

# accastampato

[www.accatagliato.org](http://www.accatagliato.org)

## Il cielo in una stanza

*Perché il cielo è azzurro?*

*L'occhio digitale*

*L'evoluzione  
della fotografia*

*La luce per distruggere,  
la luce per costruire*



*Fiat lux: produzione di luce  
dal vuoto quantistico*

**SPIE.**  
**OSA®**  
The Optical Society

La rivista è disponibile on-line e come app per iPad e iPhone, è navigabile sia da computer che da cellulare ed è scaricabile nei formati PDF ed ePUB.



<http://www.accastampato.it>



I lettori possono esprimere commenti o fare domande agli autori on-line sulle pagine dedicate ai singoli articoli. I QR Code che corredano alcuni articoli codificano gli URL di pubblicazione on-line e sono generati mediante [invx.com](http://invx.com)

Accastampato è realizzato con il patrocinio del Dipartimento di Fisica dell'Università Sapienza di Roma, del CNR Istituto dei Sistemi Complessi (ISC), Unità Sapienza di Roma, dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, del Dipartimento di Fisica dell'Università Roma Tre, della Fondazione IDIS Città della Scienza, dell'Associazione Romana per le Astroparticelle (ARAP) e la collaborazione della EPS Rome Young Minds Section e dell'Associazione Frascati Scienza.



## EDITORIALE

## Un anno dedicato alla luce

### Le sue infinite forme e le sue applicazioni

Le Nazioni Unite hanno indicato il 2015 come Anno Internazionale della Luce, dedicandolo alla forma di energia che più ci è vicina, la luce appunto, ma che non smette di sorprenderci, con inaspettati fenomeni e applicazioni sempre nuove.

E pensando alla luce viene subito in mente il Sole, fonte dell'energia che rende *vivo* il nostro pianeta. E il cielo, che conosciamo azzurro, ma amiamo nelle sue maestose sfumature all'alba e al tramonto. Roberta Caruso ci mostra come ricostruire il "cielo in una stanza", anzi, in un bicchiere, spiegando perché il cielo ha il colore che vediamo tutti i giorni.

Che *vediamo...* il mondo sarebbe invisibile se non fossimo dotati naturalmente della più raffinata macchina fotografica concepibile, frutto di milioni di anni di evoluzione. Antigone Marino ci racconta i molti sforzi che sono stati fatti negli ultimi due secoli per (bio)imitare l'occhio umano, fino agli ultimi sviluppi verso "l'occhio digitale".

Ma cosa impressiona la nostra retina o i sensori delle nostre macchine fotografiche? La luce, certo, ma fotoni, onde elettromagnetiche, entrambe le cose? Una domanda che smuove le basi epistemologiche del pensiero scientifico, tra teorie, modelli, leggi e principi. Un discorso ampio e complesso, che Marco Valli affronta a partire da un'affermazione tanto semplice, quanto provocatoria: "l'elettrone non esiste".

Ma anche se gli elettroni, o in egual modo i fotoni, *non esistono*, nei laboratori ormai se ne creano persino dal nulla, o meglio, dal vuoto! "Fiat lux", esclamano Vincenzo Macrì e Luigi Garziano, mentre ci accompagnano tra scatole vuote e piatti vibranti alla scoperta dell'effetto Casimir.

E cosa farne con tutti questi fotoni? Alessandro Magazzù per esempio li usa come se fossero delicatissime *pinzette* per "manipolare oggetti minuscoli con la luce", grazie a una tecnica di recente sviluppo che ha già trovato una miriade di applicazioni in moltissimi campi, dalla biologia alla scienza dei materiali. Marco Santoro e Santi Scibilia, invece, sono meno delicati e sfruttano "luce per distruggere, luce per costruire" sfruttando laser altamente energetici e il *principio di ablazione*. Antonio Anastasi invece preferisce l'altissima precisione inviando "luce sul muone" per misurarne l'anomalia magnetica come mai prima.

E come la natura della luce è doppia, onda e particella, anche questo numero della nostra rivista è doppiamente speciale: oltre a esplorare tutti i segreti della luce, accoglie le firme di giovani ricercatori campani e siciliani, dalle università di Napoli e di Messina, grazie alle rispettive sezioni della EPS Young Minds, il programma della European Physics Society rivolto ai futuri scienziati d'Europa, e ai chapter locali della Optical Society of America (OSA) e della Society of Photo-optical Instrumentation Engineers (SPIE). Un numero che quindi è il frutto della sinergia di tre importanti poli della formazione e della ricerca scientifiche italiane: Messina, Roma e Napoli. Anche la divulgazione della scienza, come in fondo lo sviluppo stesso del pensiero umano, scientifico e non, unisce e trae forza dall'unione e dall'incontro, dallo scambio di esperienze e punti di vista, dalla sinergia e dalla collaborazione.

Buona lettura!

## REDAZIONE

redazione@accatagliato.org

Alessio Cimarelli

jenkin@accatagliato.org

Carlo Mancini

carlo@accatagliato.org

Manuela Cirilli

manuela.cirilli@cern.ch

Roberta Caruso

roberta@accatagliato.org

Ilaria De Angelis

ilaria@accatagliato.org

Roberto Garra

roberto@accatagliato.org

Kristian A. Gervasi Vidal

krisgerv@accatagliato.org

Niccolò Loret

niccolo@accatagliato.org

Isabella Malacari

isabella@accatagliato.org

Massimo Margotti

massimo@accatagliato.org

Silvia Mariani

shyka@accatagliato.org

Angela Mecca

lela@accatagliato.org

Martina Pugliese

m.letitbe@gmail.com

## COMMISSIONE SCIENTIFICA

Giorgio Parisi

Giovanni Battimelli

Fabio Bellini

Lara Benfatto

Stefano Bianchi

Giulia De Bonis

Riccardo Faccini

Francesco Piacentini

Luciano Pietronero

Antonio Polimeni

Antonello Polosa

Maria Antonietta Ricci

## HANNO CONTRIBUITO A. Anastasi,

R. Caruso, A. Cimarelli, V. Macrì, L. Garziano, A. Marino, G. Organtini, M. Santoro, S. Scibilia, M. Valli, A. Magazzù.

## CON IL CONTRIBUTO DI

EPS Young Minds

The Optical Society of America

Society of Photo-optical Instrumentation Engineers

## CON IL PATROCINIO DI

Frascati Scienza, Dipartimento di Fisica dell'Università Sapienza di Roma, Istituto dei Sistemi Complessi CNR-ISC (Sezione Sapienza di Roma), Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Dipartimento di Fisica dell'Università Roma Tre, Fondazione IDIS Città della Scienza, Associazione Romana per le Astro-particelle



Alessio Cimarelli

### EDITORIALE

#### Un anno dedicato alla luce

3

Nell'anno della luce, un numero di Accastampato insieme alle sezioni EPS Young Minds di Napoli e Messina.

### IL RICERCATORE ROMANO

#### Il cielo in una stanza

6

di R. Caruso

I fenomeni di diffusione della luce sono alla base del colore mutevole del cielo... e di un bicchiere.

#### L'occhio digitale

8

di A. Marino

Le odierne macchine fotografiche sono in grado di gestire la luminosità e il colore come mai prima. Ma se paragonate all'occhio umano, hanno ancora moltissima strada da fare.

#### L'elettrone non esiste

11

di M. Valli

La nostra conoscenza del mondo che ci circonda si basa su modelli, ma è importante tenere a mente che un modello non costituisce una verità assoluta.

#### Fiat lux

14

di V. Macrì, L. Garziano

Ai giorni nostri il vuoto come stato stabile di un sistema è un concetto assodato, tanto che sfruttando l'effetto Casimir si può creare luce dal vuoto.

#### Pinzette di luce

16

di A. Magazzù

A partire dalla fine degli anni Ottanta, la luce laser è stata utilizzata per manipolare oggetti dell'ordine del micrometro, rendendo possibile il miglioramento di alcune tecnologie già esistenti.

#### Luce per distruggere e costruire

19

di M. Santoro, S. Scibilia

Grazie alla luce laser è possibile distruggere un materiale per crearne uno nuovo con proprietà totalmente differenti.

#### Luce sul muone

21

di A. Anastasi

La luce è un ottimo strumento per le misure ad altissima precisione, ad esempio l'esperimento  $g-2$ .

**EVENTI**

**M'illumino di scienza**

di *G. Organtini*

A Roma il 25 settembre una grande mostra sul tema della luce, aspettando Maker Faire 2015.



23

# Il cielo in una stanza

Perché il cielo è proprio azzurro?

Roberta Caruso

(Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Napoli Federico II)

Ogni volta che alziamo gli occhi al cielo in una bella giornata, sappiamo di trovarlo azzurro, magari con qualche nuvoletta bianca che ci scivola pigra davanti. Ma perché proprio azzurro?

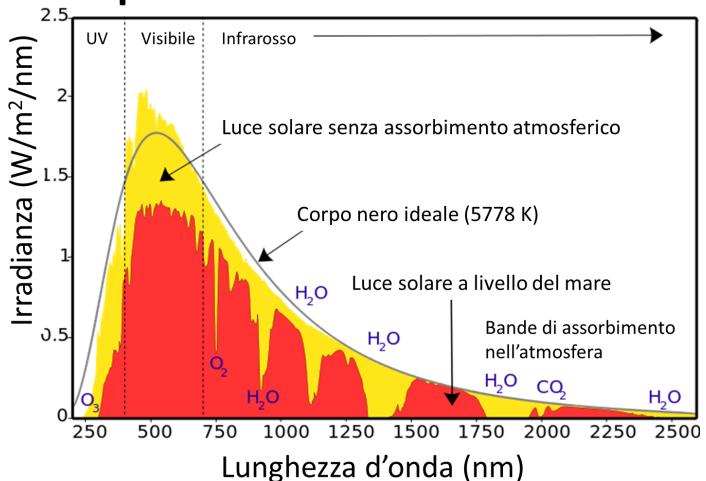
## La luce solare

Per rispondere a questa domanda è utile fare un passo indietro e capire come è fatta la luce che ci arriva dal Sole. La nostra stella, come tutte le altre, può essere considerata con buona approssimazione un corpo nero, cioè un corpo in grado di emettere radiazione elettromagnetica a tutte le lunghezze d'onda. Quelle comprese tra i 400 nm e gli 800 sono quelle corrispondenti alla luce visibile, dal blu al rosso. La luce bianca che vediamo provenire dal Sole è frutto della sovrapposizione delle varie lunghezze d'onda.

## Lo scattering

Ma allora perché non vediamo un cielo uniformemente bianco? Prima di arrivare ai nostri occhi, la luce del Sole viaggia attraverso l'atmosfera, dove viene diffusa dalle molecole di gas che

## Spettro della radiazione solare



**Figura 1** – Spettro di emissione del Sole (da [wikimedia.org](https://commons.wikimedia.org)). Come si può vedere, la distribuzione è simile a quella che ci si aspetta da un corpo nero a una temperatura di 5778 K. Man mano che la luce passa attraverso l'atmosfera, parte della radiazione è assorbita dai gas in specifiche bande di assorbimento.

formano l'atmosfera stessa. Nel caso in cui le particelle che causano la diffusione abbiano dimensioni molto più piccole della lunghezza dell'onda incidente si parla di *scattering di Rayleigh*, che è un'approssimazione della più generale *teoria dello scattering di Mie*.

L'intensità della luce diffusa dipende dall'inverso della lunghezza d'onda elevata alla quarta potenza ( $I \propto 1/\lambda^4$ ) [1] perciò le onde più "corte", cioè quelle che corrispondono al blu e al violetto, saranno quelle maggiormente soggette a diffusione.

