

POSIZIONE ATTUALE:

Professore di Fisica Sperimentale della Materia

Dipartimento di Fisica “Ettore Pancini”, Università degli Studi di Napoli Federico II (UNINA)

FORMAZIONE:

1993 *Dottorato di Ricerca in Fisica, UNINA, Italia (esame finale nazionale, commissione presieduta dal prof. Orazio Svelto)*

1989 *Laurea in Fisica (con lode, primo a laurearsi della sua coorte), UNINA, Italia*

STORIA PROFESSIONALE:

2013-oggi *Professore ordinario di fisica sperimentale della materia, Dip. Fisica, UNINA*

2001-2012 *Professore associato di fisica della materia, Dip. Scienze Fisiche, UNINA*

2008-2008 *Visiting Scientist (Luglio-Ottobre), Liquid Crystal Institute, Kent State University, Ohio, USA*

1995-2001 *Ricercatore Universitario di fisica della materia, Dip. Scienze Fisiche, UNINA*

1993-1994 *Borsista post-dottorato presso la University of California at Berkeley, USA*

INCARICHI DI DIREZIONE SCIENTIFICA E/O ACCADEMICA (SELEZIONATI):

2021-2026 *Delegato Coordinatore del Rettore per la ricerca dell’ateneo (ruolo UNINA equivalente a quello di Prorettore per la ricerca di altri atenei)*

2022-2026 *Responsabile scientifico per UNINA del partenariato esteso National Quantum Science and Technology Institute (NQSTI) (MUR in ambito PNRR, 10 M€).*

2016-2021 *Principal Investigator (PI) di ERC Advanced Grant intitolato “Photonics of the spin-orbit optical phenomena (PHOSPhOR)” (European Research Council, H2020, 1.7 M€)*

2016-2019 *Vicedirettore del Dipartimento di Fisica, UNINA (dipartimento con oltre 120 docenti)*

2017 *Chair del convegno internazionale “4th International Conference on the Optical Angular Momentum”, 18-22 Settembre 2017, Anacapri (NA), Italia*

2013-2017 *Coordinatore del progetto Marie-Curie intitolato “Functional OXides Interfaces charge Dynamics under Ultrafast Electric Transients (FOXIDUET)” (Career Integration Grant, FP7, 100 k€)*

2013-2016 *Coordinatore nazionale (PI) di Progetto di rilevante interesse nazionale (PRIN) intitolato “OXide Interfaces: emerging new properties, multifunctionality, and DEvices for electronics and energy (OXIDE)” (MIUR, 900 k€)*

2010-2013 *Coordinatore Europeo (PI) di progetto Future Emerging Technologies (FET – Open) intitolato “A toolbox for photon orbital angular momentum technology (PHORBITECH)” (FP7, 2.2 M€)*

2005-2010 *Coordinatore del Corso di dottorato di ricerca in Fisica, UNINA*

2005-2008 *Responsabile nazionale della commessa CNR intitolata “Fundamental issues in the physics of perovskites” (CNR, 250 k€)*

2003-2006 *Coordinatore nazionale (PI) di progetto del Fondo per l’Investimento in Ricerca di Base (FIRB) (MIUR, 120 k€)*

ATTIVITÀ DI DOCENZA (IN UNINA):

2005-oggi *Supervisione come relatore, tutor o responsabile scientifico di 13 assegnisti, 12 dottorandi e 23 laureandi magistrali o del vecchio ordinamento, molti dei quali hanno successivamente avuto carriere scientifiche; ad oggi, 1 è diventato professore ordinario prima in Canada, poi negli USA, 4 sono professori associati in Italia o all’estero, 9 sono ricercatori universitari o di enti di ricerca in Italia o all’estero, ecc.*

2009-oggi *Insegnamenti tenuti per il corso di Laurea in Fisica: Elementi di Fisica della Materia (attuale), Elettromagnetismo e Ottica, Relatività e Campi Elettromagnetici*

2006-2025 *Insegnamenti tenuti per il corso di Laurea Magistrale in Fisica: Elettrodinamica Classica,*

2000-2021 Insegnamenti tenuti per vari corsi di laurea in Ingegneria: *Fisica Generale I, Istituzioni di Fisica della Materia, Laboratorio di Fisica della Materia*

