

## A1 Titolo dell'attività di ricerca

Fenomeni Ultraveloci e Fotonica Quantistica

## A2 Responsabile

*(aggiungere eventuale referente del Dipartimento se il Responsabile non è un afferente ad esso)*

Corrado de Lisio

## A3 Personale Dipartimento di Fisica (Professori e Ricercatori)

Prof. Ordinari: Corrado de Lisio

Prof. Associati:

Ricercatori universitari:

RTDA:

RTDB: Vincenzo D'Ambrosio

## A4 Collaborazioni con altri enti

- Istituto CNR-SPIN

- Istituto CNR-ISASI

## A5 Personale strutturato ricercatore o tecnologo altri enti convenzionati

## A6 Altro personale di ricerca (Assegnisti, Borsisti)

Assegnisti: Nijil Lal (2021/2022)

Borsisti Post-doc:

Borsisti:

## A7 Dottorandi di Ricerca

## B1 Breve descrizione della linea di ricerca

*(max 1000 caratteri)*

Fenomeni ultraveloci: spettroscopia risolta in tempo di diversi materiali con la tecnica *pump&probe* che consente di seguire l'evoluzione temporale della riflettività transiente; lo studio della dinamica di non-equilibrio delle quasi-particelle generate dall'eccitazione laser fornisce importanti informazioni sulle caratteristiche del materiale. Il cuore della strumentazione è un sistema laser a titanio-zaffiro completo di amplificatori rigenerativo e parametrico.

Fotonica Quantistica:

- Realizzazione e caratterizzazione di sorgenti di fotoni entangled mediante SPDC per applicazioni in Informazione e Calcolo Quantistico, tra cui lo studio delle interazioni polaritoniche, l'implementazione dell'effetto Hong-Ou-Mandel con polaritoni, Quantum Ghost Spectroscopy.
- Caratterizzazione di fenomeni nanofotonici, nanoplasmonici e di materiali nanostrutturati, sia metallici che semiconduttori, mediante l'illuminazione e la raccolta di luce dai campioni con potenti obiettivi da microscopio.

## **B2 Descrizione attività svolta nel triennio 2019-2021**

*(max 2000 caratteri)*

Studio delle dinamiche di formazione di film di melanina: il processo di polimerizzazione spontanea in aria che porta alla formazione della melanina dura circa 4 settimane. Analizzando gli spettri di assorbimento di film sottili di vario spessore in questo lasso di tempo, si è evidenziato il ruolo dell'ossigeno nel processo di polimerizzazione in film di diverso spessore. In particolare, l'impacchettamento delle catene polimeriche risulta più graduale e uniforme durante la lenta polimerizzazione spontanea che avviene in presenza di ossigeno e che favorisce la formazione di aggregati molecolari di notevoli dimensioni nei film di spessore maggiore. Analisi AFM delle rugosità sulle superfici dei campioni confermano questa ipotesi. Da ciò consegue la possibilità di controllare le dinamiche di polimerizzazione nonché la formazione di strutture superficiali sfruttando il gradiente di ossidazione. In prospettiva, si può pensare di realizzare un materiale di origine biologica, biocompatibile e biodegradabile, con proprietà ottiche, meccaniche e di trasporto ottimizzate per produrre materiali e dispositivi innovativi e biocompatibili per applicazioni optoelettroniche.

Uso di luce strutturata per il rilevamento di spostamenti trasversali: il sistema fotonico è basato su due reticoli di polarizzazione (g-plate) disposti l'uno dopo l'altro e attraversati da un fascio di luce polarizzata. In tal modo, si mette in corrispondenza lo spostamento trasversale di una lamina rispetto all'altra con una rotazione del piano di polarizzazione della luce emergente, la quale si traduce in una variazione della potenza ottica trasmessa da un polarizzatore posto a valle delle lamine. È stata stimata una risoluzione sub-nanometrica.

Sviluppo sorgenti di fotoni entangled in stati complessi: sono state generate coppie di fotoni con una complessa struttura di entanglement tra tre diversi gradi di libertà (distribuzione in frequenza, polarizzazione, momento angolare orbitale (OAM)). Il sistema presenta *hyper-entanglement* tra la parte in frequenza e la parte di polarizzazione/OAM. Questo risultato può fornire spunti interessanti per lo studio dei fondamenti di meccanica quantistica che per applicazioni di informazione quantistica.

## **B3 Descrizione attività programmata nel triennio 2021-2023**

*(max 2000 caratteri)*

Interazioni fotone-polaritone: l'unità di ricerca partecipa al progetto PRIN INPhoPOL, il cui obiettivo è l'implementazione di porte logiche innovative per l'informazione quantistica e di nuovi paradigmi di simulazione di sistemi quantistici complessi attraverso la realizzazione di dispositivi integrati che, per effetto dell'accoppiamento forte tra radiazione e materia in cavità polaritoniche, permettano di osservare effetti non lineari anche in regime di singolo fotone. L'unità è impegnata nello sviluppo di sorgenti di fotoni con caratteristiche spettrali e di brillantezza tali da ottimizzare l'accoppiamento con le cavità

polaritoniche. Una sorgente basata su generazione parametrica (SPDC) è già stata realizzata ed è attualmente in fase di caratterizzazione.