Basandoci soltanto sulla legge dello scattering di Rayleigh, dovremmo allora vedere un cielo tendente al violetto anziché all'azzurro. Se però a questo fenomeno aggiungiamo il fatto che lo spettro di emissione del Sole ha un picco alle lunghezze d'onda giallo-verdi, e diminuisce bruscamente in corrispondenza del violotto (cfr. Figura 1), il fatto che l'occhio umano è poco sensibile alle lunghezze d'onda più corte dello spettro del visibile [2] e il fatto che l'ossigeno presente nell'atmosfera assorbe le lunghezze d'onda al limite dell'ultravioletto, ecco spiegato il colore azzurro del cielo sopra le nostre teste.

## E al tramonto?

Il cielo però non è sempre azzurro: al tramonto, a Ovest, lo vediamo colorarsi di tutte le sfumature del rosso e del giallo, mentre a Oriente l'azzurro diventa sempre più scuro fino ad arrivare al blu. All'alba invece vediamo il cielo schiarirsi lentamente a partire da Est, tingendosi di una sfumatura più tenue di rosso. Questi due momenti della giornata corrispondono ai momenti in cui il Sole è più basso all'orizzonte, il che significa che la sua luce per raggiungere i nostri occhi deve attraversare un volume decisamente maggiore di aria rispetto a quando il sole si trova alto sulle nostre teste. Perciò, lo scattering delle lunghezze d'onda corte aumenta ulteriormente, fino a che praticamente tutta la luce blu-violetta viene deviata e non raggiunge più l'occhio dell'osservatore. Le lunghezze d'onda che giungono indisturbate sono quelle più lunghe, che corrispondono al rosso e al giallo, ed è per questo che all'alba e al tramonto osserviamo un cielo tendente all'arancione.

## E con le nuvole come la mettiamo?

La luce del Sole viene diffusa ovviamente anche dalle nuvole, che però appaiono bianche o al più blu-grigiastre. Poiché le particelle che compongono le nuvole sono di dimensioni molto maggiori della lunghezza d'onda della luce, la teoria dello scattering di

Rayleigh non può più essere applicata. In questo caso, occorre descrivere la diffusione della luce da parte delle particelle che compongono le nuvole (per lo più goccioline d'acqua) utilizzando la teoria dello scattering di Mie, di cui lo scattering Rayleigh rappresenta un caso particolare.

Possiamo ragionare qualitativamente analizzando le condizioni affinché ci si trovi nell'approssimazione di scattering Rayleigh. In questo caso, l'intensità della radiazione diffusa è data da  $I \propto d^6/\lambda^4$ , per  $d \ll \lambda$ , dove  $d$  è il diametro della particella e  $\lambda$  la lunghezza d'onda della luce. Quando  $d \gg \lambda$ , il diametro della particella diventa l'unica variabile da cui dipende l'intensità della radiazione scatterata, pertanto tutte le lunghezze d'onda vengono diffuse allo stesso modo e la luce risulta bianca.

Al tramonto o all'alba le nuvole appaiono talvolta rosa o arancio, ma non sono realmente di questo colore: semplicemente riflettono la luce solare, che in questi due momenti della giornata appare giallo-rossastro per via dello scattering di Rayleigh, come si è detto nel paragrafo precedente. Le nuvole temporalesche sono invece blu-grigastre: questo perché contengono una grande quantità d'acqua, e l'acqua tende ad assorbire le lunghezze d'onda vicine all'infrarosso e a diffondere quelle del blu-violetto.

## Il cielo in un... bicchiere

Sfruttando l'*effetto Tyndall*, ovvero lo scattering della luce in soluzioni colloidali, possiamo facilmente ricreare i colori del cielo in un bicchiere. Basterà preparare una soluzione di acqua e latte e illuminarla con una torcia posta perpendicolarmente all'asse del bicchiere: osserveremo che la luce della torcia vista attraverso il



**Figura 2** – A sinistra: la brocca è piena soltanto di acqua, la luce della torcia non è visibile all'interno del liquido. Al centro: facendo passare il raggio di luce attraverso una soluzione di acqua e latte si vede che esso assume una colorazione azzurrina. L'effetto è più evidente nella porzione di soluzione più vicina alla sorgente. A destra: osservando il fascio di luce attraverso la soluzione (la torcia si trova ora dietro alla brocca), si vede come questo assuma una colorazione arancio-rossiccia che ricorda il cielo al tramonto.

bicchiere è di un azzurro tenue. Se ora spostiamo la torcia in modo che formi un angolo piuttosto piccolo con l'asse del bicchiere vedremo che questa volta la luce della torcia è di una sfumatura arancione. Lo stesso effetto si ottiene guardando la torcia attraverso una quantità maggiore della soluzione (cfr. Figura 2). Questo perché anche lo scattering Tyndall, come lo scattering Rayleigh, dipende dall'inverso della lunghezza d'onda della radiazione incidente, sebbene in maniera meno accentuata. Perciò anche in questo caso la luce blu viene per lo più diffusa mentre le altre lunghezze d'onda vengono trasmesse.

La differenza tra le due approssimazioni è che nel caso di scattering Rayleigh le particelle sono di dimensioni molto minori della lunghezza d'onda incidente, mentre nel caso dello scattering Tyndall la dimensione delle particelle è dell'ordine del centinaio di nanometri, cioè comparabile con la lunghezza d'onda della luce incidente. Quest'ultimo perciò, ben si adatta a descrivere i fenomeni di diffusione della luce in soluzioni colloidali, come ad esempio un bicchiere di acqua e farina. A causa della maggiore dimensione delle particelle coinvolte, lo scattering Tyndall risulta molto più intenso dello scattering Rayleigh, perciò per ottenere gli stessi effetti di diffusione della luce abbiamo bisogno di un volume di sostanza molto minore.

## Bibliografia

- [1] *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*
  - [2] Wolfe J. et al. *Sensazione e percezione*. Zanichelli (2007)
- Commenti on-line: <http://www.accastampato.it/2014/09/il-cielo-in-una-stanza/>

## Sull'autore

Roberta Caruso ([caruso@fisica.unina.it](mailto:caruso@fisica.unina.it)) si è laureata preso l'Università Federico II di Napoli con una tesi in supercondutività. Attualmente è dottoranda presso lo stesso ateneo. Dal 2010 fa parte dell'associazione studentesca EPS Young Minds Napoli.

# L'occhio digitale

Evoluzione di una tecnologia che ha preso ispirazione dalla vita: la fotografia

Antigone Marino

(Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Napoli Federico II)

**L**a natura è da secoli la più grande fonte d'ispirazione per gli scienziati. D'altra parte è come un laboratorio messo su miliardi di anni fa e che ha dunque avuto il tempo di perfezionare con l'evoluzione i suoi meravigliosi prodotti. Osservando la natura e tentando di imitarla sono nati materiali innovativi, come costumi da bagno ispirati alla pelle squamata degli squali o il velcro nato dalla riproduzione dei semi della bardana maggiore. Nel 1950 il biofisico americano Otto Schmitt conia il termine *biomimetica*, ovvero l'imitazione di modelli naturali per realizzare dispositivi e materiali. L'idea è infatti quella di sfruttare le tecniche affinate dalla natura in secoli di evoluzione per ottimizzare i prodotti dell'uomo, avvalendosi di tecnologie sempre più avanzate ma al momento ancora inadatte a realizzare macchine efficienti come quelle biologiche. Ma è solo il termine a nascere negli anni '60, perché l'uomo in effetti cerca di imitare la natura da molto prima. Uno degli esempi più eclatanti di imitazione di un modello naturale è la macchina fotografica. Come l'occhio umano, quest'ultima è stata progettata per catturare immagini, ovvero per vedere. Analizzando il percorso che la luce compie nell'attraversare una compatta o una reflex, ci accorgiamo che altro non è che ciò che accade ogni volta che apriamo le nostre palpebre. Non solo, vedremo più avanti che nel passaggio dai sistemi analogici a quelli digitali tale ispirazione è ancora più marcata.

## Apparato sperimentale

Iniziamo da una semplice descrizione di quello che uno scienziato chiamerebbe *apparato sperimentale* [3]. Il primo elemento ottico che la luce incontra sul nostro viso è la cornea, una membrana trasparente convessa che svolge il ruolo di una lente. Dietro di essa si trova l'iride, propriamente un muscolo di colore variabile, con forma e funzione di diaframma. Ha la forma di un disco circolare ed è attraversato dalla pupilla, un'apertura circolare il cui diametro può cambiare proprio grazie ai movimenti dell'iride. Il terzo elemento ottico dell'occhio è il cristallino: una lente che insieme alla cornea consente di mettere a fuoco i raggi luminosi sulla retina. Ha il compito specifico di variare la distanza focale del sistema ottico, cambiando la propria forma, per adattarlo alla distanza dell'oggetto da mettere a fuoco. Infine la luce attraverserà la retina, la membrana più interna del bulbo oculare. È forse la componente fondamentale per la visione essendo formata dalle cellule recettoriali, i coni e i bastoncelli, responsabili di trasformare l'energia luminosa in segnale elettrico che verrà poi tra-

sportato dal nervo ottico al cervello. L'analogia con la macchina fotografica appare quindi ovvia: cornea-lente, iride-diaframma, cristallino-lente, retina-pellicola/sensore.

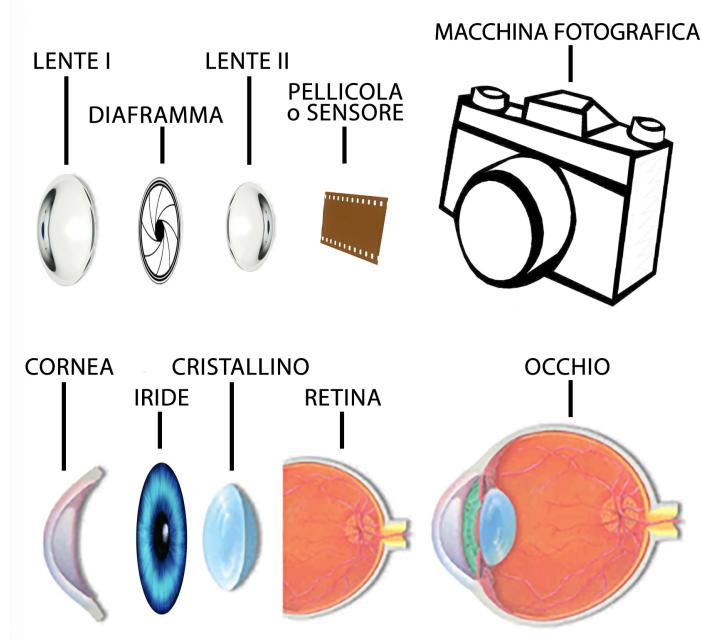
Quello che è più interessante da capire è come non solo i componenti di una reflex o anche di una semplice compatta possono essere tradotti in parti del nostro occhio, ma anche i meccanismi di funzionamento di questi due apparati siano estremamente simili. La messa a fuoco, ad esempio, in fotografia si realizza spostando degli elementi ottici dell'obiettivo più o meno vicino al sensore, nel bulbo oculare la stessa funzione viene svolta dai muscoli che stirano o comprimono il cristallino, facendogli cambiare forma, e quindi lunghezza focale. La regolazione dell'esposizione, che in fotografia si controlla chiudendo o aprendo il diaframma, nell'occhio viene realizzata allo stesso modo dall'iride, un muscolo che contraendosi o rilassandosi, riduce o aumenta la superficie di cristallino esposto ai raggi di luce.

## Percezione e bilanciamento del bianco

I punti dolenti, su cui la tecnologia non è ancora riuscita a fornire un prodotto all'altezza dell'occhio umano sono la gestione della luminosità e del colore. Il semplice motivo è che queste due grandezze fisiche sono legate alla percezione, che è soggettiva da individuo a individuo. Responsabile di tale soggettività è il cervello umano, che per analogia potremmo chiamare il processore della macchina digitale. Supponiamo di essere al sole mentre stiamo guardando una parete bianca. L'occhio raccoglierà la luce riflessa



Figura 1 – L'occhio umano, la macchina fotografica perfetta.



