttando l'energia della luce visibile e infrarossa per eccitare gli elettroni delle nanoparticelle d'oro. Aprendo la strada a un migliore utilizzo dell'idrogeno per immagazzinare energia solare.

Il discorso dell'idrogeno porta subito a quello delle celle a combustibile, dove continuano i progressi e si avvicina il momento di una loro ampia diffusione; con le nanotecnologie come protagoniste principali e con importanti centri di ricerca e università coinvolti in partnership internazionali. Come nel caso della collaborazione tra Sissa, CNR-IOM e Sincrotrone Elettra di Trieste ai quali si sono aggiunte le Università di Barcellona, Erlangen-Nürnberg e Praga: insieme hanno messo a punto una descrizione puntuale di come controllare la carica elettrica delle nanoparticelle di platino, un catalizzatore importante nelle celle a combustibile, per ottenere la massima efficienza nel processo. Nel campo delle rinnovabili i catalizzatori sono fondamentali e gli sforzi della ricerca sono indirizzati a massimizzarne l'efficienza. Fra le caratteristiche che mediano l'efficienza catalitica di una nanoparticella c'è la sua carica elettrica, che è difficile da quantificare in sistemi tecnologicamente rilevanti, dove le particelle interagiscono con le superfici di altri materiali. Per questi catalizzatori non c'era una misura ben definita che ora invece è possibile grazie a questa ricerca, finanziata dal progetto europeo ChipCAT, che ha stabilito delle linee guida per controllare la carica delle nanoparticelle e per ottenere catalizzatori di massima efficienza.

Sempre sul tema delle celle a combustibile, in particolare per quanto riguarda il loro funzionamento nei dispositivi elettronici portatili, ci sono diversi nanomateriali, tra l'altro basati su composti metallo-organici nanoporosi, che sembrano promettenti ed economicamente realizzabili.

Restando nel campo dello stoccaggio, stanno assumendo importanza crescente le soluzioni per l'accumulo di energia termica. La richiesta di energia negli edifici, ad esempio, può essere significativamente ridotta utilizzando materiali a cambiamento di fase come i depositi di calore latente. Interessanti da un punto di vista economico sono anche i depositi di adsorbimento basati su materiali nanoporosi come le zeoliti, che potrebbero essere applicati come depositi di calore nelle reti di teleriscaldamento o nell'industria. L'adsorbimento di acqua nella zeolite consente lo stoccaggio reversibile e il rilascio di calore.

Il consumo di energia

Infine i consumi e quindi le applicazioni che più possono impattare sulla quotidianità di tutti, aziende, istituzioni e singoli cittadini. Il tema dominante qui è quello del risparmio energetico e le nanotecnologie offrono una molteplicità di approcci e di soluzioni. Consideriamo alcuni ambiti applicativi.

Nell'automotive si possono ottenere riduzione del consumo di carburante attraverso materiali da costruzione leggeri sulla base di nanocompositi; si può realizzare un'ottimizzazione della combustione del carburante attraverso componenti del motore più resistenti all'usura e più leggeri e con

l'ausilio di additivi per carburanti nanoparticolari; si possono anche applicare nanoparticelle a pneumatici ottimizzati per offrire bassa resistenza al rotolamento.

Nella produzione industriale, notevoli risparmi energetici sono realizzabili attraverso nanostrati tribologici per componenti meccanici in impianti e macchine.

Nell'edilizia le nanotecnologie offrono grandi potenzialità di risparmio energetico. Abbiamo già menzionato i sistemi di accumulo termico e vale la pena ricordare il possibile utilizzo di materiali isolanti termici nanoporosi applicabili in modo adeguato alla riabilitazione energetica di vecchi edifici. In generale, il controllo del flusso di luce e di calore da parte di componenti nanotecnologici, come per esempio gli occhiali commutabili, è un approccio promettente per ridurre il consumo energetico negli edifici.

Concludiamo ricordando i risultati di una ricerca italoamericana, condotta da scienziati del Dipartimento di Scienza dei Materiali dell'Università di Milano Bicocca e del Los Alamos National Laboratory, che ha aperto una nuova finestra per l'uso dell'energia fotovoltaica. È stato realizzato un nuovo tipo di dispositivi fotonici denominati concentratori solari: sono

dispositivi costituiti da nanoparticelle disperse per esempio nel plexiglass e sono in grado di raccogliere la luce e concentrarla, indirizzandola dove si vuole. Solitamente particelle del genere assorbono la luce solare, la riemettono in una certa direzione, ma poi tendono a riassorbirla; così nel giro di pochi centimetri tutta la luce viene riassorbita dalle particelle che si trovano lungo il percorso. Invece il nuovo materiale messo a punto in Bicocca cattura una frazione di raggi solari, li devia e li fa viaggiare in una direzione stabilita per 50 centimetri o più prima di essere raccolti da una cella fotovoltaica; il materiale però resta trasparente alla luce rimessa e continua a servire come fonte di luce per l'interno dell'edificio, mentre i fotoni spediti altrove servono alla produzione di energia. Da tempo erano in corso ricerche sui concentratori solari: i risultati raggiunti da questo gruppo sono stati determinati dall'aver trovato la giusta lunghezza d'onda e dall'aver creato nanoparticelle composte da due materiali diversi e con proprietà differenti incapsulati uno dentro l'altro.

Sono ormai passate alla cronaca come le 'finestre fotovoltaiche' e sono indistinguibili da una normale finestra; possono però convertire in elettricità intorno al 5% della luce solare incidente, con un costo certamente più elevato di quello delle solite vetrate ma non di molto. Nel frattempo sono salite più volte sul podio dell'innovazione conquistando nel 2016 un premio agli R&D 100 Awards, una specie di Oscar dell'innovazione, e vincendo nel 2017 il Premio Gaetano Marzotto.