

In copertina:

Donatella Signorino, "Colpiti dalla luce", olio su tela 60x50 (2010)

## PRESENTAZIONE

Appunti di Fisica rinnova alla comunità dei fisici messinesi l'invito a partecipare all'appuntamento con la giornata dedicata alla Fisica Teorica, che giunge quest'anno alla sua decima edizione. La giornata di studio si svolgerà venerdì 26 maggio, a partire dalle ore 9:30, presso la sala conferenze del CNR-IPCF di Messina.

La giornata è organizzata dal gruppo di ricercatori di Appunti di Fisica, a cui si aggiunge quest'anno la Prof.ssa Rosalba Saija, in collaborazione tra l'Istituto per i Processi Chimico-Fisici del CNR di Messina e il Dipartimento di Scienze Matematiche e Informatiche, Scienze Fisiche e Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Messina, sotto il patrocinio dell'Accademia Peloritana dei Pericolanti.

Questa edizione di "Appunti di Fisica Teorica" è dedicata alla memoria del Prof. Ferdinando Borghese, purtroppo scomparso lo scorso mese di gennaio. Sarà per molti di noi una giornata densa di emozioni, durante la quale cercheremo di "raccontare" Nando Borghese, come uomo e come scienziato, e quanto con lui abbiamo condiviso. Nando Borghese è stato un autentico riferimento per la fisica teorica messinese, sia a motivo dei suoi studi, di risonanza internazionale, nell'ambito della teoria dello scattering elettromagnetico, sia in qualità di docente appassionato di meccanica quantistica. Autore di numerose pubblicazioni scientifiche di forte impatto internazionale, ha contribuito in maniera originale e determinante agli sviluppi della teoria dello scattering di luce. I suoi prolifici studi sono raccolti nella monografia "Scattering from model nonspherical particles", pubblicata in due edizioni (nel 2003 e nel 2007) dalla Springer-Verlag.

La comunità scientifica internazionale ha già dedicato alla memoria del Prof. Borghese, lo scorso 20 marzo, una sessione speciale della Conferenza "Electromagnetic and Light Scattering XVI" organizzata dalla NASA presso la University of Maryland, College Park (USA).

Questa giornata messinese vuole essere un nostro modo per ricordare Nando Borghese e presentare a studenti e dottorandi la preziosa eredità scientifica che ci ha lasciato, che va ben oltre la sua profonda conoscenza della Fisica e i suoi innovativi contributi alla teoria dello scattering di luce. E' un'eredità fatta di onestà intellettuale, di instancabile passione e curiosità per il sapere accompagnate da una visione retta della ricerca scientifica, una visione per la quale la pubblicazione è strumento e non fine del lavoro di un ricercatore. Questa etica scientifica è, ormai, tristemente anacronistica, ma preziosa. Obiettivo di un ricercatore non è rincorrere la pubblicazione, ma farsi

domande e trovare soluzioni, per porsi nuovi interrogativi, nell'eccitante consapevolezza — come diceva sempre il nostro Prof — che non si trova quello che si cerca, ma si cerca quello che si trova. Ed è questa l'imprevedibile bellezza della ricerca scientifica. Speriamo di riuscire oggi a raccontarvi tutto questo, tra ricordi personali e presentazioni scientifiche.

Un caloroso ringraziamento va a chi ci ha aiutato nelle varie fasi organizzative, rendendo questa giornata possibile, primo fra tutti al Dott. Cirino Vasi, direttore dell'Istituto per i Processi Chimico-Fisici del CNR, per l'usuale ospitalità e per il generoso sostegno economico, a Giovanna Toscano ed all'intero staff amministrativo e tecnico dell'Istituto per avere curato al meglio l'organizzazione logistica della giornata. Grazie al Prof. Fortunato Neri, direttore del Dipartimento di Scienze Matematiche e Informatiche, Scienze Fisiche e Scienze della Terra, per il prezioso supporto, morale e materiale, all'iniziativa; al Prof. Paolo Giaquinta, direttore della Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali dell'Accademia Peloritana dei Pericolanti, per avere accolto la nostra richiesta di patrocinio da parte dell'Accademia, condividendo con noi lo spirito di questa giornata; al Prof. Lorenzo Torrisi, coordinatore del Dottorato di Ricerca in Fisica, per aver favorito la presenza dei dottorandi all'evento, e ai gruppi messinesi "Young Minds" della European Physical Society e "Student Chapter" della Optical Society of America per il loro contributo di entusiasmo, energie e simpatia.