**Figura 2** – Gli elementi costituenti dell’occhio e della macchina fotografica.

dalla parete, il messaggio che arriverà al cervello tramite il nervo ottico è “questa parete è bianca”. Se passasse improvvisamente una nuvola, la parete diverrebbe grigia per via della penombra, ma il nostro cervello continuerebbe a vedere la parete bianca perché effettuerebbe istantaneamente quello che in fotografia si chiama il *bilanciamento del bianco* [4]. Se l’oggetto in questione fosse un oggetto a noi sconosciuto, e si trovasse sotto una luce colorata, il nostro cervello non sarebbe in grado di interpretare il colore vero dell’oggetto, ma lo interpreterebbe in funzione della luce incidente. Solo l’avvicinamento di un oggetto di colore noto, consentirebbe al cervello di bilanciare automaticamente il bianco, estendendo l’interpretazione del giusto colore al primo. Le macchine fotografiche non godono di questo automatismo. Se fotografiamo una ambiente illuminato con luce al tungsteno, le foto avranno una dominante di colore giallo; se l’illuminazione fosse al neon, la dominante sarebbe azzurra. Nel passaggio dalla fotografia analogica alla digitale si è riusciti a controllare parzialmente questo problema, introducendo dei settaggi standard per il bilanciamento del bianco proprio come “cielo nuvoloso”, “luce al tungsteno”, “luce al neon”, etc. I fotografi professionisti, nel tentativo di imitare l’occhio umano, fotografano un bersaglio di colore grigio prima di iniziare la loro sessione di scatti. Questa foto consentirà di dire alla loro macchina che quel colore, indipendente dalle condizioni di luce che lo illuminano, è un grigio. Questo gli consente di mettere un punto fermo nella soggettività della percezione della luce e del colore. Ma è in effetti un palliativo, poiché propriamente valido solo per quel singolo scatto. Il nostro occhio, non solo è rapidissimo nell’aggiornare *per ogni*

*scatto* il bilanciamento del bianco, ma per di più ne può eseguire parecchi contemporaneamente! Vi basta immaginare di essere in una stanza con una luce al tungsteno e una al neon.

## Sensibilità e ISO

La seconda sostanziale differenza tra occhio umano e fotocamera sta nella sensibilità alla luce. Rispetto al sensore, l’occhio umano non ha una sensibilità uniforme, il che gli permette di catturare molti più dettagli e con una definizione decisamente superiore. Il sensore della nostra macchina digitale ha una sensibilità uniforme alla luce. In condizioni di scarsa luminosità quello che si fa di solito è aumentare il rapporto tempo di esposizione/numero *f*. Il numero *f*, in fotografia anche detto *numero di stop*, è proporzionale all’ inverso del diametro del diaframma. Aumentare il rapporto esposizione/numero *f* equivale dunque ad aumentando il tempo di esposizione o ridurre gli stop (o equivalentemente ad aumentare il diametro del diaframma). Se ciò non è sufficiente o possibile, possiamo aumentare la sensibilità del sensore incrementando gli ISO. Questo acronimo indica in verità la International Organization of Standardization, la più importante organizzazione europea per la definizione di norme tecniche, il cui equivalente americano è la American Standards Association, da cui ASA, altro acronimo per indicare la sensibilità delle pellicole. Lo standard ISO 5800:1987 definisce due scale (una lineare e una logaritmica) per misurarne il valore. Il sensore trasforma per effetto fotoelettrico la luce che la macchina raccoglie in segnale elettrico. Passando da 100 a 200 ISO, il segnale elettrico generato raddoppia [4]. Purtroppo il sensore non solo genera un segnale dalla conversione luce-elettricità, ma anche un segnale di rumore, dovuto per lo più



**Figura 3** – Il bilanciamento del bianco ci consente, indicando al processore che la tavoletta al centro dell’immagine è grigia, di riportare il bianco della maglietta al suo valore reale. Questo procedimento è automatizzato nell’occhio umano.



**Figura 4** – Immagini scattate a parità di esposizione variando la sensibilità del sensore.

a effetti termici. Questo rumore aumenta all'aumentare della sensibilità. Quindi non sempre è vantaggioso aumentare gli ISO per ottenere migliori immagini. L'occhio umano, invece, non vede il rumore. Infatti per aumentare la sua sensibilità l'occhio non agisce sul segnale elettrico, bensì sui recettori del segnale luminoso. Aumentando i valori di rodopsina nella retina, l'occhio riesce in pochissimi secondi ad aumentare la sua capacità visiva. Quando si entra in un ambiente a scarsa luminosità questo processo di incremento di rodopsina parte automaticamente, e in circa 30 minuti il nostro occhio sarà in grado di catturare una quantità di luce pari a 600 volte quella che catturerebbe in caso di illuminazione normale. Il tutto senza aggiungere rumore all'immagine. In termini di ISO, se volessimo provare a convertire la nostra capacità visiva in un numero, potremmo dire che siamo in grado di applicare una moltiplicazione equivalente ISO pari a 60.000 (600 volte 100 ISO) senza aggiungere il benché minimo rumore alle immagini. Le macchine fotografiche più evolute sono in grado di spingersi ben oltre questo valore ma ad un prezzo molto alto:

l'immagine è quasi inguardabile già quando si superano gli 8.000 ISO.

Questi due punti, bilanciamento e sensibilità, sono quelli su cui tutta la ricerca scientifica si sta concentrando. La macchina fotografica è stata costruita usando come modello proprio l'occhio umano e cercando di replicare ogni sua caratteristica. La tecnologia, nel corso degli anni, ha permesso di fare passi da gigante ma una macchina fotografica è ancora lontanissima dall'imitare pienamente uno strumento così perfetto come l'occhio.

### Bibliografia

[3] Mencuccini C. e Silvestrini V. *Fisica II (elettromagnetismo, ottica)* (1988)

[4] Freeman M. *L'esposizione fotografica*. Logos (2010)

Commenti on-line: <http://www.accastampato.it/2015/09/occhio-digitale/>

### Sull'autore

Antigone Marino è ricercatrice CNR presso il Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Napoli Federico II. Si occupa di sviluppo e caratterizzazione di materiali per applicazioni telecom. È da sempre appassionata di fotografia, passione per cui ha studiato e lavora nel campo dell'ottica. Dal 2013 coordina il progetto Young Minds della European Physical Society (EPS).



# L'elettrone non esiste

Un modello scientifico non costituisce una verità assoluta

Marco Valli

(Dipartimento di Fisica, Università Sapienza di Roma)

**L'**elettrone non esiste. Possiamo dire lo stesso del fotone e del famigerato bosone di Higgs. Non perché gli scienziati li abbiano *inventati* per farsi beffe di noi, ma semplicemente perché noi - scienziati compresi - non siamo in grado di *vedere* direttamente queste particelle: quello che siamo in grado di rilevare, anche con gli strumenti più sofisticati, sono solo degli *effetti*. Per spiegare, raccontare e comunicare il modo con il quale questi effetti si manifestano, abbiamo imparato a dare nomi e attribuire caratteristiche alle cose che ci stanno attorno e sono protagonisti dei fenomeni naturali. Quando le nostre descrizioni sono utili e ci aiutano a capire meglio il mondo che ci circonda, le manteniamo. A volte, ci accorgiamo che la nostra spiegazione non è soddisfacente, e dobbiamo rivedere e modificare il nostro modo di *raccontare* quei fenomeni. Per affrontare più a fondo la questione, dobbiamo partire da cosa voglia dire occuparsi di *scienza* e di cosa comporti l'indagine dei fenomeni che avvengono nell'Universo.

## Le scienze fisiche e naturali

Le scienze fisiche e naturali si occupano di descrivere e mettere in relazione tra loro i fenomeni che accadono nel mondo naturale. Esse procedono attraverso l'osservazione (e la misurazione) di questi accadimenti. Affinché le scienze non si riducano a un mero elenco di fatti e numeri, è necessario individuare delle regole e delle generalizzazioni che riassumano i comportamenti osservati: queste permettono in molti casi di fare delle previsioni, ovvero di poter descrivere in anticipo lo svolgimento di un evento ancora non accaduto. Quando lo scienziato non si limita a osservare dei fenomeni naturali, ma ne influenza direttamente lo svolgimento, si parla di *esperimento*. La pratica sperimentale comporta spesso difficoltà notevoli, soprattutto nell'isolare il fenomeno specifico che vogliamo studiare da tutti gli altri che gli stanno accadendo attorno e che ne influenzano l'esito. Si rendono necessarie delle idealizzazioni e astrazioni, che passano il più delle volte attraverso la formulazione e lo studio di un **modello**. Se il modello è ben formulato e gli esperimenti condotti con successo, lo studio del fenomeno può dare luogo all'individuazione di una legge fisica, la quale può trovare spazio all'interno di una teoria scientifica [5]. Il moto delle stelle e dei pianeti sulla volta celeste, ad esempio, presenta molte regolarità. Per questo, i popoli dell'antichità avevano costruito dei modelli in grado di prevedere quando una certa costellazione sarebbe tornata visibile nel loro cielo. Tuttavia ci vollero molti secoli e vari tentativi successivi per arrivare all'idea-

zione di un modello capace di fornire anche una spiegazione del movimento osservato e portare quindi alla formulazione di una teoria scientifica (la teoria della gravitazione universale di Newton) capace sia di descrivere fenomeni ben noti, sia di prevedere il risultato di un esperimento ancora non realizzato (ad esempio il lancio di un satellite nello spazio).

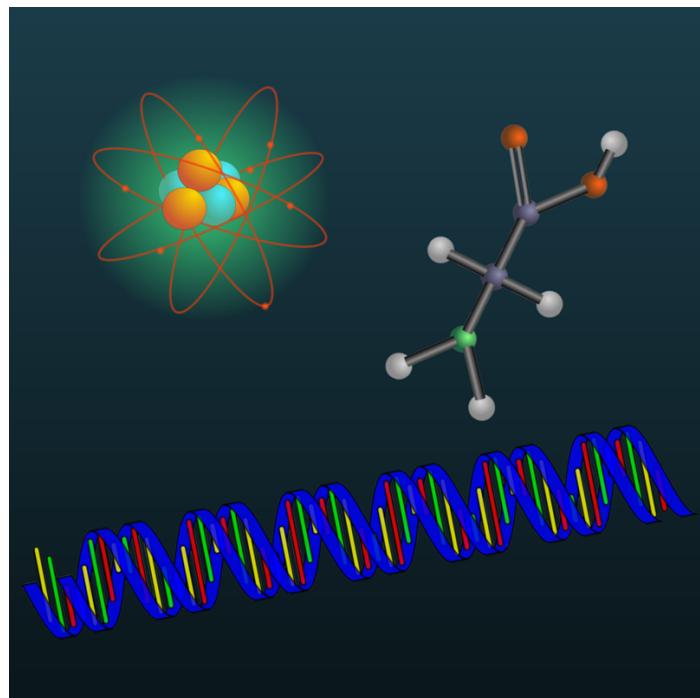
## Teorie, modelli e leggi scientifiche

Un *modello scientifico* è una rappresentazione semplificata di un fenomeno troppo complesso per essere analizzato direttamente in tutti i suoi aspetti [6]. Per questo si usa dire che "tutti i modelli sono sbagliati, ma alcuni sono utili". In questo contesto ci riferiamo a un **modello** inteso come un insieme di relazioni matematiche che descrivono il fenomeno di interesse, ma le nostre considerazioni valgono anche pensando alla riproduzione meccanica di un veicolo o di una articolazione del corpo umano. La costruzione e l'analisi dei modelli è uno strumento centrale della scienza: il ragionamento scientifico passa necessariamente per un modello del mondo che ci circonda. Analizzando le osservazioni sperimentali e progettando un nuovo esperimento si parte sempre da ipotesi che rappresentano già una prima interpretazione di fatti empirici. Anche nello studio della fisica elementare ci si imbatte presto nei più semplici modelli: il *punto materiale*, il *pendolo semplice*, il *gas perfetto*. Come si passa quindi da un modello a una teoria scientifica? Che differenza c'è tra modello e teoria? E quale relazione? Una **teoria** scientifica raccoglie elementi che godono di un buon livello di accettazione e condivisione all'interno della comunità scientifica. Per questo una teoria generalmente non può essere espressa in una singola affermazione o formula. Esempi sono la *teoria della relatività* o la *teoria dell'evoluzione*. Si noti che spesso, nel parlare comune, si tende a dare al termine *teoria* il significato di *speculazione* ("ho una mia teoria"), mentre nel mondo scientifico una teoria è qualcosa di ben assodato e supportato da numerose osservazioni e conferme. Parliamo invece di **leggi** (o **principi**) della scienza in riferimento a espressioni (matematiche o verbali) che sintetizzano un singolo concetto, anch'esso ben verificato. Esempi sono la *legge di conservazione dell'energia* o il *principio di aumento dell'entropia*. Queste leggi non costituiscono una spiegazione, ma piuttosto una affermazione su *come* si svolgono i processi della natura. Non sono scelte dall'uomo e l'uomo non può cambiarle: sono sempre e in ogni caso basate sull'osservazione dei fenomeni dell'Universo. In questo senso, non ci garantiscono che un giorno non troveremo casi nei quali