PARTECIPAZIONI A ORGANI E COMITATI (SELEZIONATE):

2022-oggi *Consiglio di Amministrazione* del Centro Nazionale AgriTech (15 membri)
2021-oggi Membro corrispondente dell'Accademia di Scienze Matematiche e Fisiche, della *Società Nazionale di Scienze, Lettere e Arti* di Napoli
2012-2022 *Scientific Advisory Committee* della "International Conference on the Orbital Angular Momentum" (ICOAM), che si tiene ogni 2 anni dal 2010 (11-17 membri)
2014-2020 *Program Committee* della Conferenza internazionale "Complex Light and Optical Forces", che si tiene ogni anno all'interno di SPIE Photonics West, San Francisco, USA (18 membri)
2011-2019 *Scientific Advisory Board* del "International Topical Meeting on Optics of Liquid Crystals (OLC)", che si tiene ogni 2 anni dal 1986 (13 membri)
2014 *Organizing Committee* della "7th Italian Quantum Information Science Conference (IQIS2014)", 2014, Salerno, Italia (4 membri)
2007-2010 *Consiglio Direttivo* dello *European Laboratory for Non-Linear Spectroscopy (LENS)*, Firenze (9 membri)

ATTIVITÀ EDITORIALI E DI CONSULENZA SCIENTIFICA (SELEZIONATE):

1998-oggi *Revisore per riviste scientifiche* (tra cui Nature, Science, Nature Physics, Nature Photonics, Nature Communications, Physical Review Letters, e oltre 30 altre)
2010-oggi *Valutatore per agenzie internazionali di finanziamento della ricerca* (European Research Council; Department of Energy, USA; Agence Nationale de la Recherche, France; Netherlands Org. for Scientific Research; Swiss National Science Foundation; Israel Science Foundation; Austrian Science Fund; Czech Science Foundation)
2010 *Revisore di monografia* per la casa editrice Cambridge University Press

INVITED COMMENTARIES IN RIVISTE SCIENTIFICHE:

1. F. Cardano and L. Marrucci, *Twisting entangled photons on a chip*, **Nature Photonics**, vol. 19, 447-449 (2025).
2. F. Cardano and L. Marrucci, *Smoke rings of light*, **Nature Photonics**, vol. 16, 476-477 (2022).
3. F. Cardano and L. Marrucci, *Longitudinal fields and transverse rotations*, **Nature Photonics**, vol. 15, 72-74 (2021).
4. F. Cardano and L. Marrucci, *Spin-orbit photonics*, **Nature Photonics**, vol. 9, 776-778 (2015).
5. L. Marrucci, *Quantum optics: spin gives direction*, **Nature Physics**, vol. 11, 9-10 (2015).
6. L. Marrucci, *Spinning the Doppler effect*, **Science**, vol. 341, 464-465 (2013).

DODICI PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE SELEZIONATE (SU UN TOTALE DI OLTRE 200):

1. M. G. Ammendola, F. Di Colandrea, L. Marrucci, F. Cardano, *Large-scale free-space photonic circuits in two dimensions*, **Advanced Photonics** vol. 7, 016006 (2025)
2. R. Barboza, A. Babazadeh, L. Marrucci, F. Cardano, C. de Lisio, V. D'Ambrosio, *Ultra-sensitive measurement of transverse displacements with linear photonic gears*, **Nature Communications** vol. 13, 1080 (2022).
3. A. D'Errico, F. Cardano, M. Maffei, A. Dauphin, R. Barboza, C. Esposito, B. Piccirillo, M. Lewenstein, P. Massignan, L. Marrucci, *Two-dimensional topological quantum walks in the momentum space of structured light*, **Optica** vol. 7, 108-114 (2020).
4. S. Slussarenko, A. Alberucci, C. P. Jisha, B. Piccirillo, E. Santamato, G. Assanto, L. Marrucci, *Guiding light via geometric phases*, **Nature Photonics** vol. 10, 571-575 (2016).
5. F. Cardano, M. Maffei, F. Massa, B. Piccirillo, C. de Lisio, G. De Filippis, V. Cataudella, E. Santamato, L. Marrucci, *Statistical moments of quantum-walk dynamics reveal topological quantum transitions*, **Nature Communications** vol. 7, 11439 (2016).
6. D. Naidoo, F. S. Roux, A. Dudley, I. Litvin, B. Piccirillo, L. Marrucci, A. Forbes, *Controlled generation of higher-order Poincaré sphere beams from a laser*, **Nature Photonics** vol. 10, 327-332 (2016).