Grazie alla Prof.ssa Donatella Signorino, che ci ha gentilmente permesso di utilizzare il suo dipinto "Colpiti dalla luce" come sfondo della locandina di questa giornata. Una scelta che definiremmo istintiva ed empatica.

Un sentito ringraziamento va da parte nostra a tutti coloro che arricchiranno della loro presenza questa giornata, ed in particolare ai relatori, che hanno accolto il nostro invito, ai chair, che hanno voluto condividere ricordi personali ed emozioni, agli studenti e ai dottorandi presenti.

## PROGRAMMA

Sala conferenze, Istituto per i Processi Chimico-Fisici del CNR

10:00 — 10:20 Apertura dei lavori e saluti istituzionali

PRIMA SESSIONE Chair: Paolo Giaquinta

10:20 — 10:30 *Un breve profilo biografico* — **Antonella Iatì**

10:30 — 11:00 *Non solo scattering ...* — **Rosalba Saija**

11:00 — 11:30 Pausa caffè

SECONDA SESSIONE Chair: Onofrio M. Maragò

11:30 — 12:00 *Nanoleghe plasmoniche multifunzionali ottenute mediante  
ablazione laser in liquido* — **Vincenzo Amendola**

12:00 — 12:30 *Chiralità e superchiralità: dalle molecole alla luce*  
**Giovanni Pellegrini**

12:30 — 14:30 Pranzo

TERZA SESSIONE Chair: Alessandro Sergi

14:30 — 15:00 *L'Universo in un granello di polvere: per un'origine  
cosmica della vita* — **Cesare Cecchi-Pestellini**

15:00 — 15:30 *Forze ottiche: teoria e applicazioni* — **Onofrio M. Maragò**

Conclusioni - Dino Costa

## NON SOLO SCATTERING ...

Rosalba Saija

*Dip. di Scienze Matematiche e Informatiche, Scienze Fisiche e Scienze della Terra Università  
degli Studi di Messina*

In fisica la diffusione ottica (scattering) si riferisce a un'ampia classe di fenomeni in cui l'interazione fra campo elettromagnetico e le disomogeneità dei materiali in cui esso si propaga, è in grado di rivelare non solo la natura, la forma e la dimensione dei diffusori, ma evidenzia gli effetti meccanici che la radiazione stessa può imprimere. Noi quotidianamente osserviamo gli oggetti che ci circondano attraverso degli esperimenti di scattering: la visione e la fotografia sono "esperienze" di scattering. Si comprende bene come questa classe di fenomeni, che riguardano diversi ambiti della fisica, siano stati e sono ampiamente studiati dalla comunità scientifica. Nell'ultimo decennio, l'avvento delle nanotecnologie ha dato un ulteriore importante impulso allo studio teorico e sperimentale di tutta una serie di "nuovi" fenomeni connessi alla diffusione della radiazione. Questa presentazione è dedicata alla memoria del Professore Ferdinando Borghese che, per oltre 30 anni, ha coordinato con passione ed entusiasmo le ricerche teoriche sullo scattering elettromagnetico condotte dal gruppo di ricerca dell'Università di Messina; attività testimoniata da numerose pubblicazioni su riviste internazionali, molte delle quali ad alto fattore di impatto.

[1] F. Borghese, P. Denti and R. Saija, *Scattering from model nonspherical particles: theory and applications to environmental physics*, 2nd edition, Springer-Verlag, Heidelberg (2007).