la loro validità non sussista, ma possiamo dire che per quello che conosciamo fino ad oggi esse sono rispettate. Si tenga presente che la scienza è un processo dinamico. La costruzione delle teorie scientifiche procede da ciò che è noto a ciò che non è ancora noto: nuove idee emergono dai risultati degli esperimenti, da analogie di ragionamento tra fenomeni e contesti diversi. È in questo modo che le teorie scientifiche vengono arricchite o superate [7].

## A cosa servono i modelli?

In questo processo, i modelli rappresentano uno degli strumenti fondamentali della scienza, per conoscere l'Universo e imparare come funziona. Fare scienza vuol dire costruire, testare, confrontare e rivedere modelli [8]. Ci serviamo di modelli, perché la realtà è troppo complicata. In questo senso, dobbiamo stabilire la relazione tra il nostro modello e il fenomeno che vogliamo capire. L'analisi del modello può avvenire in modalità differenti: con un esperimento, un esperimento concettuale, attraverso la soluzione di equazioni o per mezzo di una simulazione numerica (un programma eseguito da un computer). In ogni caso, dobbiamo sempre bilanciare le difficoltà insite nell'analisi del modello con la sua interpretabilità e il suo potere predittivo, quando trasferiamo i risultati dell'analisi al fenomeno reale. Si rischia di inserire nel modello troppe caratteristiche, che poi non riusciamo a identificare nei risultati degli esperimenti. Inoltre, dobbiamo sempre ricordare che i nostri modelli rappresentano un tentativo di spiegare la realtà, alla quale però non appartengono. Ad esempio, ci può capitare di dire che "i gas reali non si comportano secondo il modello del gas perfetto", ma sarebbe sempre meglio affermare che "il modello del gas perfetto non è in grado di descrivere in maniera corretta il comportamento dei gas reali per tutti i valori di pressione e temperatura". In generale i modelli ci servono per arrivare alla formulazione di una teoria. Tuttavia, si possono presentare casi nei quali abbiamo già a disposizione una teoria affidabile, la quale però risulta troppo complicata da trattare per la descrizione di un particolare fenomeno: possiamo allora ricorrere a un modello per quella applicazione specifica. Ad esempio, l'elettrodinamica quantistica (o *QED, Quantum ElectroDynamics*) è in linea di principio in grado di descrivere alcune caratteristiche di un cristallo, ma può risultare molto più semplice affrontare il problema introducendo ulteriori assunzioni e ragionando in termini meno elementari (ad esempio atomi, orbite e legami molecolari). Infine, a volte può essere utile costruire dei *toy model* (*modelli giocattolo*), che non descrivono nessun fenomeno naturale, ma costituiscono degli ottimi banchi di prova per applicare una teoria e studiare le difficoltà che potrebbero presentarsi nell'analisi di un caso reale. Si pensi ad esempio al modello di Ising per il ferromagnetismo: nato come esercizio per studenti, è in seguito divenuto il riferimento per l'applicazione di numerose tecniche di analisi tra meccanica statistica e fisica delle alte energie. Invece è bene non confondere i toy model con le semplificazioni utilizzate



**Figura 1** – Usuali rappresentazioni di un atomo, dei legami atomici in una molecola, di un tratto di DNA. Fino a che punto questi modelli grafici forniscono una descrizione accurata della realtà, e in quali aspetti invece sono eccessivamente idealizzati?

per stimare l'ordine di grandezza di una quantità di interesse: le famose *galline sferiche nel vuoto* delle barzellette! In definitiva, usiamo i modelli per dare una struttura ai dati osservativi, applicare una teoria a un caso specifico o costruire una nuova teoria. Spesso lo studio stimola analogie verso o da altri campi di ricerca, mettendo in risalto la grande *fertilità* di alcuni modelli. I modelli possono essere usati per fini esplicativi e previsionali, ma a volte anche in semplice chiave funzionale. Ad esempio, quando parliamo di *apparato circolatorio* nel corpo umano, stiamo attribuendo una sorta di realtà a se stante alla parte dei costituenti del nostro organismo che partecipa a una certa funzione. Questo però non vuol dire che possiamo davvero isolare questi aspetti dagli altri, o che cuore, vene e arterie abbiano coscienza di far parte di un team *particolare* [9].

## L'elettrone non esiste?

Siamo ora in grado di riprendere la nostra affermazione iniziale: "l'elettrone non esiste". Come già ricordato, tutto quello che possiamo osservare e misurare sono gli effetti rilevati dai nostri strumenti. Il resto è solo una nostra rappresentazione mentale: elettroni, atomi e legami chimici costituiscono il modo con il quale raccontiamo e cerchiamo di spiegare i fenomeni che accadono nell'Universo. Idee e concetti utilissimi, senza dubbio, che ci hanno permesso di fare sempre più progressi nella nostra

comprendere della realtà. A volte, tuttavia, è proprio questo bisogno di dare una interpretazione in termini di oggetti vicini alla nostra quotidianità a portarci fuori strada. Alcuni fenomeni richiedono delle interpretazioni poco intuitive, che sfuggono al senso comune. Tuttavia, esse si sono dimostrate in grado di farci capire meglio quello che ci accade attorno, ci hanno permesso di fare previsioni molto accurate e di arrivare a innovazioni tecnologiche impensabili cento anni fa. Rappresentare l'elettrone come una *pallina*, probabilmente, ha reso inizialmente più difficile accettare il fatto che numerosi fenomeni possano essere spiegati in maniera convincente assumendo che l'elettrone si comporti come un'onda. Molti concetti che riguardano il mondo microscopico non ammettono una descrizione in analogia con quella degli oggetti macroscopici (si pensi al concetto di spin o al principio di indeterminazione). Per questi motivi, possono esistere differenti modelli validi dello stesso sistema o processo fisico: ogni descrizione, necessariamente, si focalizza su un limitato numero di dettagli e aspetti. Ogni modello comporta delle assunzioni, idealizzazioni o ipotesi semplificative. Dobbiamo, di caso in caso, capire quanto e cosa possiamo riuscire a spiegare, a fronte delle complicazioni che aggiungiamo [9].

## In conclusione...

...un modello scientifico è una costruzione mentale, un *surrogato* della realtà. Come capire, allora, quali caratteristiche del fenomeno studiato è vantaggioso includere nel modello e quali invece devono essere lasciate da parte? Come si capisce se la descrizione è soddisfacente? La chiave è sempre il confronto con la realtà, ovvero con i risultati degli esperimenti. La fisica è una scienza sperimentale. Non è in grado di *provare* o *dimostrare*. È solo possibile portare osservazioni a supporto o a confutazione delle nostre teorie. Per questo non esiste un unico modello che vada bene per la descrizione di un certo fenomeno, ma solo quello più indicato al livello di dettaglio desiderato, in base alle informazioni disponibili. Fin quando parlare di elettroni, atomi e fotoni ci consentirà di mandare astronauti nello spazio e realizzare dispositivi tascabili nei quali immagazzinare la musica di centinaia di dischi, vorrà dire che la nostra descrizione ha un senso! La *verità* è quella che si manifesta e che possiamo mettere al vaglio dell'analisi sperimentale, mentre modelli, teorie e leggi scientifiche sono sempre legate a nostre ipotesi, assunzioni e semplificazioni. In definitiva, rappresentano i nostri tentativi di descrivere in modo sintetico l'Universo che ci circonda.

## Bibliografia

- [5] *Principles of physical science*. In *Encyclopædia Britannica Online*
- [6] *Models, Theories, and Laws*

[7] Hartmann S. *Models as a tool for theory construction: Some strategies of preliminary physics*. In *Theories and models in scientific process*, pp. 49–67 (1995). URL <http://philsci-archive.pitt.edu/2410/1/Models.pdf>

[8] *Models in Science*

[9] Hoskinson A.M., Couch B.A., Zwickl B.M., Hinko K.A. e Caballero M.D. *Bridging physics and biology teaching through modeling*. In *American Journal of Physics*, vol. 82(5):434–441 (2014). URL <http://arxiv.org/pdf/1308.3517v2>  
Corso online ‘*Model Thinking*’, offerto periodicamente sulla piattaforma Coursera, <https://www.coursera.org/course/modelthinking>.

Citata nella puntata 1x09 della serie TV ‘*The Big Bang Theory*’ della CBS. In generale, si veda la voce ‘*Spherical cow*’ di Wikipedia, all’indirizzo [https://en.wikipedia.org/wiki/Spherical\\_cow](https://en.wikipedia.org/wiki/Spherical_cow).

Commenti on-line: <http://www.accastampato.it/2015/09/elettrone-non-esiste/>

## Sull'autore

Marco Valli ([marco.valli@unpodifisica.it](mailto:marco.valli@unpodifisica.it)) ha conseguito la Laurea in Fisica e il Dottorato di Ricerca presso l’Università Sapienza di Roma. Dopo qualche esperienza nel campo della didattica (come esercitatore per corsi universitari e come docente nella scuola pubblica), è stato “Explainer Astronomico” presso il Planetario e Museo Astronomico di Roma. Ha lavorato per quasi 5 anni nel settore privato, progettando e realizzando modelli probabilistici per applicazioni industriali. Dal prossimo ottobre lancerà il suo progetto personale “...un po’ di Fisica” ([www.unpodifisica.it](http://www.unpodifisica.it)), tornando così al suo amore di sempre: la didattica.

# Fiat lux

## Produzione di luce dal vuoto quantistico

Vincenzo Macrì, Luigi Garziano

(Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Messina)

**B**asta puntare alla volta del cielo stellato un comune telescopio per ammirare il più grande spettacolo di cui l'uomo è parte integrante. Sistema solare, nebulose, stelle doppie, supernovae, buchi neri, galassie, ammassi stellari, tutto a portata dei nostri telescopi, tutto a portata della nostra esperienza. È sufficiente spostare di qualche grado l'orientazione dello strumento per osservare e fare esperienza di ciò che il senso comune percepisce come *lo spazio vuoto*.