7. F. Cardano, F. Massa, H. Qassim, E. Karimi, S. Slussarenko, D. Paparo, C. de Lisio, F. Sciarrino, E. Santamato, R. W. Boyd, L. Marrucci, *Quantum walks and wavepacket dynamics on a lattice with twisted photons*, **Science Advances**, vol. 1, e1500087 (2015).
8. T. Bauer, P. Banzer, E. Karimi, S. Orlov, A. Rubano, L. Marrucci, E. Santamato, R. W. Boyd, G. Leuchs, *Observation of optical polarization Möbius strips*, **Science**, vol. 347, 964-966 (2015).
9. C. Vitelli, N. Spagnolo, L. Aparo, F. Sciarrino, E. Santamato, L. Marrucci, *Joining the quantum state of two photons into one*, **Nature Photonics**, vol. 7, 521-526 (2013).
10. V. D'Ambrosio, E. Nagali, S. P. Walborn, L. Aolita, S. Slussarenko, L. Marrucci, F. Sciarrino, *Complete experimental toolbox for alignment-free quantum communication*, **Nature Communications**, vol. 3, 961 (2012).
11. E. Nagali, L. Sansoni, F. Sciarrino, F. De Martini, L. Marrucci, B. Piccirillo, E. Karimi, E. Santamato, *Optimal quantum cloning of orbital angular momentum photon qubits through Hong–Ou–Mandel coalescence*, **Nature Photonics**, vol. 3, 720-723 (2009).
12. L. Marrucci, C. Manzo, D. Paparo, *Optical spin-to-orbital angular momentum conversion in inhomogeneous anisotropic media*, **Phys. Rev. Lett.**, vol. 96, 163905 (2006).

TRE BREVETTI SELEZIONATI (SU UN TOTALE DI 5):

1. L. Marrucci, F. Cardano, B. Piccirillo, A. D'Errico, *Apparatus for two-dimensional photonic simulation by means of Pancharatnam-Berry phase plates*, EU patent no. 3572865 (priority 2018).
2. E. Karimi, L. Marrucci, V. Grillo, E. Santamato, *Converter of orbital momentum into spin momentum for the polarization of particle beams*, US patent no. 8,552,398 B2 (priority 2011).
3. L. Marrucci, *Liquid crystal geometrical phase optical elements and a system for generating and rapidly switching helical modes of an electromagnetic wave, based on these optical elements*, US patent no. 8,264,623 B2 of 2012/9/11; EU no. EP2013647-A2 (priority 2006).

DODICI PRESENTAZIONI SU INVITO (SELEZIONATE TRA OLTRE 80 NEGLI ULTIMI 15 ANNI):

- 2026 Twisoptics 2026, Donostia-San Sebastián (Spain)
- 2026 8th International Conference on Optical Angular Momentum (ICOAM 26), Graz, Austria
- 2024 7th International Conference on Optical Angular Momentum (ICOAM 24), Skukuza, South Africa
- 2019 *Opening plenary speech* alla 5th International Conference on Optical Angular Momentum (ICOAM 19), Ottawa, Canada
- 2018 International Max Planck Research School (IMPRS) Physics of Light, Gößweinstein, Germany
- 2016 Wilhelm and Else Heraeus Seminar on Nanophotonics and Complex Spatial Modes of Light, Bad Honnef, Germany
- 2015 XXXVIII Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada (ENFMC) da Sociedade Brasileira de Física, Foz do Iguaçu, Brazil
- 2014 *Keynote Speaker*, 3rd Quantum Information Processing Communication and Control (QIPCC) Conference and School, South Africa
- 2014 International Conference on Photoalignment and Photopatterning in Soft Materials, Hong-Kong
- 2013 International Workshop on Spin-Orbit Interactions for Light and Matter Waves, Max-Planck-Institut für Physik Komplexer Systeme, Dresden, Germany
- 2013 Symmetry, Bifurcation and Order Parameters, Cambridge Newton Institute, Cambridge, UK
- 2012 20 Years of Orbital Angular Momentum of Light, Leiden, Netherlands (symposium in the honor of J. P. Woerdman's 70 years)

DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ SCIENTIFICA COMPLESSIVA:

Gli interessi di Lorenzo Marrucci, nel corso dei suoi circa 35 anni di attività di ricerca, hanno spaziato su argomenti piuttosto diversificati, anche se quasi tutti rientranti nell'ambito dell'ottica (classica o quantistica) e della fisica dei materiali complessi (soprattutto cristalli liquidi, ma anche ossidi a struttura perovskitica e materiali organici fotosensibili). Per fare un elenco sintetico, a partire dall'inizio della sua attività Marrucci si è occupato di: (i) ottica non lineare dovuta alla risposta orientazionale collettiva nei cristalli liquidi; (ii) effetti di forte intensificazione di tale risposta in presenza di assorbimento della luce e conseguente modulazione dello stato elettronico delle molecole; (iii) generazione di seconda armonica da superfici per lo studio del fenomeno di ancoraggio dei cristalli liquidi; (iv) studio di fenomeni di diffusione rotazionale delle molecole e della loro dipendenza dallo stato elettronico molecolare; (v) generazione di seconda armonica e altre forme di

spettroscopia ottica non lineare e fotoluminescenza risolta in tempo da ossidi perovskitici e da loro interfacce, soprattutto per studiarne la complessa dinamica elettronica; (vi) fenomeno di conversione del momento angolare della luce dalla forma spin a quella orbitale e più in generale fenomeni “spin-orbita” fotonici e loro applicazioni classiche e quantistiche; (vii) simulazioni fotoniche di processi quantistici, quali quantum walk su reticoli discreti, e loro proprietà topologiche; (viii) circuiti fotonici in spazio libero.

Il risultato scientifico specifico per il quale Marrucci è più noto a livello internazionale è certamente la scoperta/ideazione del processo di “conversione” del momento angolare della luce dalla forma spin a quella orbitale che si può realizzare generalmente nell’attraversamento di un mezzo che sia simultaneamente otticamente anisotropo e disomogeneo, ad esempio un mezzo birifrangente con asse ottico variabile nello spazio (vedi anche risultato P1 elencato sotto). In opportune condizioni, un fotone con polarizzazione circolare sinistra (quindi con momento angolare di spin pari a $\hbar$ nella direzione di propagazione) che attraversa un mezzo con queste caratteristiche può invertire la sua elicità, ovvero la sua polarizzazione diventa circolare destra, con momento angolare di spin $-\hbar$. La variazione del momento angolare di spin che ne risulta viene “impressa” sull’onda sotto forma di un momento angolare orbitale pari a $2\hbar$ per fotone, che si manifesta con una struttura ad elica del fronte d’onda e un vortice ottico sull’asse dell’onda. Lo stesso processo di conversione, ma con tutti i segni invertiti, si realizza nello stesso mezzo se il fotone ha inizialmente polarizzazione circolare destra anziché sinistra, con il risultato finale di generare un fronte d’onda elicoidale di verso opposto. Marrucci ha dimostrato questo fenomeno inizialmente in regime di onda classica, utilizzando una particolare cella a cristalli liquidi realizzata nel suo laboratorio. Il dispositivo associato è stato soprannominato “q-plate” nella letteratura scientifica ed è diventato oggi uno dei metodi più convenienti e diffusi per generare vortici ottici a partire da un fascio laser normale. Esistono anche dispositivi commerciali basati su questo principio. Oltre a pubblicare la scoperta, Marrucci ha **brevettato** (come singolo inventore) l’idea di questo dispositivo e le possibili applicazioni. La pubblicazione su PRL (2006) con la prima dimostrazione dell’effetto ha ricevuto ad oggi **oltre 2600 citazioni su Google Scholar (GS) e oltre 1900 su Web of Science (WoS) e Scopus**, e negli ultimi anni continua a ricevere una media di quasi 200 citazioni all’anno (GS).