*Rosalba Saija è nata a Messina il 29 Ottobre 1958. Fa parte del Dipartimento di Scienze Matematiche e Informatiche, Scienze Fisiche e Scienze della Terra dell'Università di Messina e dal 2011 è Professore Associato di Fisica della Materia. Attuali interessi scientifici: Scattering elettromagnetico, nano-ottica, optoplasmonica, intrappolamento ottico. Co-autrice di due volumi sullo scattering elettromagnetico e di oltre 140 pubblicazioni su riviste internazionali.*

# NANOLEGHE PLASMONICHE MULTIFUNZIONALI OTTENUTE MEDIANTE ABLAZIONE LASER IN LIQUIDO

Vincenzo Amendola

*Dipartimento di Scienze Chimiche, Università degli Studi di Padova*

In questo seminario saranno presentati alcuni risultati relativi all'uso della sintesi mediante ablazione laser in liquido per generare nanoparticelle plasmoniche multifunzionali, in particolare dotate di proprietà sia ottiche che magnetiche grazie alla formazione di nanoleghe tra metalli nobili e metalli di transizione. L'utilizzo dell'ablazione laser in liquido ha un ruolo cruciale per accedere a questo tipo di leghe, che sono termodinamicamente instabili ma possono essere ottenute in forma metastabile per tempi indefiniti grazie alla veloce cinetica di formazione delle nanoparticelle caratteristica di questa tecnica [1]. Si mostrerà come le nanoleghe multifunzionali trovino applicazione in vari settori che vanno dalla creazione di substrati assemblati magneticamente per surface enhanced Raman spectroscopy [2], alla realizzazione di agenti di contrasto multimodali per imaging biomedico [3], all'elettrocatalisi [4]. Inoltre, le nanoleghe di Au-Fe risultano essere più efficienti delle equivalenti particelle di oro puro nel convertire la luce in calore [5].

- [1] V. Amendola and M. Meneghetti, *What controls the composition and the structure of nanomaterials generated by laser ablation in liquid solution?*, Phys. Chem. Chem. Phys. **15**, 3027 (2013).
- [2] S. Scaramuzza *et al*, *Magnetically Assembled SERS Substrates Composed of Iron-Silver Nanoparticles Obtained by Laser Ablation in Liquid*, ChemPhysChem *in press* (2017).
- [3] V. Amendola *et al*, *Magneto-Plasmonic Au-Fe Alloy Nanoparticles Designed for Multimodal SERS-MRI-CT Imaging*, Small **10**, 2476 (2014).
- [4] I. Vassalini *et al*, *Enhanced Electrocatalytic Oxygen Evolution in Au-Fe Nanoalloys*, Angew. Chem. Int. Ed. *in press* (2017). DOI: 10.1002/anie.201703387.
- [5] V. Amendola, R. Sajja, O. M. Maragò and M. A. Iatì, *Superior plasmon absorption in iron-doped gold nanoparticles*, Nanoscale **7**, 8782 (2015).

*Vincenzo Amendola è dal 2015 Professore Associato di Chimica Fisica presso il Dipartimento di Scienze Chimiche dell'Università di Padova. Ha ricevuto la laurea in Scienza dei Materiali ed il dottorato in Scienza ed Ingegneria dei Materiali presso la stessa università, diventando poi ricercatore universitario nel 2008. Durante la sua carriera è stato visiting PhD student presso il Department of Materials Science and Engineering del Massachusetts Institute of Technology (2007),*

*academic visitor al Center for Advanced Photonics and Electronics della Cambridge University (2011), e short-term visiting researcher al Department of Clinical Medicine del Trinity College Dublin (2014). Dal 2017 ottiene l'abilitazione come professore di prima fascia in Chimica Fisica (03/A2). Ha ricevuto il premio Primo Levi (2008), il premio Semerano (2008), il premio Alceste Mion(2011), ed il MIT Technology Review Innovators Under 35 Italy Award (2015). E' autore di circa 60 articoli peer-reviewed, con h-index di 27 e circa 3005 citazioni (fonte: Google Scholar). Le sue attività di ricerca principali riguardano la sintesi laser-assistita di nanomateriali in ambiente liquido, partendo dal meccanismo di produzione delle nanoparticelle per arrivare alle applicazioni in fotonica, catalisi e nanomedicina. Speciale attenzione è dedicata alla realizzazione di nanoleghe magnetiche e plasmoniche per applicazioni come agenti di contrasto multimodali o come agenti teranostici. Web page: <http://www.chimica.unipd.it/vincenzo.amendola>.*