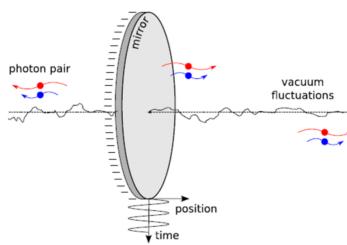
### Il concetto di vuoto secondo il senso comune

L'assenza di materia ha sempre affascinato i filosofi della Natura. Parmenide e Aristotele sostennero la tesi secondo la quale lo stato di vuoto non è realizzato in Natura, parlando infatti di *horror vacui*, mentre Leucippo e Democrito proposero, nell'ambito dell'atomismo, l'esistenza del *nulla* tra gli atomi costituenti la materia. Con Evangelista Torricelli si apre la fase moderna dello studio del vuoto. Gli esperimenti da lui eseguiti mediante l'utilizzo di tubi di vetro riempiti di mercurio confermarono l'esistenza del vuoto come stato stabile in Natura, risolvendo il dilemma ellenico e aprendo allo stesso tempo la strada a una nuova generazione di quesiti e dubbi sull'effettiva realtà di uno spazio vuoto, incapace di influenzare la dinamica della materia visibile. Seguendo il senso comune lo spazio vuoto ci appare dunque come il contenitore, di dimensione infinita, della materia di cui siamo fatti.

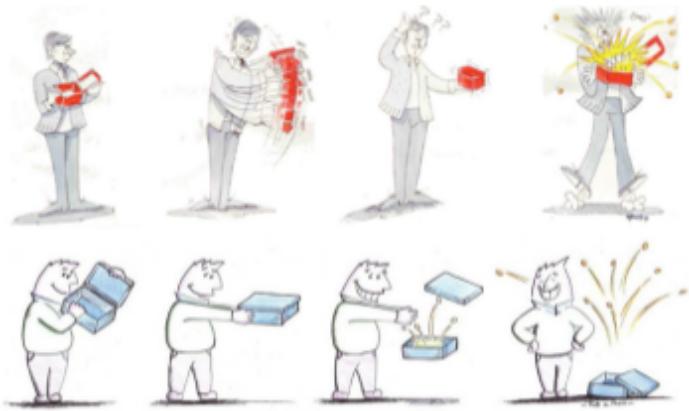
### Le forze di Casimir

Le teorie Newtoniane considerano lo spazio (al pari del tempo) come una proprietà intrinseca dell'universo, l'intelaiatura di un sistema all'interno del quale solo le parti della materia visibile interagiscono tra loro. Successivamente, grazie agli studi sperimentali sull'elettromagnetismo ad opera di Michael Faraday, lo spazio vuoto venne identificato come il mezzo di propagazione dell'interazione elettromagnetica. Due particelle cariche elettricamente interagiscono scambiando energia con il campo elettromagnetico da esse generato, il quale si propaga attraverso lo spazio così come un'onda si propaga sulla superficie del mare. Infine la teoria della relatività generale di Einstein dimostra che lo spazio vuoto non solo è strettamente connesso alla materia in esso contenuta, ma ne è anche influenzato: lo spazio si curva in presenza di elevate quantità di materia e la forza di gravità stessa è una manifestazione di questa curvatura.

Lo sviluppo della meccanica quantistica agli inizi del secolo scorso portò a una riconsiderazione dello stato di vuoto. Secondo il principio di indeterminazione di Heisenberg non è possibile determinare contemporaneamente la posizione e la velocità di una particella con precisione arbitraria. Detto diversamente, se di una particella conosco con alta precisione la sua posizione, ne consegue che la velocità può essere nota solamente con bassa precisione, e viceversa. Il principio di indeterminazione di Heisenberg vieta dunque l'esistenza di uno stato di assoluta immobilità e pertanto a ogni sistema fisico deve essere attribuito un contenuto minimo non nullo di energia, la cosiddetta energia di punto zero. Il principio vale in generale e per tutte le grandezze accoppiate, incluse energia e tempo. Si possono avere fluttuazioni del valore dell'energia via via maggiori se si considerano tempi sempre più piccoli. Siamo quindi arrivati al concetto di fluttuazioni del vuoto. Come ebbe modo di affermare J.C. Maxwell, il padre del moderno elettromagnetismo, il vuoto è ciò che rimane una volta tolto tutto il possibile. Quant'è l'energia ad esso associata? Se fosse zero questo sarebbe in contraddizione con il principio di Heisenberg, in quanto saremmo in presenza di una grandezza il cui valore è definito con precisione infinita. Dal momento che questo non è possibile, si deve ammettere l'esistenza di fluttuazioni di energia e la conseguente creazione spontanea, anche se per istanti molto brevi, di energia. Tale energia si manifesta come coppie particella-antiparticella dette *particelle virtuali*, oppure come onde elettromagnetiche, dette *fotoni virtuali*. Abbiamo quindi una nuova definizione: il vuoto quantistico, ossia lo stato di minima energia di un sistema. Questo vuoto ha delle proprietà che possono essere studiate sperimentalmente. L'effetto Casimir [10] consiste nelle fluttuazioni del vuoto elettromagnetico asso-



**Figura 1** – Rappresentazione grafica dell'esperimento ideale che dimostrerebbe l'effetto Casimir Dinamico. Lo specchio oscilla adiabaticamente intorno al suo punto di equilibrio a velocità relativistiche. In questa situazione il campo elettromagnetico di punto zero viene perturbato, permettendo così la conversione dei fotoni virtuali in reali.



**Figura 2** – In alto, vignetta del Casimir Dinamico: una scatola che idealmente racchiude il vuoto viene agitata da un ometto, simulando così l’aspetto dinamico dell’effetto Casimir, e dunque la conversione dei fotoni virtuali in reali. Si osserva la fuoriuscita della luce all’apertura della scatola. In basso, vignetta del Casimir Spontaneo: La scatola che idealmente racchiude il vuoto, ha potenzialmente la capacità di convertire al suo interno fotoni virtuali in fotoni reali se lasciata libera di *decadere* liberamente in uno stato energetico più basso.

ciate ai fotoni virtuali. La presenza di corpi conduttori in una regione di spazio limita il numero e il tipo dei fotoni virtuali che si possono manifestare. A causa di questo, due piatti conduttori paralleli, posti a distanza ravvicinata, sono soggetti ad una forza attrattiva (detta *forza di Casimir*) dovuta alle differenti pressioni di radiazione dei modi elettromagnetici virtuali.

## Effetto Casimir dinamico e spontaneo

Ci furono diversi tentativi sperimentali per la verifica dell’effetto Casimir, ma fu ben chiaro da subito che ciò sarebbe stato molto difficile, in quanto si trattava di portare dei corpi estesi a distanze micrometriche. La prima chiara verifica sperimentale è di S. K. Lamoreaux [11], che misurò la forza fra un piatto piano e una superficie sferica. Solo alcuni anni più tardi fu realizzata la misura della forza di Casimir nella configurazione originale a facce piane parallele, dunque senza l’uso di una superficie sferica. Grazie a questo successo si intraprese una nuova linea di ricerca concernente il vuoto in presenza di superfici che però non stanno più ferme ma si muovono oscillando a frequenza elevatissima. In questo nuovo esperimento si studia il cosiddetto *effetto Casimir dinamico* nel quale la presenza di una parete oscillante in interazione con i fotoni virtuali rende possibile la creazione di coppie di fotoni reali, cioè luce. In realtà non vi è nessuna estrazione di energia dal vuoto, in quanto l’energia spesa per far muovere la parete è estremamente maggiore di quella che si pensa di ricavare sotto forma di luce. Anche in questo caso, però, il fenomeno si capisce solo pensando alla presenza di fotoni virtuali che permeano tutto lo spazio. L’effetto Casimir dinamico è sta-

to recentemente confermato sperimentalmente, è stato possibile cioè estrarre i fotoni dal loro stato virtuale e trasformarli in fotoni reali. Anziché utilizzare uno specchio convenzionale i fisici sperimentali hanno sfruttato l’analogia con la Circuit QED (circuiti elettrici in elettrodinamica quantistica), nella fattispecie è stata usata una linea di trasmissione connessa a un dispositivo che fa da interfaccia quantistica superconduttriva chiamato SQUID (*superconducting quantum interference device*). Questo dispositivo può essere usato per cambiare l’effettiva lunghezza elettrica della linea di trasmissione, e questo cambiamento equivale all’effetto del movimento di uno specchio elettromagnetico nel vuoto. Modificando molto rapidamente la direzione del campo magnetico gli scienziati sono stati in grado di fare vibrare lo specchio ad una velocità pari a circa il 25% della velocità della luce, riuscendo così a generare un numero non trascurabile di fotoni dallo stato di vuoto [12]. Recenti studi teorici hanno dimostrato che, in contrasto col Casimir dinamico, è possibile generare coppie di fotoni reali senza l’applicazione di forze esterne al sistema. Ciò è stato possibile nell’ambito della Circuit QED in cui vengono utilizzati atomi artificiali accoppiati a guide d’onda superconduttrici. Si parla in questo caso di *Casimir spontaneo* [13].

## Bibliografia

- [10] Casimir H.B. *On the attraction between two perfectly conducting plates*. In *Proc. K. Ned. Akad. Wet*, vol. 51, p. 150 (1948)
- [11] Lamoreaux S.K. *Demonstration of the Casimir force in the 0.6 to 6  $\mu m$  range*. In *Physical Review Letters*, vol. 78(1):5 (1997)
- [12] Wilson C., Johansson G., Pourkabirian A., Simoen M., Johansson J., Duty T., Nori F. e Delsing P. *Observation of the dynamical Casimir effect in a superconducting circuit*. In *Nature*, vol. 479(7373):376–379 (2011)
- [13] Stassi R., Ridolfo A., Di Stefano O., Hartmann M. e Savasta S. *Spontaneous conversion from virtual to real photons in the ultrastrong-coupling regime*. In *Physical review letters*, vol. 110(24):243601 (2013)

Commenti on-line: <http://www.accastampato.it/2015/09/vuoto-quantistico/>

## Sull’autore

Vincenzo Macrì (vmacri@unime.it) si è laureato presso l’Università degli Studi di Messina nel 2014. Attualmente è dottorando presso lo stesso ateneo e fa parte dell’associazione studentesca EPS Young Minds Messina. Luigi Garziano (lgarziano@unime.it) si è laureato presso l’Università degli Studi di Messina nel 2012. Attualmente è dottorando presso lo stesso ateneo e di recente ha trascorso un mese al RIKEN Wako Center (Giappone) per una collaborazione scientifica.

# Pinzette di luce

La luce come strumento di manipolazione e investigazione di micro e nano oggetti

Alessandro Magazzù

(Bilkent University di Ankara)

**L**a luce e i fenomeni ad essa associati hanno da sempre affascinato l'uomo e sono stati oggetto di studio per molti scienziati, i quali, nel corso dei secoli, sono riusciti a conferirle un ruolo da protagonista nell'indagine spettroscopica della materia. Negli ultimi cinquant'anni tale ruolo si è via via rafforzato grazie all'invenzione dei dispositivi laser e alla comprensione delle forze ottiche che la luce è in grado di esercitare sulla materia. Tali forze, solitamente dell'ordine del pico-Newton ( $10^{-12}$  N), possono essere utilizzate per manipolare e investigare oggetti le cui dimensioni possono spaziare da alcuni micron ( $10^{-6}$  m, ovvero un millesimo di millimetro) fino a pochi nanometri ( $10^{-9}$  m).

## Un po' di storia

Il fenomeno dell'intrappolamento ottico e della consequenziale manipolazione ottica di micro e nano particelle è uno dei risultati più affascinanti e di recente scoperta dell'interazione luce-materia. Keplero, nel 1619, fu il primo a intuire che da tale interazione potesse scaturire una pressione esercitata dalla luce sulla materia, detta pressione di radiazione [14, 15]. Egli, infatti, osservando la coda di una cometa, ne spiegò l'origine e la direzione opposta al sole come dovuta alla pressione impressa dai raggi solari sulle particelle sublimate.