A partire da questo primo risultato, Marrucci ha progressivamente **sviluppato un filone di ricerca che si è inserito nel più generale campo di ricerca di ottica oggi denominato “luce strutturata”**. Su questi temi Marrucci ha diretto in particolare un **progetto europeo FET-Open** (A toolbox for photon orbital angular momentum technology – PHORBITECH, 2010-2013), come coordinatore europeo, e successivamente ha anche vinto e diretto, come Principal Investigator, un **ERC advanced grant** (Photonics of the spin-orbit optical phenomena – PHOSPhOR, 2016-2021). Nel corso di questi progetti europei, Marrucci ha contribuito a dimostrare diversi effetti ottici in regime classico e quantistico in cui la polarizzazione della luce interagisce con il fronte d’onda, effetti che si fondano sulla cosiddetta fase geometrica di Pancharatnam-Berry e che sono alla base di una gamma di fenomeni noti come *fotonica spin-orbita*. I risultati dimostrati in regime strettamente quantistico (con fotoni singoli o coppie di fotoni correlati) sono stati ottenuti grazie anche ad una proficua collaborazione tra il gruppo di Napoli e quello di Roma del prof. Francesco De Martini e successivamente di Fabio Sciarrino, anche se negli ultimi anni esperimenti in regime quantistico sono condotti anche nei laboratori del gruppo di Napoli.

INDICATORI NUMERICI DI PRODUZIONE SCIENTIFICA E IMPATTO:

- > 250 *pubblicazioni* in riviste scientifiche e libri
- 50 *pubblicazioni* in riviste altamente selettive con $IF > 8$ (2 Science, 2 Nature Physics, 9 Nature Photonics, 9 Nature Communications, 4 Science Advances, 16 PRL, 6 Optica, 2 Advanced Photonics)
- > 15.000 *citazioni* in Web-of-Science; > 22.000 *citazioni* in Google Scholar
- *h-index* = 57 in Web-of-Science; *h-index* = 67 in Google Scholar

UNA SELEZIONE DI RISULTATI SCIENTIFICI, CON NOTE A COMMENTO:

P1) Optical spin-to-orbital angular momentum conversion in inhomogeneous anisotropic media, L. Marrucci, C. Manzo, D. Paparo, *Physical Review Letters*, vol. 96, 163905 (2006).

[**Brevetto associato:** L. Marrucci, *Liquid crystal geometrical phase optical elements and a system for generating and rapidly switching helical modes of an electromagnetic wave, based on these optical elements*, US patent no. 8,264,623 B2 of 2012/9/11; EU EP2013647-A2 (priority 2006).]

Questo lavoro riporta la **scoperta/ideazione del fenomeno ottico di “conversione” del momento angolare della luce dalla forma “spin” a quella “orbitale”** che si può realizzare generalmente nell’attraversamento di un mezzo che sia simultaneamente otticamente anisotropo e disomogeneo (ad esempio un mezzo birifrangente con asse ottico variabile nello spazio). In opportune condizioni, un fotone con

polarizzazione circolare sinistra (quindi con momento angolare di spin pari a $\hbar$ nella direzione di propagazione) che attraversa un mezzo con queste caratteristiche può invertire la sua elicità, ovvero la sua polarizzazione diventa circolare destra, con momento angolare di spin $-\hbar$. La variazione del momento angolare di spin che ne risulta viene “impressa” sull’onda sotto forma di un momento angolare orbitale pari a $2\hbar$ per fotone, che si manifesta con una caratteristica struttura ad elica del fronte d’onda e con la presenza di un vortice ottico sull’asse dell’onda. Lo stesso processo di conversione, ma con tutti i segni invertiti, si realizza nello stesso mezzo se il fotone ha inizialmente polarizzazione circolare destra, con il risultato finale di generare un fronte d’onda elicoidale di verso opposto.

L’articolo su PRL ha ricevuto ad oggi **oltre 2600 citazioni su Google Scholar (GS) e oltre 1900 su Web of Science (WoS)**. Attualmente riceve una media di circa 200 citazioni all’anno (GS). È stato oggetto di recensione su Physics (ex Physical Review Focus, della American Physical Society) e su diversi altri siti internazionali. Da questo primo lavoro ne sono seguiti diversi altri con i quali è stata progressivamente sviluppata una **tecnologia nuova per la manipolazione del fronte d’onda mediante il controllo della polarizzazione** (dispositivi a cristalli liquidi “*q-plate*” e derivati) che oggi è una realtà anche commerciale.

