

Padova, 8 agosto 2018

DALLE ALGHE IL SEGRETO PER TRASFERIRE L'ENERGIA IN MANIERA EFFICIENTE E VELOCE

Pubblicata su «Nature Communications» [la ricerca](#) di Elisabetta Collini dell'Università di Padova: le leggi probabilistiche della meccanica quantistica spiegano la delocalizzazione dell'energia

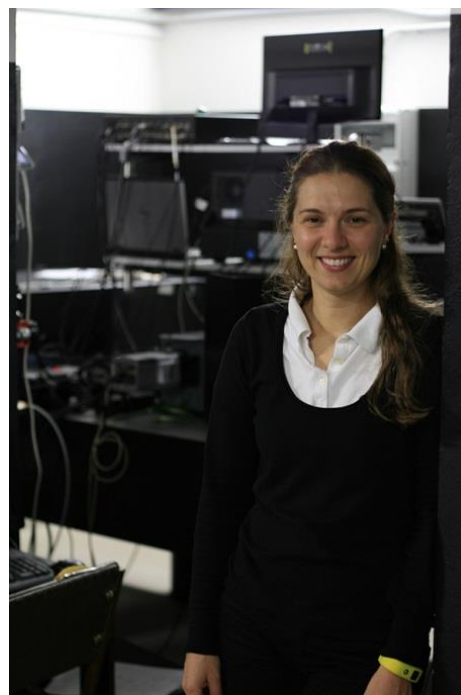
Il trasferimento di energia in materiali molecolari è uno dei processi foto-fisici (cioè indotti dall'interazione con la luce) più studiati dalla comunità scientifica perché è alla base di molti meccanismi naturali e industriali. Nella fotosintesi un ruolo fondamentale è rivestito dai cosiddetti “complessi antenna”, proteine che assorbono la luce e trasferiscono la risultante energia di eccitazione ad altre proteine (i centri di reazione) dove essa è utilizzata per generare metaboliti fondamentali per la vita. Allo stesso modo in un dispositivo fotovoltaico si ha assorbimento di energia luminosa e un suo efficace trasferimento in punti dove può essere convertita in energia elettrica. Data la straordinaria efficienza con la quale il trasferimento di energia avviene in natura è naturale guardare ad esso come fonte di ispirazione per il design di materiali artificiali.

Nonostante molti dettagli del processo di trasferimento di energia nei “complessi antenna” siano noti, alcuni **aspetti più sottili, ma cruciali, del meccanismo di trasporto sono ancora sconosciuti, soprattutto quelli nelle scale dei tempi ultraveloci**, cioè con velocità dell'ordine di milionesimi di miliardesimi di secondo (femtosecondi). Qui le leggi della fisica classica possono perdere di validità, mentre quelle probabilistiche della meccanica quantistica diventano rilevanti, aprendo scenari completamente nuovi per l'interpretazione dei processi biologici e artificiali.

La pubblicazione dell'articolo **[“Coherence in carotenoid-to-chlorophyll energy transfer”](#)** su «Nature Communications» di **Elisabetta Collini** del Dipartimento di Scienze Chimiche dell'Università di Padova **dimostra sperimentalmente per la prima volta** come le leggi probabilistiche della meccanica quantistica siano quelle che regolano il trasferimento dell'energia e abbiano rilevanza nelle funzioni biologiche.

Utilizzando una tecnica spettroscopica avanzata in grado di fornire i primi dati sperimentali diretti sulla presenza di tali effetti quantistici, grazie al *photon echo* bidimensionale appositamente realizzato nei laboratori del Dipartimento di Scienze Chimiche dell'Università di Padova, **il team di ricerca ha studiato i trasferimenti di energia all'interno del “complesso antenna PCP”** (peridin-chlorophyll-protein noto per il suo alto contenuto di carotenoidi), responsabile dell'assorbimento di luce in alghe microscopiche (dinoflagellati).

I carotenoidi assorbono la luce assumendo colorazioni arancioni-rosse e nella fotosintesi hanno funzioni di fotoprotezione, cioè impediscono che, in eccesso di luce, si formino i radicali liberi dell'ossigeno che potrebbero danneggiare il fotosistema. **Nel caso della PCP possono funzionare anche come cromofori assorbitori di energia.** Mentre la maggior parte degli organismi fotosintetici utilizza



molecole di clorofilla come principali assorbitori di luce (da cui la tipica colorazione verde), la PCP utilizza invece principalmente molecole di peridininina. Questo carotenoide le permette di assorbire luce in una regione spettrale dove i sistemi a base di clorofilla non la utilizzano minimizzando così la concorrenza con gli altri organismi. La luce viene assorbita dalle peridinine e la risultante energia di eccitazione viene poi convogliata verso le clorofille da cui poi proseguirà verso i centri di reazione. Il trasferimento di energia avviene quindi dai carotenoidi verso le clorofille: il carotene in stato eccitato (dopo l'assorbimento della luce) cede energia a una molecola che "rilassa" verso l'equilibrio cedendo l'energia in eccesso a molecole vicine o all'ambiente circostante.

I dati sperimentali, confermati dalle modellizzazioni teoriche eseguite con l'Università di Pisa, hanno permesso di scoprire la presenza di stati quantistico-coerenti parzialmente delocalizzati su più molecole. Tali stati, descrivibili solo attraverso la meccanica quantistica (cioè non spiegabili con le leggi della fisica classica), sono creati direttamente dall'interazione con la luce e sembrano essere coinvolti in un più veloce trasporto dell'energia sulla molecola di clorofilla che funge da accettore finale. In altre parole, la presenza di stati coerenti contribuisce all'efficienza del processo di trasferimento di energia complessivo, trasportando in modo più veloce l'energia di eccitazione sulla clorofilla accettore da cui poi verrà trasferita ai centri di reazione per la conversione in energia chimica.