## **CHIRALITÀ E SUPERCHIRALITÀ: DALLE MOLECOLE ALLA LUCE**

Giovanni Pellegrini, Marco Finazzi, Michele Celebrano, Lamberto Duò e Paolo Biagioni

*Dipartimento di Fisica, Politecnico di Milano*

Un'entità chirale (dal greco  $\chi\epsilon\iota\rho$ , mano) è un oggetto tridimensionale caratterizzato dalla proprietà di essere geometricamente distinto dalla propria immagine specchiata. Oggetti di chiralità opposta, detti enantiomeri, condividono la maggior parte delle proprietà chimiche e fisiche, ma la loro natura chirale emerge solamente nell'interazione con un ambiente esso stesso chirale. La chiralità gioca un ruolo fondamentale nei processi biologici ed è ubiqua nelle biomolecole, tra le quali l'esempio più rilevante è il DNA. Anche un campo elettromagnetico può essere chirale, e di conseguenza essere usato per sondare la chiralità di un composto chimico, tuttavia questo tipo di interazione è generalmente molto debole, il che rende estremamente difficile l'analisi di piccole quantità di molecole. In questo seminario, dopo aver introdotto il concetto di chiralità ottica, mostreremo come sia possibile utilizzare nanostrutture plasmoniche e fotoniche per ottenere campi superchirali, ossia campi elettromagnetici in grado di interagire in maniera estremamente forte con piccole quantità di molecole, al fine di rivelarne la natura chirale. Dedicheremo particolare attenzione al concetto di onda chirale di superficie, un particolare tipo di campo elettromagnetico che apre la possibilità di analizzare e manipolare oggetti chirali su scala nanometrica.

- [1] Y. Tang and A. E. Cohen, *Optical Chirality and Its Interaction with Matter*, Phys. Rev. Lett. **104**, 163901 (2010).
- [2] E. Hendry *et al*, *Ultrasensitive detection and characterization of biomolecules using superchiral fields*, Nat. Nano **5**, 783 (2010).
- [3] M. Finazzi, P. Biagioni, M. Celebrano, and L. Duò, *Quasistatic limit for plasmon-enhanced optical chirality*, Phys. Rev. B **91**, 195427 (2015).
- [4] G. Pellegrini, M. Finazzi, M. Celebrano, L. Duò, and P. Biagioni, *Chiral Surface Waves for Enhanced Circular Dichroism*, arXiv:1611.05782 [physics] (2016).

*Giovanni Pellegrini è assegnista di ricerca presso il Dipartimento di Fisica del Politecnico di Milano. Si laurea in Fisica presso l'Università di Padova (2004) con una tesi su modellizzazione e proprietà ottiche di nanocristalli di Nitruro di Gallio. Nel 2008 riceve il dottorato in Scienza ed Ingegneria dei Materiali dalla stessa università. Dal 2008 al 2012 è assegnista di ricerca presso l'Università di Padova, e a partire dal 2012 è responsabile scientifico di unità di ricerca per il progetto "FIRB NANOPLASMAG - Materiali magnetici nanostrutturati: dalla nano-ingegneria alla plasmonica attiva", finanziato nell'ambito del progetto "FIRB - Programma Futuro in Ricerca". Dal 2015 svolge attività di ricerca presso il Politecnico di Milano. È autore e co-autore di oltre 40 pubblicazioni scientifiche su riviste internazionali. La sua attività di ricerca è focalizzata sulla manipolazione della luce alla nanoscala tramite nanostrutture plasmoniche, magneto-plasmoniche e fotoniche. In particolare si interessa di nanoantenne plasmoniche e dielettriche per estrazione di luce ad alta efficienza ed applicazioni di sensoristica. A partire dal 2015 i suoi interessi includono il sensing plasmonico nel medio infrarosso e la nanofotonica per la creazione di campi superchirali, con particolare attenzione allo sviluppo di cristalli fotonici innovativi.*