Contributo individuale: Marrucci ha intuito l’esistenza del fenomeno, ha ideato il metodo sperimentale per dimostrarlo (vedi brevetto associato, a singolo inventore) e ha coordinato il lavoro sperimentale, che è stato condotto da Marrucci stesso insieme a due collaboratori.

P2) Quantum information transfer from spin to orbital angular momentum of photons, E. Nagali, F. Sciarrino, F. De Martini, L. Marrucci, B. Piccirillo, E. Karimi, E. Santamato, *Physical Review Letters*, vol. 103, 013601 (2009).

Prima dimostrazione in regime puramente quantistico, con un fotone (in regime “heralded”) o due fotoni correlati, degli stessi fenomeni di conversione di momento angolare già riportati in P1 per il regime classico. Utilizzando la polarizzazione o il momento angolare orbitale per la codifica di informazione quantistica (qubit), questi stessi fenomeni possono essere interpretati come un trasferimento di qubit tra le due codifiche.

Contributo individuale: Marrucci ha contribuito all’ideazione del lavoro, che è stato svolto in collaborazione con il gruppo di Francesco De Martini a Roma, in particolare con Fabio Sciarrino. Il ruolo di leadership di Marrucci in questo lavoro è testimoniato dal fatto che è corresponding author dell’articolo (congiuntamente con Fabio Sciarrino).

P3) Light-induced spiral mass transport in azo-polymer films under vortex-beam illumination, A. Ambrosio, L. Marrucci, F. Borbone, A. Roviello, P. Maddalena, *Nature Communications*, vol. 3, 989 (2012).

Prima di questo lavoro era già noto che la superficie di un film di azo-polimero si riorganizza sotto l’effetto dell’illuminazione di luce laser a causa di una migrazione molecolare foto-indotta, sensibile all’intensità e alla polarizzazione della luce, un fenomeno i cui meccanismi microscopici ad oggi non sono ancora del tutto chiariti. In questo lavoro si osserva per la prima volta che l’illuminazione mediante fasci con fronte d’onda elicoidale (a vortice ottico) inducono la formazione di strutture superficiali a forma di spirale sulla superficie dell’azo-polimero, con un verso della spirale che segue il verso dell’elica ottica. Questo dimostra un’apparente sensibilità del processo di migrazione foto-indotta anche alla forma del fronte d’onda e non solo all’intensità luminosa e alla polarizzazione.

Contributo individuale: Marrucci ha sviluppato una teoria fenomenologica che accompagna il lavoro sperimentale e che spiega i risultati in modo soddisfacente in termini di risposta tensoriale del mezzo polimerico, risposta che risulta sensibile alla fase relativa tra componenti di polarizzazione trasversale e componenti longitudinali (dovute alla focalizzazione del fascio) che contengono informazioni sull’elicità del fronte d’onda.

P4) Joining the quantum state of two photons into one, C. Vitelli, N. Spagnolo, L. Aparo, F. Sciarrino, E. Santamato, L. Marrucci, *Nature Photonics*, vol. 7, 521-526 (2013).

Prima proposta e dimostrazione sperimentale di un processo quantistico in cui due qubit trasportati da fotoni distinti (eventualmente anche entangled tra loro) vengono “uniti” (joining) in un “qudit” 4-dimensionale trasportato da un singolo fotone. La proposta include anche uno schema inverso (per il momento non dimostrato sperimentalmente) per separare il qudit 4-dimensionale di un singolo fotone in due qubit separati, trasportati da altrettanti fotoni.

La rilevanza potenziale di questo lavoro risiede nella possibilità che offre di interfacciare tecnologie quantistiche fotoniche basate su qubit con quelle basate su qudit (ossia sistemi quantistici multi-livello per una codifica dell’informazione quantistica). L’articolo pubblicato su Nature Photonics è stato recensito su Nature, Scientific American e diversi altri siti di divulgazione scientifica.

Contributo individuale: Marrucci ha concepito il processo quantistico di “joining” e “splitting” di qubit e ideato lo schema sperimentale fotonico per realizzarlo; l’esperimento è stato quindi progettato e realizzato nel gruppo di Fabio Sciarrino.

P5) Observation of optical polarization Möbius strips, T. Bauer, P. Banzer, E. Karimi, S. Orlov, A. Rubano, L. Marrucci, E. Santamato, R. W. Boyd, G. Leuchs, *Science*, vol. 347, 964-966 (2015).