I ricercatori hanno trovato conferma che solo un meccanismo quantistico coerente può spiegare come l'energia possa essere immediatamente delocalizzata in maniera più efficiente e più veloce.



«Supponiamo di studiare il trasferimento di energia da una molecola donatore a una molecola accettore con i canoni della fisica classica. L'energia in eccesso sul donatore - acquisita dopo l'assorbimento di luce - passa sull'accettore con un "salto", un *energy jump*. La velocità con cui questo avviene dipende dalla distanza, orientazione reciproca e interazione tra due cromofori. L'energia di eccitazione» **dice Elisabetta Collini** «è sempre localizzata: o su una molecola o sull'altra. Se i soggetti coinvolti sono più di due il trasferimento di energia avviene con una serie di "salti" energetici. Maggiore è il numero di "salti" che separa il donatore iniziale dall'accettore finale, più lento è il processo che porta l'energia sull'accettore finale e quindi maggiore è la probabilità che l'energia venga "persa" prima di arrivare alla sua ultima destinazione. In un meccanismo quantistico coerente le cose cambiano: quando si forma una coerenza quantistica tra due o più molecole, il sistema è caratterizzato da uno stato in cui l'energia di eccitazione è

simultaneamente su tutte le molecole (l'eccitazione è contemporaneamente sul donatore e sull'accettore). Una volta eccitato il donatore, tale eccitazione è immediatamente delocalizzata su tutti i cromofori coinvolti. Dato che l'energia è immediatamente delocalizzata anche sull'accettore finale, il processo di trasferimento è più efficiente e veloce. La pubblicazione su «Nature Communications» dimostra sperimentalmente» **conclude Elisabetta Collini** «che la creazione di uno stato delocalizzato comporta una maggiore velocità di trasferimento all'accettore finale e un più efficiente trasferimento dell'energia».

Oltre alla comprensione di come avviene il trasferimento di energia nelle "antenne biologiche", la ricerca ha enormi implicazioni per lo sfruttamento di queste coerenze quantistiche. Ad esempio si potrebbe controllare la trasmissione di energia da un punto a un altro di un sistema, sintetizzare sistemi in cui il trasferimento avvenga in modo coerente ingegnerizzando distanze, orientazioni e proprietà ottiche del materiale in modo che imitino quelle della PCP. In sostanza si potrebbe creare un sistema dove il trasferimento di energia avvenga in modo più veloce e controllato anche nei materiali artificiali. Il lavoro pubblicato su «Nature Communications» ha confermato come la Natura sfrutti la coerenza quantistica per aumentare l'efficienza delle sue funzioni biologiche. Ora la sfida, suggerita dalla ricerca,

sta nel capire se sia possibile utilizzare tale coerenza come nuovo criterio per il design di materiali innovativi per l'energetica.

“Coherence in carotenoid-to-chlorophyll energy transfer” - «Nature Communications» (2018) -

Team di ricercatori coordinati da Elisabetta Collini: Elena Meneghin, Andrea Volpato, Luca Bolzonello, Donatella Carbonera del **Dipartimento di Scienze Chimiche dell'Università di Padova** e Lorenzo Cupellini, Sandro Jurinovich, Vincenzo Mascoli e Benedetta Mennucci del **Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale dell'Università di Pisa**.

Link alla ricerca: <https://www.nature.com/articles/s41467-018-05596-5>

Nata nel 1979, [Elisabetta Collini](#) ha conseguito la laurea in Chimica nel 2003 ed il dottorato in Chimica nel 2007 all'Università di Padova. Dopo due anni di ricerca come post-doc all'Università di Toronto, è ritornata a Padova dove è attualmente professore associato al Dipartimento di Scienze Chimiche. È stata responsabile di un progetto ERC Starting Grant, conclusosi con successo nel febbraio 2018 e ha ricoperto il ruolo di responsabile nazionale in tre progetti collaborativi finanziati dalla Comunità Europea in FP7 e H2020, uno dei quali ancora attivo. Attualmente funge anche da coordinatore per un progetto PRIN finanziato dal MIUR. I suoi principali interessi di ricerca sono focalizzati sullo studio di proprietà ottiche e dinamiche di sistemi molecolari multicromoforici con particolare attenzione ai processi di trasporto di energia nel regime ultraveloce, dove ha dato importanti contributi mediante lo sviluppo di tecniche di spettroscopia elettronica coerente multidimensionale. La sua attività di ricerca, testimoniata da numerosi articoli pubblicati su riviste di grande impatto, è stata premiata con premi nazionali e internazionali (premio "G. Borgia" in Chimica dell'Accademia Nazionale dei Lincei; premio "Donne Talento ed Innovazione" della Fondazione M. Bellisario, premio "P. Levi" in Chimica della Società Chimica Italiana; lo "European Young Chemist Award 2012" (medaglia d'oro) da EuChem; premio "M.B. Ceolin" dall'Università di Padova). Nel 2015, in occasione dell'Expo Internazionale di Milano, la sua ricerca è stata scelta per rappresentare la Regione Veneto all'interno della sezione "Potenza del Limite" nella Casa dell'Identità Italiana. È membro di diversi comitati scientifici e funge da arbitro per diverse riviste nazionali e internazionali e agenzie di finanziamento internazionali.