**L'UNIVERSO IN UN GRANELLO DI POLVERE:  
PER UN'ORIGINE COSMICA DELLA VITA**

Cesare Cecchi-Pestellini

*INAF - Osservatorio Astronomico di Palermo*

*Memento homo quia pulvis es et in pulverem reverteris*, tutta la realtà che ci circonda è fatta di polvere e polvere ritornerà. Non c'è fuga dalla logica di queste parole. La polvere di cui parlerò in questo intervento non è tuttavia la polvere che fluttua fastidiosamente nelle nostre case, ma un oggetto di origine cosmica. Piccoli solidi di dimensioni sub-microniche dispersi in dosi omeopatiche nel gas, che tuttavia hanno la potenzialità (e probabilmente l'hanno fatto) di dare vita a tutte le meraviglie che ci circondano, vita compresa. In questa breve esposizione introdurrò la polvere cosmica e la chimica dello spazio profondo, lo spazio tra le stelle nella nostra galassia e nelle altre miriadi che popolano l'Universo osservato. Polvere ed evoluzione chimica nell'Universo sono strettamente associate. La materia non è sempre esistita. Sappiamo dalla Rivelazione o dalla cosmologia  $\Lambda$ -CDM (attenetevi alla teoria che preferite) che l'Universo emerse in un passato non troppo lontano, circa 13.8 miliardi di anni fa, in un evento chiamato ironicamente Big Bang da Fred Hoyle. Dopo alcune centinaia di milioni di anni stelle e galassie popolavano l'Universo, spezzando la calda oscurità delle Dark Ages. In qualche modo alcune di queste stelle acquisirono un sistema planetario.

In questa breve esposizione viene descritta in modo essenzialmente qualitativo la lunga storia cosmica degli elementi biogenici ed il loro sviluppo in materia (auto)organizzata. Uno sviluppo che sappiamo essere avvenuto in almeno un caso. Si stima che esistano cento miliardi di galassie nell'Universo visibile, per un totale di circa dieci galassie per ogni essere umano. Quelle galassie potrebbero possedere mediamente cento miliardi di stelle. Attorno a molte di quelle stelle potrebbe orbitare qualche pianeta. L'esperimento Terra potrebbe quindi essere stato replicato un numero incalcolabile di volte. Vale la pena occuparcene.

*Cesare Cecchi Pestellini è astronomo presso l'Osservatorio di Palermo dell'Istituto Nazionale di Astrofisica. Ottiene la laurea in Fisica e un Dottorato di Ricerca in Astronomia presso l'Università degli Studi di Firenze. Si trasferisce ad Harvard University (Cambridge, Massachusetts) fino alla fine del millennio. Rientra in Italia attraverso il programma MIUR "Rientro dei Cervelli", divenendo successivamente membro dell'Istituto Nazionale di Astrofisica. Dal 2012 è a Palermo.*

*Si occupa principalmente di astrochimica, sia teorica che di laboratorio.*

## **FORZE OTTICHE: TEORIA E APPLICAZIONI**

Onofrio M. Maragò

*CNR-IPCF, Istituto per i Processi Chimico-Fisici*

La luce muove la materia. Questo semplice concetto, già considerato da Keplero per spiegare la coda delle comete, è il fondamento dei moderni esperimenti di intrappolamento, manipolazione e raffreddamento ottico di particelle tramite luce laser. Le forze ottiche sono una conseguenza della conservazione del momento lineare e del momento angolare del campo elettromagnetico nell'interazione radiazione-materia. In particolare, quando un fascio laser è focalizzato da una lente di elevata apertura numerica, la configurazione del campo è tale che la radiazione esercitata sulle particelle le intrappola entro la regione focale, realizzando le cosiddette Pinzette Ottiche. Questi apparati permettono di bloccare e manipolare particelle in un ampio range di dimensioni (da cellule in liquido fino ai singoli atomi in alto vuoto). Sono versatili e integrabili con tecniche di spettroscopia (Raman, fotoluminescenza), consentendo un'analisi accurata dei materiali intrappolati con applicazioni in fisica della materia condensata, biologia, ingegneria dei materiali.

