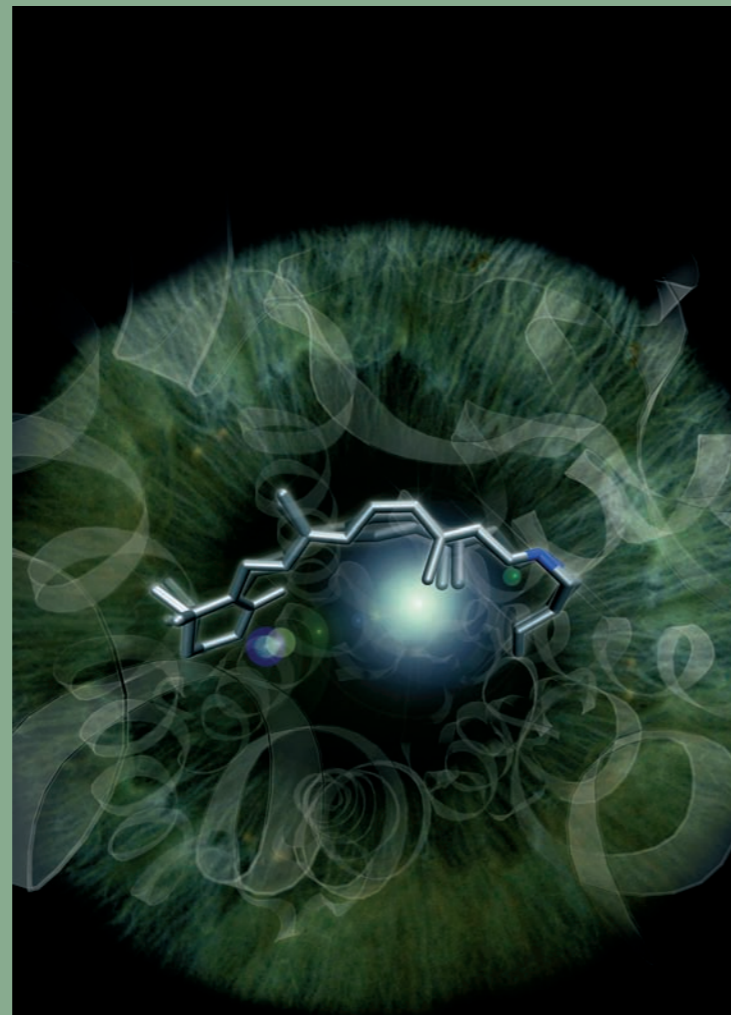


# Fermare l'attimo

## Il fotone come sonda per esplorare dinamiche ultraveloci

di Sandro De Silvestri

Fin dall'invenzione del flash per la macchina fotografica, impulsi di luce di breve durata sono stati utilizzati per congelare l'evoluzione temporale di eventi molto rapidi. Già nel 1866 il fisico tedesco August Töpler fu in grado di fotografare le variazioni della pressione dell'aria in forma di onde acustiche: utilizzò un primo flash della durata di alcuni microsecondi (un microsecondo è un milionesimo di secondo, cioè  $10^{-6}$  s), per generare un'onda acustica nell'aria, e un secondo flash, ritardato temporalmente e sincronizzato al primo, per fotografare l'onda (il ciclo di oscillazione dell'onda acustica è dell'ordine del millisecondo). Come regola generale, possiamo affermare che per misurare un processo fisico molto veloce è necessario impiegare un'opportuna sorgente, la cui durata temporale sia confrontabile oppure inferiore all'evento stesso. Nel periodo compreso tra gli inizi del 1900 e l'invenzione del laser nel 1960, la durata degli impulsi di luce era diminuita progressivamente raggiungendo la scala temporale del *nanosecondo* (ovvero un milionesimo di secondo, cioè  $10^{-9}$  s). Successivamente all'invenzione del laser, la generazione di impulsi di luce sempre più brevi ha subito una notevolissima accelerazione. Impulsi di durata di alcuni *femtosecondi* (un milionesimo di miliardesimo di secondo, cioè  $10^{-15}$  s) sono ormai comunemente disponibili per lo studio di processi fisici ultraveloci e per numerose applicazioni in vari campi della ricerca e della tecnologia. Parallelamente al rapido progresso ottenuto nella diminuzione della durata degli impulsi, si è assistito negli ultimi dieci anni a un continuo aumento della loro potenza, sino a valori di un milione di miliardi di watt. Tale potenza può essere concentrata in pochi millesimi di millimetro. Gli impulsi laser ultrabrevi hanno drasticamente esteso la nostra capacità di osservare in tempo reale la dinamica di numerosi processi naturali.