Prima dimostrazione sperimentale del fatto che in opportune condizioni di preparazione la polarizzazione della luce, in prossimità del fuoco di una lente ad alta apertura numerica, può presentare una peculiare geometria a forma di nastro di Moebius (in particolare l’asse maggiore dell’ellisse di polarizzazione in funzione della posizione nello spazio descrive questa geometria).

Contributo individuale: Marrucci ha contribuito all’ideazione dell’esperimento e al coordinamento della collaborazione internazionale coinvolta per realizzarlo.

P6) Quantum walks and wavepacket dynamics on a lattice with twisted photons, F. Cardano, F. Massa, H. Qassim, E. Karimi, S. Slussarenko, D. Paparo, C. de Lisio, F. Sciarrino, E. Santamato, R. W. Boyd, L. Marrucci, *Science Advances*, vol. 1, e1500087 (2015); **Statistical moments of quantum-walk dynamics reveal topological quantum transitions**, F. Cardano, M. Maffei, F. Massa, B. Piccirillo, C. de Lisio, G. De Filippis, V. Cataudella, E. Santamato, L. Marrucci, *Nature Communications*, vol. 7, 11439 (2016).

Questi due lavori riportano i primi esperimenti di simulazione quantistica fotonica che sfruttano luce strutturata, e in particolare modi elicoidali con momento angolare orbitale, per realizzare uno “spazio sintetico” in cui avviene il processo. Il processo simulato è in entrambi i casi un quantum walk 1-dimensionale su reticolo discreto, quest’ultimo implementato mediante modi elicoidali (“twisted”) della luce con momento angolare orbitale. I diversi modi elicoidali convivono nello stesso fascio ottico, per cui l’esperimento si svolge facendo propagare il fascio attraverso un’opportuna successione di componenti ottici basati su tecnologia q-plate (vedi P1). Il secondo lavoro in particolare dimostra anche la presenza di transizioni topologiche nella dinamica simulata, al variare di un parametro di controllo del processo.

Contributo individuale: Marrucci ha coordinato tutto il lavoro. Gli esperimenti, pur fruendo (nel primo lavoro) di collaborazioni con altri gruppi, sono stati condotti interamente a Napoli, sia nel regime classico che in quello quantistico, utilizzando singoli fotoni “heralded” ricavati da coppie di fotoni correlati.

P7) Guiding light via geometric phases, S. Slussarenko, A. Alberucci, C. P. Jisha, B. Piccirillo, E. Santamato, G. Assanto, L. Marrucci, *Nature Photonics*, vol. 10, 571-575 (2016).

Questo lavoro dimostra a livello teorico-numerico e con una dimostrazione sperimentale “proof-of-principle” la possibilità di realizzare una guida d’onda che sfrutta esclusivamente le fasi geometriche di Berry per il confinamento laterale della luce, in assenza di modulazioni trasversali dell’indice di rifrazione effettivo. Si tratta di un principio di confinamento della luce del tutto nuovo.

Contributo individuale: Marrucci ha concepito insieme ad Alberucci l’idea iniziale del confinamento ottico mediante fasi geometriche, ha sviluppato la teoria lavorando in collaborazione con il gruppo di Gaetano Assanto a Roma Tre e ha infine coordinato la dimostrazione sperimentale che è stata svolta a Napoli.

P8) Two-dimensional topological quantum walks in the momentum space of structured light, A. D’Errico, F. Cardano, M. Maffei, A. Dauphin, R. Barboza, C. Esposito, B. Piccirillo, M. Lewenstein, P. Massignan, L. Marrucci, *Optica*, vol. 7, 108-114 (2020).

Questo lavoro riporta un importante sviluppo recente nel filone napoletano delle simulazioni quantistiche fotoniche basate su luce strutturata, ossia la possibilità di simulare reticoli bidimensionali anziché solo quelli monodimensionali. Questo ha richiesto di passare dall’utilizzo di modi elicoidali ad un altro insieme di modi ondulatori, che corrispondono a onde con vettore d’onda leggermente inclinato rispetto all’asse ottico del sistema. Tali onde trasportano quantità di moto (momentum) in direzione trasversale, un grado di libertà che appartiene ad uno spazio bidimensionale continuo, che viene poi discretizzato artificialmente per realizzare il reticolo. Pur essendo leggermente inclinati, in campo vicino questi modi restano tutti confinati nello stesso fascio ottico, per cui l’esperimento di simulazione quantistica si continua a svolgere mediante un singolo fascio ottico “strutturato” contenente tutti i modi che si propaga in una sequenza di dispositivi a cristallo liquido realizzati mediante una generalizzazione opportuna della tecnologia q-plate (vedi P1 e P6).