Comunicazione quantistica resistente al rumore: si intende realizzare un protocollo quantistico basato sul concetto di *quantum switch*. Bisognerà valutare la realizzabilità del protocollo e individuare un possibile sistema fotonico per la sua implementazione pratica. Successivamente, si passerà alla realizzazione dell'apparato e alla sua caratterizzazione.

Nanofotonica: studio dell'interazione tra una coppia di fotoni *entangled* e una nano-apertura in un film metallico. In nano-fotonica, la simmetria del sistema svolge un ruolo fondamentale nella protezione dell'entanglement per l'interazione luce-materia. La ricerca propone uno studio sistematico dell'interazione tra nano-strutture e radiazione luminosa, sia in regime classico che quantistico. L'aspetto sperimentale della ricerca consisterà inizialmente nella progettazione e nella realizzazione di un apparato ottico dedicato che consenta di effettuare misure di risonanze plasmoniche in regime classico. Successivamente, si passerà al regime quantistico di singolo fotone.

Sistema di rilevamento di spostamenti trasversali: il sistema, già sperimentato e in attesa di brevetto, verrà modificato per aumentarne la sensibilità. Inoltre, si lavorerà per realizzare un sistema basato su componentistica economica per facilitare la diffusione del metodo di misura.

### **C1 Pubblicazioni scientifiche nel triennio 2019-2021**

(indicare il numero complessivo nel triennio e elencare le più significative (max 10))

1. R. Barboza, A. Babazadeh, L. Marrucci, F. Cardano, C. de Lisio, V. D'Ambrosio, "Ultra-sensitive measurement of transverse displacements with linear photonic gears", (2021) Nature Communications, in stampa.
2. Graffitti, F., D'Ambrosio, V., Proietti, M., Ho, J., Piccirillo, B., de Lisio, C., Marrucci, L., Fedrizzi, A., "Hyperentanglement in structured quantum light", (2020) Phys. Rev. Res., 2, 043350, DOI: 10.1103/PhysRevResearch.2.043350
3. Fonseca, P.Z.G., Alda, I., Marino, F., Cuadrado, A., D'Ambrosio, V., Gieseler, J., Quidant, R., "Slow thermo-optomechanical pulsations in suspended one-dimensional photonic crystal nanocavities", (2020) Physical Review A, 102, 053518, DOI: 10.1103/PhysRevA.102.053518
4. Oscurato, S.L., Formisano, F., de Lisio, C., D'Ischia, M., Gesuele, F., Maddalena, P., Manini, P., Migliaccio, L., Pezzella, A., "Spontaneous wrinkle emergence in nascent eumelanin thin films", (2019) Soft Matter, 15, 9261-9270, DOI: 10.1039/c9sm01885a
5. D'Ambrosio, V., Carvacho, G., Agresti, I., Marrucci, L., Sciarrino, F., "Tunable Two-Photon Quantum Interference of Structured Light", (2019) Physical Review Letters, 122, 013601, DOI: 10.1103/PhysRevLett.122.013601
6. Büse, A., Juan, M.L., Tischler, N., D'Ambrosio, V., Sciarrino, F., Marrucci, L.,

- Molina-Terriza, G., "Symmetry Protection of Photonic Entanglement in the Interaction with a Single Nanoaperture", (2018) Physical Review Letters, 121, 173901, DOI: 10.1103/PhysRevLett.121.173901
7. Bonavolontà, C., de Lisio, C., D'Ischia, M., Maddalena, P., Manini, P., Pezzella, A., Valentino, M., "Anomalous evolution of broadband optical absorption reveals dynamic solid state reorganization during eumelanin build-up in thin films", (2017) Scientific Reports, 7, 522, DOI: 10.1038/s41598-017-00597-8
  8. Cardano, F., D'Errico, A., Dauphin, A., Maffei, M., Piccirillo, B., de Lisio, C., De Filippis, G., Cataudella, V., Santamato, E., Marrucci, L., Lewenstein, M., Massignan, P., "Detection of Zak phases and topological invariants in a chiral quantum walk of twisted photons", (2017) Nature Communications, 8, 15516, DOI: 10.1038/ncomms15516
  9. D'Errico, A., Maffei, M., Piccirillo, B., De Lisio, C., Cardano, F., Marrucci, L., "Topological features of vector vortex beams perturbed with uniformly polarized light", (2017) Scientific Reports, 7, 40195, DOI: 10.1038/srep40195
  10. Carvacho, G., Graffitti, F., D'Ambrosio, V., Hiesmayr, B.C., Sciarrino, F., "Experimental investigation on the geometry of GHZ states", (2017) Scientific Reports, 7, 13265, DOI: 10.1038/s41598-017-13124-6

## **C2 Presentazioni a Conferenze internazionali e nazionali**

*(solo se lo speaker è tra il personale elencato nel punto A3)*

## **C3 Presentazioni di brevetti internazionali e nazionali**

Misuratore fotonico ultrasensibile di spostamento utilizzando luce strutturata, e relativo metodo di misura

## **D1 Progetti di ricerca attivi**

*(Progetti di Enti di ricerca, Progetti Europei, Progetti MIUR, PON, POR, ...)*

- PRIN INPhoPOL (2019-2022)
    - Obiettivo: studio delle dinamiche quantistiche di singoli o pochi quanti polaritonici in circuiti ottici integrati
    - Collaborazioni
      - Dott. Daniele Sanvitto (CNR - Lecce), coordinatore nazionale
      - Prof. Dario Gerace (università di Pavia): supporto teorico