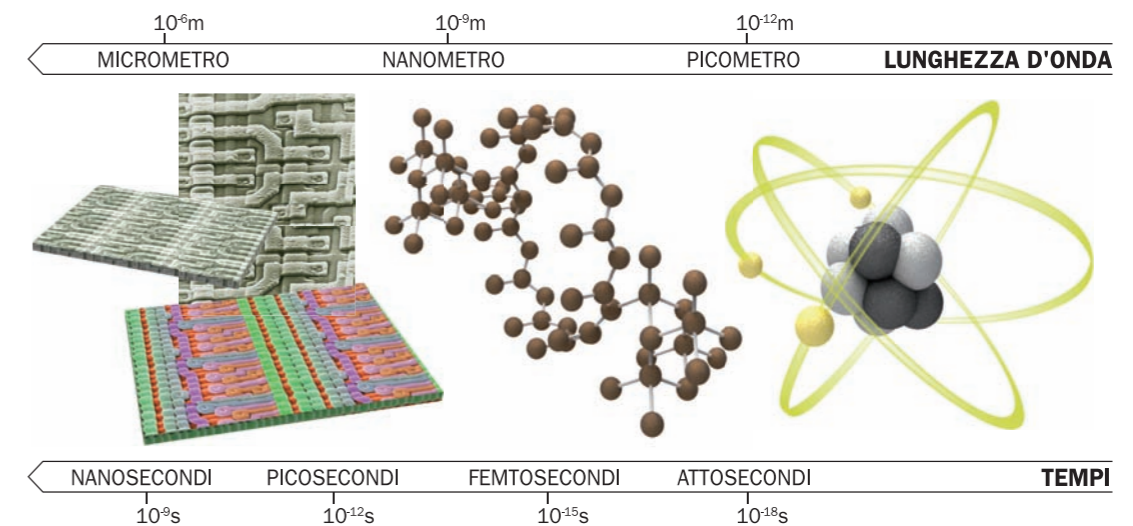


a.  
Visione artistica di una molecola di rodopsina (il recettore della retina) all'interno dell'occhio umano, mentre cambia la sua conformazione in 200 femtosecondi a seguito dell'assorbimento della luce, dando origine al processo della visione. Questo è il tempo che impiegano le molecole di rodopsina a generare il segnale mentre leggiamo questa pagina.

Utilizzando una frazione dell'energia dello stesso impulso laser per innescare l'evento da analizzare, è possibile ottenere una sincronizzazione perfetta, completamente ottica, tra l'innesco del processo e la sua osservazione. Esistono in natura eventi tanto rapidi da richiedere una così elevata risoluzione temporale? La risposta è affermativa per numerosi fenomeni a livello atomico e molecolare. Per leggere questa pagina, ad esempio, i recettori della retina (molecole di rodopsina) ripetono per circa 10 miliardi di volte al secondo una fotoreazione, il cui primo evento si conclude in soli 200 femtosecondi. In molte reazioni chimiche, infatti, i legami atomici si formano o si rompono su una scala temporale dell'ordine di alcune centinaia di femtosecondi (nel 1999 lo studio della dinamica di reazioni chimiche tramite impulsi ultrabrevi è valso il premio Nobel ad Ahmed H. Zewail). Il moto degli elettroni all'interno di atomi o molecole è ancora più rapido. L'unità atomica del tempo corrisponde all'intervallo di tempo impiegato da un elettrone per descrivere un angolo di un radiante durante il suo moto nello stato fondamentale dell'atomo di idrogeno e ha un valore di circa 24 attosecondi (un attosecondo è pari a  $10^{-18}$  s, corrispondente a un milionesimo di miliardesimo di secondo). Potremmo quindi

affermare che la scienza degli impulsi ad attosecondi studia essenzialmente il moto degli elettroni su scale atomiche. Per cogliere intuitivamente il significato dei diciotto ordini di grandezza che separano l'attosecondo dal secondo, può essere utile considerare che un attosecondo sta a un secondo come questo sta all'incirca all'età dell'universo. Il limite ultimo alla durata di un impulso laser è pari a una oscillazione completa del corrispondente campo elettrico. Nella regione spettrale del visibile (400-700 nanometri), per esempio, tale oscillazione si compie in circa due femtosecondi. Per superare la barriera del femtosecondo, quindi, occorre generare impulsi nella regione spettrale dell'ultravioletto estremo o dei raggi X (chiamata *XUV*), dove l'oscillazione del campo elettrico è più rapida, ovvero dell'ordine degli attosecondi. La tecnica che viene utilizzata per la produzione di impulsi nella regione spettrale del XUV è denominata "generazione di armoniche di ordine elevato" e si basa sulla radiazione emessa dagli atomi di un gas, investiti da impulsi laser brevi e intensi. Grazie agli impulsi ad attosecondi si potrà seguire in tempo reale il moto degli elettroni durante una reazione chimica o lo spostamento degli elettroni nelle trasformazioni di molecole: si tratta di studi di notevole interesse chimico-biologico.