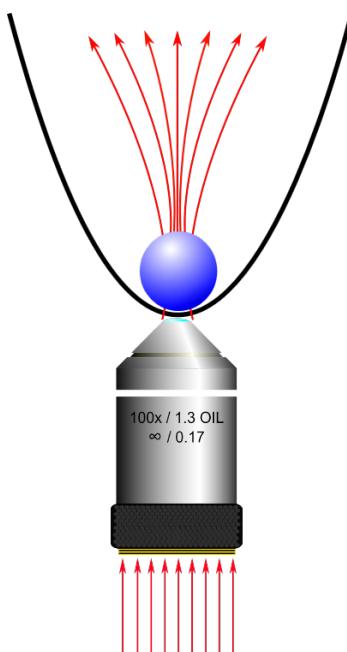
Da qui alla realizzazione dei primi dispositivi per la manipolazione ottica della materia passarono diversi secoli, durante i quali è stata formulata la teoria elettromagnetica di Maxwell (1873) per la spiegazione dell'interazione radiazione-materia ed è stata sviluppata la teoria dello scattering di Mie (1908), che descrive matematicamente l'interazione tra un'onda elettromagnetica e una particella sferica. Tale intervallo temporale ha permesso inoltre lo sviluppo delle tecnologie adeguate per la realizzazione dei vari componenti dei setup sperimentali, dal microscopio ai laser. Sebbene nel 1960 tutti i protagonisti della nostra storia fossero presenti all'appello, si dovettero attendere altri ventisei anni prima che Arthur Ashkin realizzasse il primo dispositivo a *pinzette ottiche* in grado di manipolare campioni di diversa natura e dimensione [16, 17, 18, 19].

## Le pinzette ottiche moderne

Una particella (supposta per semplicità sferica e non assorbente) sottoposta a un laser fortemente focalizzato è soggetta a una forza ottica composta principalmente da un contributo repulsivo

(scattering) e uno attrattivo. Il contributo di scattering è dovuto alla pressione di radiazione che spinge la particella nella direzione di propagazione del fascio laser. Il contributo attrattivo invece è dovuto a un'estrema focalizzazione del fascio laser, che genera un gradiente d'intensità talmente forte da dare luogo ad una forza attrattiva diretta verso il centro della regione focale [20].

Una particella si dice quindi *otticamente intrappolata* quando la forza attrattiva, in particolare la componente lungo l'asse di propagazione del laser, risulta maggiore della forza di scattering dovuta alla pressione di radiazione, permettendo la creazione di una trappola ottica stabile, (cfr. Figura 1). La particella, per piccoli spostamenti dalla propria posizione di equilibrio, dovuti al suo moto caotico, può essere considerata soggetta ad un potenziale ottico intrappolante di tipo armonico. Gli spostamenti della particella dalla propria posizione di equilibrio possono essere registrati e analizzati in vari modi, permettendo la ricostruzione del moto caotico tridimensionale degli oggetti all'interno della trappola e la misurazione delle forze agenti su di essi [21].



**Figura 1** – Raffigurazione semplificata di una pinzetta ottica. Le frecce rosse parallele rappresentano il fascio laser entrante nell'obiettivo, mentre quelle curve rappresentano il fascio focalizzato uscente. La linea curva nera rappresenta il potenziale di tipo armonico al quale è soggetta la particella sferica intrappolata.

## Il potenziale armonico

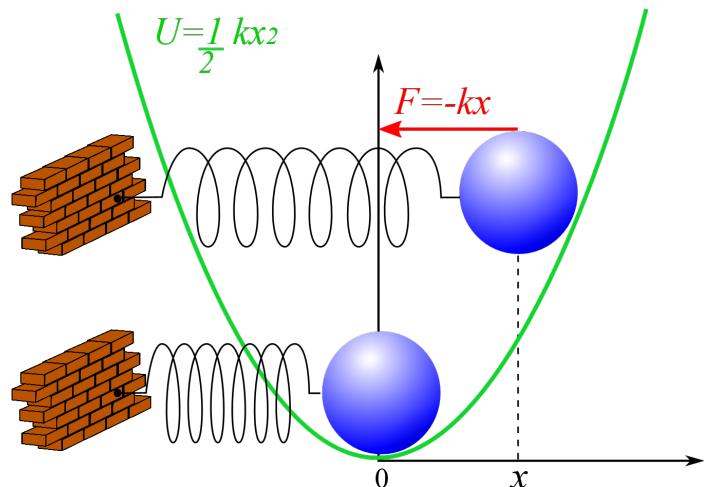
In fisica, viene definito oscillatore armonico un qualsiasi sistema che se spostato dalla sua posizione di equilibrio, mostra una forza di richiamo (tendente a riportarlo nel suo precedente stato di equilibrio) proporzionale allo spostamento stesso. Per semplicità consideriamo una molla, di rigidità  $\kappa$ , avente un'estremità fissata e un oggetto attaccato all'altra estremità (cfr. Figura 2). In condizione di riposo ( $x = 0$ ), la sua energia potenziale è pari a zero. Non appena spostiamo l'oggetto dalla sua posizione d'equilibrio ( $x \neq 0$ ), la molla accumulerà una certa energia pari a  $U = \frac{1}{2}\kappa x^2$  che darà luogo a una forza di richiamo  $F = -\kappa x$  che riporterà l'oggetto alla sua posizione di equilibrio.

## Applicazioni delle pinzette ottiche

Fin dalla loro invenzione le pinzette ottiche sono state applicate a diversi campi di ricerca. Il loro successo è dovuto anche al costo relativamente basso di realizzazione, che ne ha permesso la diffusione in centinaia di laboratori in tutto il mondo. Esse hanno rivoluzionato lo studio dei sistemi microscopici, permettendo la manipolazione e l'assemblaggio di biomolecole, cellule, nanostrutture e singoli atomi [22]. Le particelle intrappolate sono generalmente sospese in soluzioni acquose, che permettono l'investigazione e la manipolazione di cellule viventi all'interno del loro ambiente nativo, senza un contatto fisico. Usando una particella intrappolata come trasduttore di forza è inoltre possibile investigare le interazioni tra particelle e misurare forze con risoluzione del femto-Newton ( $10^{-15}$  N) [23, 24]. L'integrazione delle pinzette ottiche con la spettroscopia Raman ha portato alla realizzazione delle *pinzette Raman*, tramite le quali è possibile intrappolare e investigare le proprietà chimico-fisiche di un solo campione per volta. Tramite tale tecnica è stato possibile ottenere gli spettri Raman dei singoli virus e delle singole cellule in vivo [25]. Dall'unione della foto-polimerizzazione e le pinzette ottiche nasce la foto-litografia (Box. 3), grazie alla quale è possibile manipolare e costruire strutture tridimensionali con precisione nanometrica [26], come ad esempio cristalli di zeolite, cioè cristalli in grado di assorbire una data sostanza (acqua, elio, azoto, ...) al di sotto di una certa temperatura e di rilasciarla in fase gassosa al di sopra di tale temperatura [27].

## La spettroscopia Raman

La parola spettroscopia è composta dal termine *spettro* (dal latino *spectrum*, immagine) e dal termine *scopia* (dal greco *skope*, osservazione), e si riferisce all'uso di una sonda, quale ad esempio un fascio laser, per lo studio della struttura e delle proprietà della materia. Quando un fascio laser con lunghezza d'onda  $\lambda_0$  incide sulla materia, viene per la maggior parte diffuso elasticamente, ossia con la medesima lunghezza d'onda ( $\lambda = \lambda_0$ ) per



**Figura 2** – Rappresentazione del potenziale armonico di una massa collegata a una molla.

effetto Rayleigh. Tuttavia una piccola percentuale della radiazione incidente subisce una diffusione anelastica: viene cioè diffusa con una lunghezza d'onda  $\lambda$  diversa da quella originaria ( $\lambda \neq \lambda_0$ , effetto Raman). La differenza fra queste lunghezze d'onda è tipica di ciascun materiale, cioè ogni materiale possiede uno spettro Raman caratteristico, come un'impronta digitale. Per questo motivo la spettroscopia Raman rappresenta un valido strumento di riconoscimento e di identificazione dei materiali non solo in ambito di ricerca ma anche in svariati ambiti applicativi (forense, farmaceutico, beni culturali, ...).

## La foto-litografia

La foto-litografia è una tecnica che si basa sulla manipolazione ottica degli oggetti e sul fenomeno della foto-polimerizzazione. Un foto-polimero è un polimero (una macromolecola costituita dalla ripetizione di tante unità più piccole chiamate monomeri, come una catena costituita dall'unione delle singole maglie), le cui proprietà cambiano quando viene esposto alla luce ultravioletta ( $\lambda \simeq 400 \div 100$  nm, dove  $1$  nm =  $10^{-9}$  m). Questi cambiamenti riguardano spesso la struttura interna del materiale e risultano nell'indurimento del materiale stesso. Mediante la foto-litografia si possono per esempio costruire strutture manipolando vari blocchetti di polimero in modo tale che, una volta posizionati opportunamente, l'intera struttura possa essere illuminata con radiazione ultravioletta per unire i singoli blocchi in un'unica struttura più resistente.

Infine, lo sviluppo delle tecnologie ottiche e delle varie tecniche di microfabbricazione ha permesso la costruzione di micro strutture con dei microcanali, sia per farvi scorrere all'interno delle piccolissime quantità di fluido sia la luce. Con tali dispositivi è possibile inviare luce su piccolissime quantità di fluido e raccoglierne lo spettro. In tale maniera è possibile realizzare dei dispositivi

# Due cose so infinite L'Universo e la Maggica

[www.facebook.com/LaScienzaCoatta](https://www.facebook.com/LaScienzaCoatta)

spettroscopici aventi dimensioni ridottissime, come quelle di un chip. All'interno di tali chip è possibile realizzare micro e nano macchine come rotori o pompe grazie all'utilizzo delle pinzette ottiche [28].

## Bibliografia

- [14] Lebedew P. *Untersuchungen über die Druckkräfte des Lichtes*. In *Annalen der Physik*, vol. 311(11):433–458 (1901)
- [15] Nichols E.F. e Hull G.F. *A preliminary communication on the pressure of heat and light radiation*. In (1901)
- [16] Ashkin A. *Acceleration and trapping of particles by radiation pressure*. In *Physical review letters*, vol. 24(4):156 (1970)
- [17] Ashkin A. e Dziedzic J.M. *Optical levitation by radiation pressure*. In *Applied Physics Letters*, vol. 19(8):283–285 (1971)
- [18] Ashkin A. *History of optical trapping and manipulation of small-neutral particle, atoms, and molecules*. In *Selected Topics in Quantum Electronics, IEEE Journal of*, vol. 6(6):841–856 (2000)
- [19] McGloin D. e Reid J.P. *Forty years of optical manipulation*. In *Optics and Photonics News*, vol. 21(3):20–26 (2010)
- [20] Omori R., Kobayashi T. e Suzuki A. *Observation of a single-beam gradient-force optical trap for dielectric particles in air*. In *Optics letters*, vol. 22(11):816–818 (1997)
- [21] Magazzù A., Spadaro D., Donato M.G., Sayed R., Messina E., D'Andrea C., Foti A., Fazio B., Iatì M.A., Irrera A. et al. *Optical tweezers: a non-destructive tool for soft and biomaterial investigations*. In *Rendiconti Lincei*, pp. 1–16

Commenti on-line: <http://www.accastampato.it/2015/09/micro-nano-oggetti/>

## Sull'autore

Alessandro Magazzù (mago.alex@gmail.com) si è laureato in Fisica presso l'università di Messina. Ha svolto la sua attività di dottorato presso il CNR IPCF di Messina. Ha effettuato diversi periodi di ricerca all'estero tra Francia, Regno Unito e Turchia. A breve inizierà la sua attività di post-doc presso la Bilkent University di Ankara.

Oh Albé, m'hanno detto che nun sei solo er boss de Tinder ma che te la spigni pure co' la scienza daa luce... visto che ce stamo perché nun me parli un po' de ste cose che fai? Te credi che nun te capisco?