Contributo individuale: Marrucci ha ideato questo nuovo schema ottico finalizzato alla simulazione di sistemi bidimensionali e ha coordinato il lavoro sperimentale. Gli esperimenti sono stati condotti interamente a Napoli, con il supporto teorico del gruppo di Lewenstein (ICFO Barcellona).

P9) Ultra-sensitive measurement of transverse displacements with linear photonic gears, R. Barboza, A. Babazadeh, L. Marrucci, F. Cardano, C. de Lisio, V. D’Ambrosio, *Nature Communications* vol. 13, 1080 (2022); **Photonic polarization gears for ultra-sensitive angular measurements**, V. D’Ambrosio, N.

Spagnolo, L. Del Re, S. Slussarenko, Y. Li, L. C. Kwek, L. Marrucci, S. P. Walborn, L. Aolita, F. Sciarrino, *Nature Communications* vol. 4, 2432 (2013).

In questi lavori è stato introdotto e dimostrato per la prima volta il concetto di “*photonic gears*” (ingranaggi fotonici), apparati ottici che trasducono uno spostamento meccanico in una rotazione di polarizzazione ottica lineare con un fattore di guadagno simile a quello degli ingranaggi. Questo consente di ottenere misure ottiche molto precise dello spostamento meccanico. Nel lavoro del 2013 il concetto è stato applicato a spostamenti rotatori, e gli apparati ottici sfruttavano vortici vettoriali di luce di ordine molto elevato generati mediante la tecnologia q-plate inventata da Marrucci (si veda P1). Nel lavoro del 2022, la stessa idea è stata applicata per la prima volta al caso di spostamenti lineari, sfruttando luce strutturata con grating lineari di polarizzazione realizzati mediante una tecnologia simile.

Contributo individuale: nel lavoro del 2013, il cui esperimento è stato realizzato a Roma nel gruppo di Fabio Sciarrino, Marrucci, oltre a fornire le q-plate prodotte nel suo laboratorio, ha contribuito a sviluppare la teoria; inoltre Marrucci ha anche coniato il termine “*photonic gear*” usato per illustrare il concetto dell’esperimento; nel lavoro del 2022, interamente condotto nel gruppo di Napoli, Marrucci ha contribuito alla progettazione dell’esperimento.

P10) Large-scale free-space photonic circuits in two dimensions, M. G. Ammendola, F. Di Colandrea, L. Marrucci, F. Cardano, *Advanced Photonics*, vol. 7, 016006 (2025).

A partire dai simulatori fotonici di quantum walk in due dimensioni dimostrati in precedenza (si veda P8), il gruppo di Napoli ha più recentemente iniziato a sfruttare questi processi per realizzare “circuiti fotonici” in spazio libero, ossia sistemi ottici, non integrati ma comunque molto compatti, che consentono di realizzare una trasformazione unitaria tra due spazi di Hilbert definiti da un numero elevato di modi fotonici discreti e ortogonali tra loro (nella dimostrazione riportata in questo lavoro si arriva fino a 800 modi). La tecnologia alla base di questo lavoro si basa nuovamente su dispositivi a cristalli liquidi che generalizzano l’idea originaria delle q-plate (P1), ma che sono basati su complessi pattern bidimensionali dell’orientazione molecolare progettati per realizzare le funzionalità desiderate. Questi sistemi offrono alternative interessanti all’approccio più comune che si basa sulla fotonica quantistica integrata.

Contributo individuale: Marrucci ha coordinato questo lavoro insieme a Filippo Cardano; il lavoro si fonda sulla sua idea per realizzare quantum walk bidimensionali nello spazio dei momenti trasversi (si veda P8), combinata con un’altra idea di Cardano che consente di “comprimere” i quantum walk in un numero molto limitato di componenti ottici con un pattern specificamente progettato a questo scopo.