b.  
Impulsi laser per lo studio di processi in fisica della materia: dal trasporto degli elettroni nei dispositivi elettronici (scala di tempo dei nanosecondi) al moto degli elettroni negli atomi (scala di tempo degli attosecondi).



## Luce all'estremo

1.  
L'infrastruttura europea Eli verrà costruita in tre Paesi, in ciascuno dei quali si affronterà un ambito di ricerca differente: nella Repubblica Ceca (nei pressi di Praga), in Romania (a Margurele) e in Ungheria (a Szeged). A destra i piani architettonici dei rispettivi laboratori.



Si chiama Eli (Extreme Light Infrastructure) l'infrastruttura di ricerca europea che prevede la costruzione di laser ultra-intensi, con una potenza di vari ordini di grandezza superiore a quelle ottenibili attualmente. La potenza del laser di Eli, infatti, è prevista arrivare a 200 petawatt (circa 100.000 volte la potenza di tutte le centrali elettriche esistenti al mondo), per generare impulsi ultracorti (fino ad arrivare ai femto- o agli attosecondi). Ciò permette lo studio dell'interazione laser-materia in un regime (quello delle *alte intensità*) ancora mai raggiunto. Oltre a permettere questo tipo di studi, Eli consentirà di fare ricerca in molti altri ambiti, come nello sviluppo di nuove tecnologie per acceleratori compatti di particelle e per produrre radiazione intensa nella regione dei raggi gamma, utili alla fisica nucleare. Queste ricerche avranno numerose applicazioni nella medicina e per l'ambiente, e in altre discipline come l'astrofisica o la biologia. Nel dicembre 2010 si è conclusa la fase di preparazione di Eli, che è stata finanziata dalla Comunità Europea sin dal 2007. Durante questa fase, alla quale per l'Italia partecipavano l'Infn e il Cnr, sono state prese decisioni fondamentali, come la definizione della tecnologia del laser, la struttura di governo dell'infrastruttura, il suo finanziamento e la strategia di comunicazione. Eli verrà

costruita in tre Paesi, in ciascuno dei quali si affronterà un ambito di ricerca differente: nella Repubblica Ceca (nei pressi di Praga) l'accelerazione delle particelle, in particolare per la generazione di fasci di particelle accelerati tramite laser, in Romania (a Margurele) la produzione di raggi gamma e in Ungheria (a Szeged) la produzione di impulsi ultrabrevi dell'ordine degli attosecondi. Il quarto sito, dedicato alla fisica delle alte intensità, verrà deciso nel 2012. L'Infn, il Cnr e le università italiane saranno coinvolti in Eli sia nell'ambito della formazione di personale qualificato di ricerca sia nell'ambito della progettazione e realizzazione di strumentazione per l'implementazione delle infrastrutture.

#### Biografia

**Patrizio Antici** è ricercatore presso i Laboratori di Frascati dell'Infn. Conduce ricerca nel campo di nuove tecnologie di accelerazione tramite laser-plasmi e relative applicazioni, come nell'astrofisica di laboratorio. Durante la fase di preparazione di Eli ha ricoperto gli incarichi di coordinatore europeo della comunicazione e del finanziamento.

#### Biografia

**Sandro De Silvestri** è professore di Fisica Sperimentale al Politecnico di Milano. Direttore del Center for Ultrafast Science and Biomedical Optics (Cusbo), presso il Dipartimento di Fisica, e associato all'Istituto di Fotonica e Nanotecnologie (Infn) del Cnr. Conduce ricerche nel campo della generazione di impulsi laser ultrabrevi e relative applicazioni in fisica della materia.

#### Link sul web

[www.rp-photonics.com/ultrashort\\_pulses.html](http://www.rp-photonics.com/ultrashort_pulses.html)  
[www.extreme-light-infrastructure.eu/](http://www.extreme-light-infrastructure.eu/)  
<http://www.eli-beams.eu/>  
<http://www.eli-hu.hu/>  
<http://www.eli-np.ro/>