Va bene Francé, solo perché sei te. Partimo da'e basi, dar fatto che 'a luce comunque er tempo suo ce lo mette pe' anna da na parte a n'artra. Ciòe, ner senso, comunque è la cosa più veloce dell'Universo, ma un po' pe' movese je ce vole.

Direi che ce posso sta, la luce è tipo Gervinho.

Bravo pupo', tipo Gervinho. Mo' immagina che stai pe' fa er cucchiaio sotto la curva Sud ar Derby.

Lo infilo regolare.

Regolare, sennò so' cazzo tua, ma stamme a senti. Ora ce sta un ultrà daa Roma di fronte a te che se precipita su'a rete metallica pe' vede la palla che entra e gode' come un maiale.

Noo stesso momento ce sta un laziale in Curva Nord che sta a vede che stai pe fa er cucchiaio. Mo' siccome che la luce comunque c'ha 'na velocità finita, secondo te chi vede prima che l'hai purgati?

Quoo nostro, quoo daa Roma, perché sta sotto 'a curva Sud e me sta più vicino. Se arriva davero a bordo campo me ce scatto pure un selfie.

Bravo Francé, così semplice. Mo sta cosa che te pare così ovvia è 'na conseguenza der fatto caa luce c'ha na velocità grossa, tipo Gervinho, ma finita e quindi nun arriva dappertutto allo stesso istante, ma ce mette er tempo che ce mette.

Ovviamente so' differenze che nun se ponno vede davero così in pochi metri, però per esempio quanno stai a vedè luci astrofisiche che vengono da Alfa Quarcosa avoja si te ne accorgi. Tipo la luce che me sta a tinteggià er pettorale adesso quella è partita dar Sole circa 8 minuti fa, quanno te stavi a comprà er Magnum Bianco che te stai a ingurgità.

Daje France', mo si me vai a pija n'artra bira te spiego pure la storia de li gemelli, l'astronauta daa Roma e er culone daa Lazio...



# Luce per distruggere luce per costruire

Distruggere un materiale per creare uno nuovo con proprietà totalmente differenti

Marco Santoro, Santi Scibilia

(Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Messina)

**L**a scienza dei materiali è un campo di ricerca che ha portato ad un notevole sviluppo tecnologico negli ultimi decenni. In quest'ambito si definiscono *nanostrutture* quei materiali in cui le dimensioni sono dell'ordine dei nm (di solito si parla di dimensioni che spaziano dai  $10^{-7}$  ai  $10^{-9}$  m). È interessante lo studio di questo tipo di materiali perché le loro dimensioni ridotte forniscono proprietà che essi non possiederebbero nella loro forma *tridimensionale* [29, 30]. L'approccio che solitamente si utilizza in fisica per la realizzazione di materiali nanostrutturati è di tipo *top-down* che, partendo da strutture di dimensioni macroscopiche, permette di arrivare tramite raffinamenti successivi a materiali le cui dimensioni raggiungono anche i pochi nanometri.

## Come distruggere, come creare

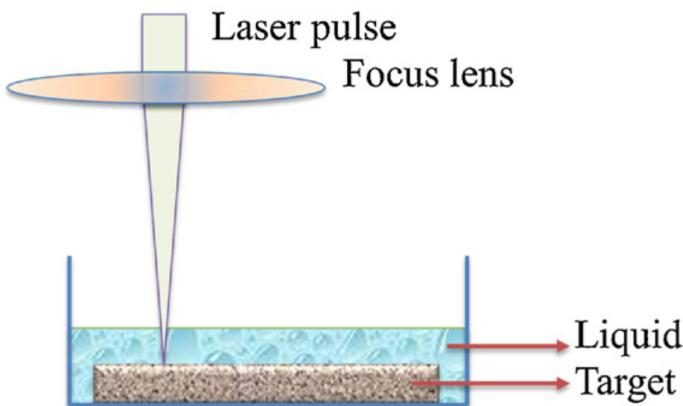
Uno dei metodi più versatili per la realizzazione di questo tipo di materiali è la *Pulsed Laser Deposition* che sfrutta l'utilizzo della luce di un laser impulsato altamente energetico che viene focalizzato su un campione. È lo stesso principio che ci permette, focalizzando la luce del sole con una lente d'ingrandimento, di bruciare un pezzo di carta, con la differenza che l'intensità del laser è più elevata. Si parla infatti di densità superficiali di energia che vanno dai pochi  $J/cm^2$  alle centinaia di  $J/cm^2$  e di un tempo di rilascio molto più breve, solitamente su scale temporali che vanno dai  $10^{-9}$  ai  $10^{-12}$  s).

L'energia del laser viene assorbita e convertita in energia termica innescando il *meccanismo di ablazione* che porta all'espulsione

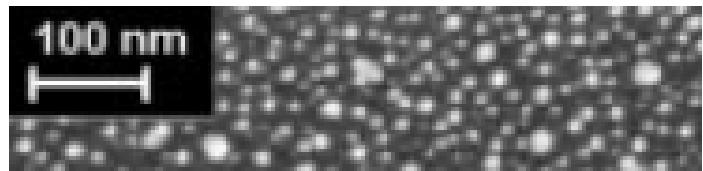
di materiale dal campione producendo un micro-plasma costituito da atomi, ioni ed elettroni. Il meccanismo di ablazione si attiva perché l'energia trasferita dall'impulso laser è molto alta, così come la temperatura raggiunta dal campione nel punto in cui viene focalizzato l'impulso e, da un punto di vista cinetico, viene favorito il processo di espulsione delle particelle rispetto a quello di diffusione del calore all'interno del campione [31]. Queste particelle, una volta espulse, si riaggredano (in ambiente gassoso o in liquido) formando degli aggregati (cluster) di dimensioni variabili che vanno dai pochi *nanometri* fino anche a qualche frazione di *micrometro*, in base alle condizioni sperimentali che vengono utilizzate per la loro sintesi.

## Cosa creare e perché

Le nanoparticelle così realizzate possono essere utilizzate per svariate applicazioni: dalla nanoelettronica alla farmaceutica, dall'aerospaziale alle nanobiotehnologie. In questo campo, un'applicazione di particolare interesse è quella del *drug delivery* [32], riguardante la possibilità di inserire farmaci all'interno di nanocapsule, costituite spesso da polimeri, assieme a nanoparticelle metalliche, formando quindi un sistema nanocomposito. In questo modo è possibile sfruttare le proprietà magnetiche delle nanoparticelle (in particolare di ossidi metallici) per veicolare il moto delle nanocapsule mediante un campo magnetico. È possibile inoltre, sfruttando le capacità di assorbimento ottico possedute da nanoparticelle di metalli nobili (come oro o argento), aumentare la percentuale di rilascio del farmaco quando il sistema viene sottoposto ad una sollecitazione ottica di opportuna lunghezza d'onda. Per essere utilizzabili, è necessario che questi nanocompositi rientrino nell'intervallo di biocompatibilità imposto dal sistema sanitario nazionale; è quindi possibile inserirli in un organismo e far avvenire un rilascio localizzato e controllato del farmaco. Questo tipo di sistemi viene utilizzato spesso per il trattamen-



**Figura 1** – Schema del setup sperimentale utilizzato per l'ablazione da fasci laser impulsato in liquidi.



**Figura 2** – Immagine di un substrato di nanoparticelle realizzata utilizzando un microscopio elettronico a scansione che rende possibile un'analisi morfologica delle strutture create.

to di tumori perchè permette la realizzazione di una terapia non invasiva.

Si vede quindi come, attraverso l'utilizzo della luce laser sia possibile letteralmente distruggere un materiale per poter creare da questo delle nuove strutture (le nanoparticelle) con proprietà meccaniche, ottiche ed elettriche completamente diverse dal materiale di partenza. La luce ci permette quindi di modificare radicalmente il comportamento dei materiali.

## Bibliografia

- [29] Vajtai R. *Springer handbook of nanomaterials*. Springer Science & Business Media (2013)
- [30] Lindsay S. *Introduction to nanoscience*. OUP Oxford (2009)
- [31] Yan Z. e Chrisey D.B. *Pulsed laser ablation in liquid for micro-/nanostructure generation*. In *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, vol. 13(3):204–223 (2012)
- [32] Mora-Huertas C., Fessi H. e Elaissari A. *Polymer-based nanocapsules for drug delivery*. In *International journal of pharmaceutics*, vol. 385(1):113–142 (2010)

Commenti on-line: <http://www.accastampato.it/2015/09/ablazione-laser/>

## Sull'autore

Marco Santoro ([santoro.marco92@gmail.com](mailto:santoro.marco92@gmail.com)) si è laureato in Fisica presso l'Università degli Studi di Messina nel 2015 con una tesi nell'ambito dei nanomateriali. Vincitore di un concorso di Dottorato di Ricerca presso lo stesso ateneo nel 2015. Dal 2014 fa parte dell'associazione studentesca EPS Young Minds di Messina.

Santi Scibilia ([sscibilia@unime.it](mailto:sscibilia@unime.it)) si è laureato presso l'Università degli Studi di Messina nel 2011, dove ha anche conseguito il titolo di Dottore di Ricerca nel 2015 con una tesi sulle nanostrutture prodotte mediante ablazione laser. Dal 2013 fa parte dell'associazione studentesca EPS Young Minds di Messina.

# Luce sul muone

Dal Cern al Fermilab: l'esperimento g-2

Antonio Anastasi

(Dipartimento di Fisica e di Scienze della Terra, Università degli Studi di Messina)

**I**l mondo della ricerca, come a esempio quello delle misure ad alta energia o ad altissima precisione, richiede un enorme e continuo sviluppo tecnologico. Se così non fosse, non sarebbe possibile fare nuove scoperte e migliorare quindi, oltre alla conoscenza del mondo fisico da un punto di vista fondamentale, tutti quegli aspetti applicativi che ne conseguono; basti pensare ai progressi della medicina nucleare o alle moderne tecnologie di comunicazione. Non sempre però in un esperimento i miglioramenti sono dovuti esclusivamente allo sviluppo tecnologico della strumentazione. A volte un semplice effetto della radiazione elettromagnetica (in questo caso della luce visibile) può giocare il suo ruolo fondamentale. È questo il caso dell'esperimento g-2.

## Cos'è g-2?

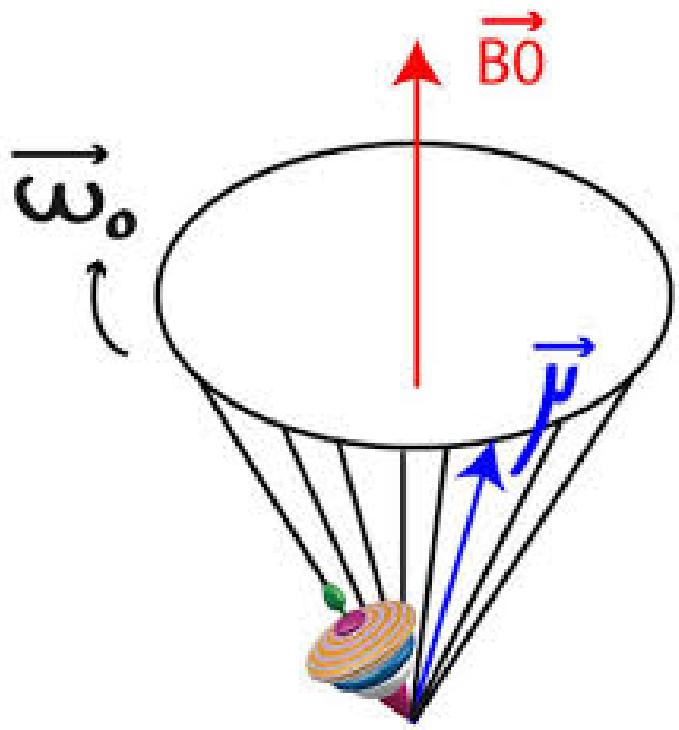
L'esperimento g-2 è un esperimento nell'ambito della fisica delle particelle che ha come scopo quello di misurare il valore dell'anomalia magnetica del muone  $a_\mu = \frac{g-2}{2}$  [33], che indica la devia-

zione dal valore previsto da Dirac per il fattore giromagnetico (o di Landè)  $g = 2$ . Il punto di forza di questo esperimento non sta nelle grandi energie utilizzate (3 GeV per g-2, contro i 13 TeV di LHC, il più famoso acceleratore dei giorni nostri costruito al CERN), ma nell'altissima precisione con cui si può ottenere il risultato della misura. Infatti, sia il valore previsto teoricamente per  $a_\mu$  sia quello sperimentale sono determinati con un altissimo livello di precisione. Ciò comporta che anche piccolissime differenze, dell'ordine della decima cifra decimale, se confermate, possono dirci se la teoria su cui ci basiamo è differente dalla realtà sperimentale. Da ciò si può comprendere come anche in questo caso lo sviluppo tecnologico della strumentazione e degli apparati deve essere notevole per limitare al massimo le fonti di errore. La misura consiste nel determinare il *momento magnetico anomalo* del muone, ossia come questa particella, esattamente identica all'elettrone tranne che per la sua massa elevata, precede intorno al suo asse (cfr. Figura 1).