In questo seminario, dopo un'introduzione generale sulle forze ottiche, presenterò brevemente il contesto sperimentale della ricerca condotta al CNR-IPCF di Messina sull'intrappolamento ottico di nanostrutture. Quindi discuterò alcuni aspetti di carattere fondamentale legati all'attività di ricerca di Ferdinando Borghese sulla teoria e il calcolo delle forze ottiche tramite la matrice di Transizione. Le applicazioni di queste tecniche di calcolo si sono rivelate cruciali per la comprensione delle forze ottiche e la loro applicazione su nanoparticelle non-sferiche.

- [1] F. Borghese, P. Denti and R. Saija, *Scattering from model nonspherical particles: theory and applications to environmental physics*, Springer-Verlag, Heidelberg (2007).
- [2] P. H. Jones, O. M. Maragò and G. Volpe, *Optical tweezers: Principles and applications*, Cambridge University Press, Cambridge, UK (2015).
- [3] M. G. Donato *et al*, *Polarization-dependent optomechanics mediated by chiral microresonators*, Nature Commun. **5**, 3656 (2014).

- [4] O. M. Maragò, P. H. Jones, P. G. Gucciardi, G. Volpe and A. C. Ferrari, *Optical trapping and manipulation of nanostructures*, Nature Nanotech. **8**, 807 (2013).
- [5] O. M. Maragò *et al*, *Brownian motion of graphene*, ACS Nano **4**, 7515 (2010).
- [6] E. Messina *et al*, *Plasmon-enhanced optical trapping of gold nanoaggregates with selected optical properties*, ACS Nano **5**, 905 (2011).
- [7] A. Irrera *et al*, *Size-scaling in optical trapping of silicon nanowires*, Nano Lett. **11**, 4879 (2011).
- [8] O. M. Maragò *et al*, *Femtonewton force sensing with optically trapped nanotubes*, Nano Lett. **8**, 3211 (2008).
- [9] F. Borghese, P. Denti, R. Saija, M. A. Iati and O. M. Maragò, *Radiation torque and force on optically trapped linear nanostructures*, Phys. Rev. Lett. **100**, 163903 (2008).

*Onofrio M. Maragò è Ricercatore CNR presso l'Istituto per i Processi Chimico-Fisici di Messina (dal 2001). Si laurea in Fisica all'Università degli Studi di Pisa (1997) con una tesi sul raffreddamento laser di atomi di cesio (relatore prof. E. Arimondo). Nel 1998 ottiene una Marie Curie Fellowship individuale per studiare presso il Clarendon Laboratory (Oxford, UK). Quindi consegue il Doctorate of Philosophy (DPhil) dell'Università di Oxford (2001) discutendo una tesi sulla superfluidità nei condensati di Bose-Einstein (relatore prof. C. J. Foot). Nel 2000 riceve una Junior Research Fellowship dal Linacre College (Oxford). Dopo un breve post-doc all'Università di Costanza (2001), è assunto a tempo indeterminato dal Consiglio Nazionale delle Ricerche. Nel 2017 consegue l'abilitazione a professore di prima fascia in Fisica Sperimentale della Materia. Co-autore di oltre 90 pubblicazioni su riviste peer-reviewed e di un libro di testo pubblicato con la Cambridge University Press (P. H. Jones, O. M. Maragò, G. Volpe, *Optical tweezers: Principles and Applications*, 2015). Responsabile di svariati progetti di ricerca nazionali e internazionali. È membro del collegio docenti del Dottorato di Ricerca in Fisica dell'Università di Messina (dal 2008). È stato "Chair" per il Technical Group di "Optical Cooling and Trapping" della Optical Society of America (2013-2015). È co-organizzatore della serie di seminari "Appunti di Fisica" e Advisor del gruppo Young Minds e OSA Student Chapter dell'Università di Messina. Gli interessi scientifici riguardano tematiche di manipolazione ottica di micro e nanoparticelle, atomi, condensati di Bose-Einstein, e in generale interazione radiazione-materia con applicazioni in nanotecnologia, fisica atomica, fisica dei sistemi complessi, soft-matter, meccanica statistica. I lavori sulla superfluidità nei condensati*

*di Bose-Einstein sono descritti in diversi libri di fisica atomica, fisica statistica e fisica dei sistemi a molti-corpi.*