La storia di questo esperimento ha inizio negli anni '60 al CERN, dove vennero effettuati in tutto tre esperimenti, per poi andare oltre oceano, precisamente ai Laboratori Nazionali di Brookhaven (BNL, New York), fino a giungere al Fermi National Accelerator Laboratory (FNAL, Illinois). Ogni esperimento, per via di miglioramenti tecnologici nell'apparato sperimentale ha portato a ottenere un valore della misura sempre più preciso.

## Luce blu a FNAL

È nell'ultimo esperimento, in questo momento in costruzione a FNAL, che accanto allo sviluppo tecnologico per migliorare le performance della strumentazione, la luce gioca il suo ruolo fondamentale per migliorare la misura. Per poter misurare questa proprietà dei muoni è necessario rivelarli tramite degli oggetti chiamati calorimetri, all'interno dei quali i muoni lasciano una traccia in maniera indiretta. Compito di questi *calorimetri* è quello di trasformare la traccia della particella che li attraversa in un segnale luminoso che può essere rivelato e analizzato. I calorimetri usati dai precedenti esperimenti, detti a *scintillazione*, hanno bisogno di un certo tempo<sup>1</sup> per effettuare questa *trasformazione*. Questo ritardo temporale fa in modo che se due particelle arrivano molto vicine temporalmente, viene persa l'informazione sulla seconda. Questo problema, detto *pile-up*, ha un effetto rilevante



**Figura 1** – Una trottola che precede. È ciò che avviene ai muoni immersi in un campo magnetico.

<sup>1</sup> Tempo molto piccolo se confrontato con quello a cui siamo abituati, ma rilevante se paragonato alla velocità della luce.

sulla precisione della misura. Per poter risolvere questo problema intrinseco del calorimetro, nel nuovo esperimento si è pensato di utilizzare una proprietà della radiazione elettromagnetica piuttosto semplice e per nulla innovativa: l'effetto Cherenkov (cfr. Figura 2). Questo effetto consiste nell'emissione di luce blu da parte di un materiale, il Fluoruro di Piombo in questo caso ( $PbF_2$ , cfr. Figura 3) quando le particelle che lo attraversano hanno una velocità maggiore di quella che avrebbe la luce se lo attraversasse [34, 35]. Questa emissione di luce blu, al contrario di ciò che avviene nei calorimetri a scintillazione, è immediata e aiuta a risolvere il problema del ritardo nel trasformare l'informazione della particella in informazione luminosa come nessun altro strumento riesce a fare.

## Luce, eterna protagonista

Non bisogna dimenticare che la luce è comunque di primaria importanza in tutti gli esperimenti, perché tutti i sistemi di rivelazione non sono altro che grandi occhi, seppur molto più sensibili dei nostri, che devono *vedere* ciò che accade. In questo caso però è la luce stessa, per altro visibile a occhio nudo, che contribuisce direttamente a portare uno sviluppo e un miglioramento a un intero esperimento scientifico.

## Bibliografia

- [33] Bennett G., Bousquet B., Brown H., Bunce G., Carey R., Cushman P., Danby G., Debevec P., Deile M., Deng H. *et al.* *Measurement of the negative muon anomalous magnetic moment to 0.7 ppm*. In *Physical review letters*, vol. 92(16):161802 (2004)
- [34] Fienberg A., Alonzi L., Anastasi A., Bjorkquist R., Cauz D.,



**Figura 2** – Luce Cherenkov emessa dal passaggio di un muone.



**Figura 3** – Cristallo di  $PbF_2$ .

Fatemi R., Ferrari C., Fioretti A., Fankenthal A., Gabbanini C. *et al.* *Studies of an array of  $PbF_2$  Cherenkov crystals with large-area SiPM readout*. In *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. 783:12–21 (2015)

[35] Achenbach P., Baunack S., Grimm K., Hammel T., Von Harrach D., Ginja A.L., Maas F., Schilling E. e Ströher H. *Measurements and simulations of Cherenkov light in lead fluoride crystals*. In *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. 465(2):318–328 (2001)

Commenti on-line: <http://www.accastampato.it/2015/09/esperimento-g2/>

## Sull'autore

Antonio Anastasi ([antanastasi@unime.it](mailto:antanastasi@unime.it)) si è laureato presso l'Università degli Studi di Messina nel 2013 con una tesi sul sistema di calibrazione per l'esperimento g-2 a Fermilab. Dal 2014 è Dottorando presso l'Università di Messina dove lavora sull'esperimento g-2 in collaborazione con i Laboratori Nazionali di Frascati (INFN) e il Fermilab.

# M'illumino di scienza

Mostra sulla luce a Roma

Giovanni Organtini

(Dipartimento di Fisica, Università Sapienza di Roma)

**S**olo dalla seconda metà del 2014 la Facoltà di Scienze dell’Università Sapienza di Roma si è dotata della figura istituzionale del Delegato alla Comunicazione Scientifica nella persona del sottoscritto. Quale migliore occasione della concomitante proclamazione del 2015 come Anno Internazionale della Luce per mettere alla prova la capacità della Facoltà di organizzare eventi di diffusione dei risultati della ricerca attraverso questo nuovo ufficio? È così che, dopo alcune riunioni con i diversi Dipartimenti interessati, abbiamo deciso di dar vita a una grande e originale mostra sul tema della luce da tenersi nel corso del 2015.

## Dalla Notte dei Ricercatori alla Maker Faire

La mostra sarà inaugurata in occasione della Notte dei Ricercatori, il 25 settembre, con un’apertura serale straordinaria. In quell’occasione saranno presenti tutti i ricercatori che hanno contribuito per fare da guida, nonché tutti coloro che in qualche maniera avranno contribuito alla sua realizzazione.

Nelle settimane successive la mostra sarà aperta su prenotazione per le scuole, fino al 16 ottobre, quando nella nostra Università avrà inizio l’edizione europea della Maker Faire 2015: un evento di portata colossale per il quale si prevede, nei tre giorni di apertura, un afflusso di pubblico straordinario valutato nell’ordine delle centomila persone. Durante i tre giorni della Maker Faire, e nei giorni successivi, fino alla chiusura prevista per il 21 ottobre, la mostra sarà visitabile da tutti liberamente.

Un’occasione così importante richiedeva di pensare a qualcosa di straordinario: così abbiamo pensato di costruire un percorso didattico guidato dalla fisica della luce, attorno al quale costruire una serie di *deviazioni* verso discipline diverse. La mostra si aprirà con una sezione sull’ottica geometrica nella quale il visitatore avrà modo di sperimentare i fenomeni luminosi spiegabili alla luce della teoria corpuscolare della luce. Il visitatore, successivamente, sarà testimone dei fenomeni difettivi che fanno ritenere che la luce sia, in realtà, un’onda. In una terza sezione, infine, l’esperimento dell’effetto fotoelettrico dimostrerà al visitatore che la luce non si può interpretare né come onda né come flusso di particelle, ma come entrambe le cose allo stesso tempo, introducendo così la meccanica quantistica.

La fisica non è l’unica scienza presente: per la biologia si mostrerà come la luce influenzi lo sviluppo di organismi sia nel regno vegetale che in quello animale; per la mineralogia verrà dimostrato come la luce polarizzata consenta l’identificazione delle rocce

e per la matematica saranno esposti modelli in 3D ricostruiti a partire da immagini bidimensionali, con tecniche che impiegano le leggi dell’ottica.

Anche la fruibilità della mostra avrà un carattere innovativo: in questo percorso non troverete i poster con la spiegazione dettagliata di quel che vedrete. I poster si limiteranno a illustrare brevemente cosa state osservando e cosa ci si aspetta che facciate. La presenza di QR-code, inquadrabili con un comune smartphone, vi permetterà quindi di accedere a contenuti di livello differenziato per target: bambini, studenti, docenti, pubblico generico. Dopo aver visitato la mostra il pubblico disporrà così di una raccolta di link dai quali attingere tutte le informazioni necessarie per comprendere ciò che ha visto.

Le installazioni interattive permetteranno ai visitatori di eseguire gli esperimenti in prima persona, ma in sicurezza e con la garanzia di corretta esecuzione. E per la prima volta, le installazioni non saranno realizzate da professionisti del settore, ma da maker volontari della Fondazione Mondo Digitale di Roma, con la quale abbiamo stipulato un accordo. È già all’opera un team di esperti e motivatissimi maker che sta cominciando a realizzare installazioni di grande livello tecnico e artistico. Sì, perché tutto il percorso della mostra è pensato per essere curato anche dal punto di vista del design e sarà anche corredata di specifiche installazioni artistiche. Le riproduzioni di alcune opere d’arte che richiamino i fenomeni illustrati nel percorso mostreranno come arte e scienza non siano affatto due campi del sapere diversi, ma che si influenzano a vicenda e sono entrambi parte integrante e fondamentale del progresso dell’umanità.

Commenti on-line: <http://www.accastampato.it/2015/09/millumino-di-scienza/>

## Sull’autore

Giovanni Organtini ([giovanni.organtini@uniroma1.it](mailto:giovanni.organtini@uniroma1.it)) è professore associato di fisica sperimentale presso l’Università Sapienza di Roma. Attualmente è delegato per la comunicazione scientifica del Preside della Facoltà di Scienze della Sapienza e direttore del Museo di Fisica dello stesso ateneo.

Accastampato non è un periodico, pertanto non è registrato e non ha un direttore responsabile. È un esperimento di comunicazione realizzato dall'associazione Accatagliato degli studenti di fisica di Roma con il duplice obiettivo di mostrare al pubblico non specialistico e agli studenti delle scuole superiori le ricerche portate avanti nell'area romana e di fornire l'occasione agli studenti universitari e ai giovani ricercatori di raccontare il proprio lavoro quotidiano e di confrontarsi con la comunicazione scientifica non specialistica.

La rivista è prodotta dal motore di composizione tipografica L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X. I sorgenti sono sviluppati e mantenuti da Alessio Cimarelli e sono disponibili richiedendoli alla Redazione.

Impaginazione: Alessio Cimarelli

Copertina: Silvia Mariani (immagine di Mato Rachela)

*Gli articoli contenuti in questo numero sono protetti con marca digitale grazie a patamu.com*



*Quest'opera è rilasciata sotto la licenza Creative Commons Attribuzione-Non commerciale-Condividi allo stesso modo 4.0 Unported. Se non specificato altrimenti, tutti gli articoli in essa contenuti sono rilasciati dai rispettivi autori sotto la medesima licenza. Per leggere una copia della licenza visita il sito web <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/> o spedisci una lettera a Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California, 94105, USA.*



